



Itsekorjaavien tehtävien laadinta sähkösuunnittelukurssille

Joonas Aro

Opinnäytetyö, AMK

Marraskuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Aro, Joonas

Itsekorjaavien tehtävien laadinta sähkösuunnittelukurssille

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2022, 46 sivua

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö.

Julkaisun kieli: Suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Nykymaailmassa sähköistymisen sekä koronan siivittämänä etäopiskelun lisääntymisen myötä myös verkkopohjaisten opiskeluympäristöjen rooli kasvaa. Opiskeluympäristöjen tarkoituksena on helpottaa ja tukea opintojen aikana sekä opettajien, että opiskelijoiden työtaakkaa. Tätä varten täytyy osata hyödyntää verkkoympäristöjen tarjoamia materiaalinluomistyökaluja.

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu on siirtynyt Moodlen opiskeluympäristöön, mahdollistaen alustan aktiviteetti- ja kysymystyökalujen hyödyntämisen. Tavoitteena oli luoda valitulle sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelijoille järjestettävälle sähkösuunnittelukurssille valmiita materiaaleja hyödyntäen verkkopohjaisia itsekorjaavia harjoitustehtäväpaketteja.

Lopullista toteutusta varten ensiksi vertailtiin muutamaa valittua lomaketyökalua keskenään ja tutkittiin niiden ominaispiirteitä sekä käyttökohteita. Seuraavaksi käytiin sähkösuunnittelukurssin aihealueet pää-piirteittäin läpi, samalla huomioiden myös harjoitustehtävien osuus aiheesta. Itsekorjaavat harjoitustehtäväpaketit luotiin Moodlen tentti-aktiviteettityökalulla muutamaa valittua kysymystyökalua käyttäen hyödyntämällä ratkaistujen tehtäväpakettien vastauksia. Kaikki viisi kysymystyyppiä käytiin ominaisuuksiltaan ja toiminnoiltaan läpi yksitellen. Lisäksi huomioitiin luotujen kysymysten helppolukuisuus ja käytettävyys sekä jäsentely tenteissä tehtäväpaketeittain. Jatkokehityksen kannalta työtä voidaan käyttää pohjana muiden etätyöskentelyyn suuntautuvien kurssien suunnittelemisessa.

Avainsanat (asiasanat)

Sähkösuunnittelu, verkko-oppimateriaali, opiskeluympäristö, harjoitukset

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Aro, Joonas

Creation of self-correcting tasks for the electrical design course

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2022, 46 pages

Engineering and technology. Degree programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

In today's world, with the increase in electrification and distance learning fueled by the corona virus, the role of web-based study environments are also increasing. The purpose of study environments is to facilitate and support the workload of both the teachers and the students during studies. For this, one needs to know, how to use the material creation tools provided by the online environments.

JAMK University of Applied Sciences has begun utilizing a new study environment, called Moodle. This enables the use of the platform's activity and question creation tools. The goal was to create web-based self-correcting exercise tasks for a course called electrical design, studied by electrical and automation engineering students, by utilizing already existing course materials.

For the final implementation, a few selected form-creation tools were first compared with each other, and their main characteristics and uses were studied. Next, the subject areas of the electrical engineering course were reviewed in outline, while also taking into account the exercise tasks on the subject. The self-correcting exercise task packages were created with Moodle's exam activity tool by utilizing the answers of the solved exercise tasks, using a few selected question tools. All five types of questions making tools were reviewed one by one in terms of their properties and functions. In addition, consideration was given to the ease of reading and usability of the created questions, as well as the structuring of the exams by task packages. In terms of further development, the work can be used as a basis for planning other courses oriented towards remote working.

Keywords/tags (subjects)

Electrical design, online learning material, study environment, practice task

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Lomaketyökalut.....	4
2.1	Yleistä	4
2.1.1	H5P	4
2.1.2	Atomi ActivePresenter 8.....	4
2.1.3	Adobe Captivate	6
2.1.4	Moodle.....	7
3	Sähkösuunnittelukurssi.....	7
3.1	Sähköverkon rakenne.....	7
3.2	Standardit ja dokumentointi	8
3.3	Rakennuksen mitoitustehon arviointi	10
3.4	Jakelumuuntajan mitoitus.....	11
3.5	Keskuksen mitoitus	13
3.6	Kaapelin mitoitus.....	14
3.7	Sähköverkon komponenttien mallintaminen	17
3.8	Jännitteenalenema.....	18
3.9	Oikosulkuvirtojen laskenta.....	19
3.10	Ylikuormitussuoja	21
3.11	Oikosulkusuojaus ja selektiivisyys	22
3.12	Vikasuojaus.....	24
3.13	Maadoitus ja potentiaalın tasaus.....	25
4	Itsekorjaavat tehtävät.....	27
4.1	Moodlen tehtävätyypit	27
4.1.1	Monivalintatehtävä	31
4.1.2	Tosi/epätosi	32
4.1.3	Yhdistämistehtävä	33
4.1.4	Valitse puuttuvat sanat.....	35
4.1.5	Numeerinen kysymys.....	36
4.2	Itsekorjaavien tehtävien luonti	38
5	Pohdinta.....	40
	Lähteet	41

Kuviot

kuvio 1 ActivePresenter 8 ulkoasu.....	5
kuvio 2 Esimerkki ajastetusta monivalintakysymyksestä	6
kuvio 3 Harjoitustehtävä yleiskaavion lukemisesta	10
kuvio 4 Tasauskertoimet huoneistojen välille keskimääräisillä huoneistopinta-aloilla	11
kuvio 5 Jakelumuuntajan mitoitus – harjoitustehtävä 12	13
kuvio 6 Keskuksen nimellisvirran määrittäminen kokonaisnäennäistehon sekä -virran avulla .	14
kuvio 7 Kaapelin mitoitus korjauskertoimilla – harjoitustehtävä 15	16
kuvio 8 Sähköverkon komponenttien mallintaminen – harjoitustehtävä 14.....	18
kuvio 9 Jännitteenalenema – harjoitustehtävä 6	19
kuvio 10 Oikosulkuvirtojen laskenta – harjoitustehtävä 12	21
kuvio 11 gG -sulakkeiden toiminta-ajat suhteessa prospektiivisen oikosulkuvirran arvoon	23
kuvio 12 Oikosulkusuojaus ja selektiivisyys – harjoitustehtävä 15.....	24
kuvio 13 Vikasuojaus – harjoitustehtävä 17	25
kuvio 14 Maadoitus ja potentiaalintasaus – harjoitustehtävä 18	27
kuvio 15 Lisää aktiviteetti tai aineisto-työkalun vaihtoehdot.....	28
kuvio 16 Esimerkki Moodlen tentti-tilaan lisättäviä kysymystyypppejä.....	30
kuvio 17 Monivalintatehtävän muokkaussivu	31
kuvio 18 Tosi/epätosi-tehtävän muokkausulkoasu	32
kuvio 19 Esimerkki yhdistelmätehtävän teosta	34
kuvio 20 Valitse puuttuvat sanat- tehtävätyypin muokkausulkoasu.....	36
kuvio 21 Numeerinen kysymys esimerkkit tehtävä	37
kuvio 22 Itsekorjaava tehtäväpaketti tenttiaktiviteetti-tilassa.....	38
kuvio 23 Harjoitustehtäväpaketin tehtävä 14	39

Taulukot

Taulukko 1 Jakelumuuntajien teknisiä arvoja	12
---	----

1 Johdanto

Alati sähköistyvässä maailmassa verkkopohjaisten sovellusten käyttö yleistyy kaikkialla. Tätä myötä, sekä myös pandemian siivittämänä, myös opetus ja opiskelu siirtyvät pelkän lähiopetuksen luota verkkopohjaisiin, sekä lähi-, että etäopiskelua mahdollistaviin hybridiopetusratkaisuihin. Tämä toteutetaan erilaisilla verkko-oppimisympäristöillä, kuten esimerkiksi Moodlen avulla, joka erilaisten työkalujen kautta tarjoaa mahdollisuuksia rakentaa haluamansa mukaisia opetusympäristöjä. Yleisesti käytössä oleva valmiin materiaalin lataus kurssiympäristöön on muuttumassa, ja tilalle halutaan oppimisympäristön työkalujen avulla luotuja itsekorjaavia tehtäviä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia muutamia verkossa saatavilla olevia, varsinkin opetukseen suunnattuja lomaketyökaluja niiden ominaisuuksiltaan. Lisäksi tarkoituksena oli luoda toimeksiantajan Jyväskylän Ammattikorkeakoulun JAMK:n mukaan itsekorjaavia tehtäviä koulussa käytävälle sähkösuunnittelukurssille jo valmiita kurssi-, sekä harjoitustehtävämateriaaleja käyttäen. Opinnäytetyö toteutettiin palvelun kehittämistyömenetelmää soveltaen. Kehittämistyön tavoitteena oli saada luotua toimiva pohja verkko-opiskelun tulevaisuutta varten Jyväskylän Ammattikorkeakoulussa.

Tehtävien luomiseen käytettiin Moodlesta löytyviä työkaluja, tutkimalla aluksi erilaisia saatavilla olevia kysymystyyppejä niiden toimintojen kannalta. Seuraavaksi valittiin harjoitustehtävistä teoria-, ja laskuharjoituskysymys ja määriteltiin molemmille omat toteutuksessa käytettävät kysymystyypit. Lopuksi muodostettiin päätös siitä, mitä kysymystyyppiä käytetään missä tilanteessa, ja luotiin itsekorjaavat tehtävät kokonaisuudessaan näiden johtopäätöksien pohjalta. Tavoitteena oli saada mahdollisimman toimiva ratkaisu käytettävyyden suhteen niin opettajille-, kuin opiskelijoille ottamalla huomioon opettajan näkökulmasta kysymysten muokattavuus ja tarkastaminen sekä opiskelijoiden näkökulmasta kysymysten selkeys, helppolukuisuus ja käytettävyys.

Työssä käydään myös läpi sähkösuunnittelukurssin aikana käytäviä aihealueita, tavoitteena tuoda esiin ja selittää jokaisen aiheen tärkeimmät konseptit ja käsitteet. Näissä pyritään käyttämään myös kurssinmateriaalin ulkopuolisia lähteitä, jotta kokonaisuus olisi mahdollisimman selkeä. Kursilla käsitellään lukuisia aihealueita, jonka vuoksi jokaista aihetta ei käydä mahdollisimman syvästi läpi teoria-, tai laskusuuden kannalta, vaan päämääräisenä tarkoituksena oli selkeyttää harjoitustehtävissä käytäviä määritelmiä.

2 Lomaketyökalut

2.1 Yleistä

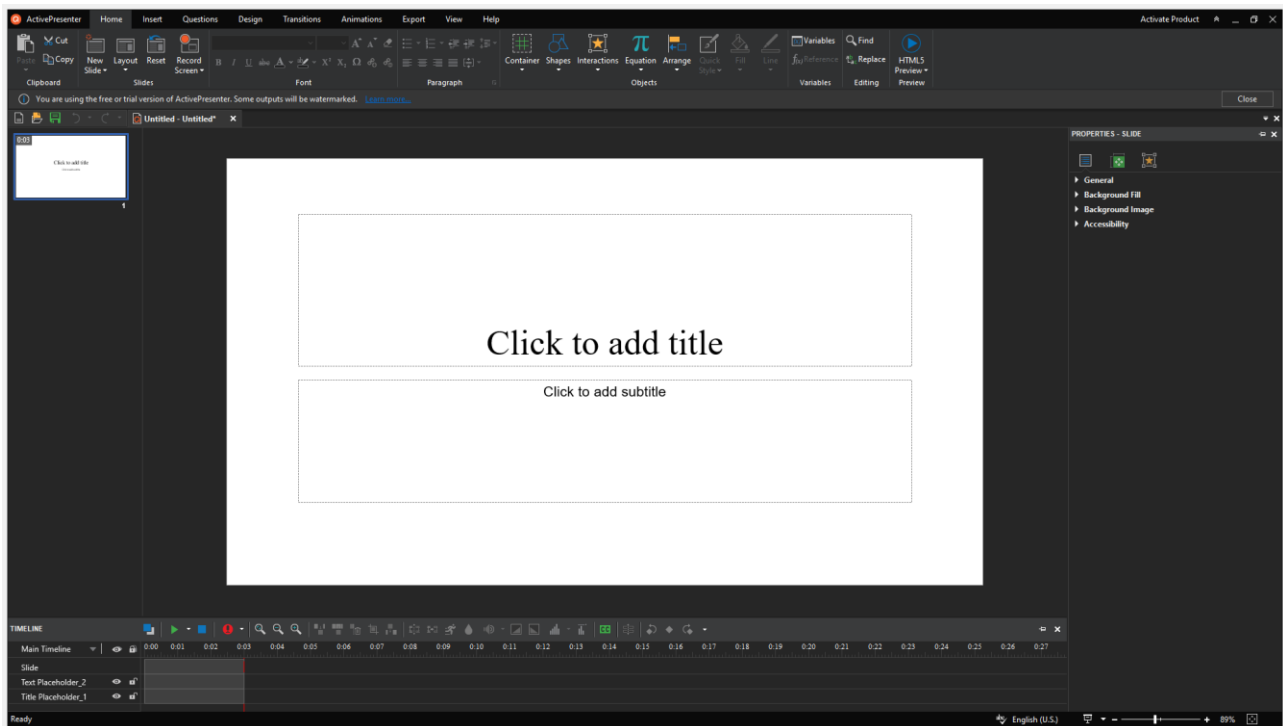
Kaikki valitut lomaketyökalut ovat periaatteeltaan samankaltaisia. Niiden avulla voidaan luoda useita eri työkaluja käyttäen interaktiivista verkkosisältöä esimerkiksi opiskelijoille käytettäväksi. Tämä sisältö voi olla interaktiivisia tehtäviä, tenttejä, kuvia tai videoita, eli materiaalia, jota opiskelija voi suoraan itse verkossa suorittaa tai käyttää ilman erillistä valvontaa. Materiaalin suorittamista varten työkalujen avulla voidaan luoda muun muassa suoraan itsekorjautuvia tehtäviä, tai liittää vastauksien saamiseksi tukimateriaalia mukaan tehtävien tekoon. Interaktiivisen sisällön luomisessa vaihtoehtoja on siis useita erilaisia tapoja sekä tyyliä, ja materiaalin luoja voi itse päättää minkä tavan näkee parhaakseen.

2.1.1 H5P

HTML5 Package eli H5P on yksi yleisimmistä, ellei yleisin käytetty lomaketyökalukokoelma. Se ei teoriassa ole pelkkä yksittäinen työkalu vaan kokoelma yli viidestäkymmenestä avoimen lähdekoodin työkalusta. H5P on helppokäyttöinen, sillä se toimii suoraan verkkoselaimella ilman erillistä asentamista. Lisäksi se on myös asennettavissa lisäosana muun muassa Moodle-, Drupal- ja WordPress-ympäristöihin. Moodlen H5P integraatio tuo mukanaan paljon uusia, Moodlen omiin työkaluihin verrattuna monipuolisempia, vaikkakin samalla monimutkaisempia sisällön tuottamisvaihtoehtoja. Näihin vaihtoehtoihin lukeutuu muun muassa erilaisia Microsoft Powerpointin tyyliä interaktiivisia kuva-, ja videoesityksiä, Microsoft Excelin tyyppisiä dokumentointityökaluja sekä erilaisia, koulutustasosta ja tehtävätyypistä riippuvia tehtävienluomistyökaluja. Näistä esimerkkinä esseentehtävä, jonka avulla voidaan tiettyjen avainsanojen määrien avulla jakaa opiskelijalle välitön palaute koko tekstistä. (H5P n.d.)

2.1.2 Atomi ActivePresenter 8

Atomien ActivePresenter 8 on melko helppokäyttöinen ja monipuolinen sähköistä oppimista varten luotu ohjelma, joka on saatavilla myös ilmaisversiona. Ulkoasultaan se muistuttaa hyvin paljon tuttua Microsoftin PowerPoint-ohjelmaa (ks. kuvio 1), mutta eriiä käytöltään huomattavasti.

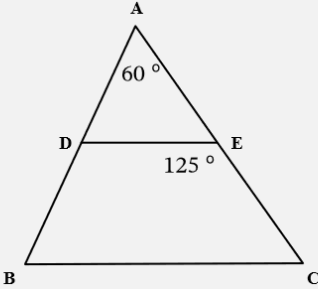


kuvio 1 ActivePresenter 8 ulkoasu (ActivePresenter 8)

Ohjelmalla voi toteuttaa muun muassa video-, sekä audiomuokkausta, yksinkertaisten monivalintakysymysten luontia (ks. kuvio 2), monipuolisempia esseekysymyksiä, erilaisia yksinkertaisia tenttiratkaisuja sekä muuta interaktiivista sisältöä. Kaikki nämä osakokonaisuudet ovat sulautettavissa yhteen yhdeksi monipuoliseksi sisällöksi.

In $\triangle ABC$, \overline{DE} is parallel to \overline{BC} . The measure of $\angle A$ is 60° and the measure of $\angle DEC$ is 125° . What is the measure of $\angle B$?

55°
 60°
 65°
 70°



SUBMIT

05 : 00

kuvio 2 Esimerkki ajastetusta monivalintakysymyksestä (Mathematics Test 2022.)

Monipuolisesta valikoimastaan huolimatta ActivePresenter 8- ohjelmalla tuotettu sisältö jää kuitenkin muistuttamaan paljon Microsoft PowerPointin diaesityksen ulkoasua, jonka vuoksi ohjelman käyttö ei juurikaan sovellu opetustarkoitukseen, vaan enemmänkin työympäristöön tai mainontaan.

2.1.3 Adobe Captivate

Myös Adobe Captivate-ohjelma perustuu samaan ulkoasuratkaisuun kuin ohjelmat Microsoft PowerPoint sekä edellä mainittu ActivePresenter 8. Ohjelma on saatavilla vain maksullisena versiona, jonka vuoksi sen ominaisuuksien määrä on myös suurempi.

Erikoisimpana ominaisuutena ohjelmassa on sen tarjoama työkalu luoda yksinkertaisia oppimiskemuksia eri tarkoituksiin virtuaalitodellisuudessa 360-asteen kuvia tai videoita hyödyntäen.

Lisäksi oppimateriaalin sisällön luomisessa Adobe Creative tarjoaa melko kätevän ratkaisun. Ohjelmalla voi luoda esimerkiksi erillisistä moduuleista koostuvan kurssin, jotka on läpäistävä tentin suorittamista varten. Mikäli opiskelija vastaa tentissä väärin, voidaan tämä ohjata tukiopiskelun tavoin takaisin asianmukaiseen kurssisisältöön, jonka käytyään voi opiskelija palata takaisin tentin tai tehtävien suorittamiseen.

2.1.4 Moodle

Moodlen oma lähi-, sekä etäopetukseen soveltuva oppimisympäristö on suosittu niin Suomessa, etenkin korkeakoulukäytössä, kuin maailmanlaajuisesti. Sillä on tällä hetkellä noin 345 miljoonaa käyttäjää 244 eri maassa. Moodlen avulla voi kursseille luoda helposti erilaisia aktiviteetteja tai aineistoja, kuten oppimismateriaalin, kirjojen, tietokantojen, sivustojen tai ohjeistusten jakoa, oppituntien luomista ja aikataulutusta, erilaisten työryhmien muodostamista sekä tehtävien tai tenttien luomista. Kukin aktiviteetti tai aineisto on yksilöllisesti muokattavissa kurssin luojan haluamallaan tavalla. Jokaisella kurssilla on oma sekä opiskelijoita, että opettajia auttamaan luotu edistymisen seurantatyökalu, joka rekisteröi jokaisen henkilökohtaisen etenemisen kyseisellä kursilla. (Opettajan Moodle opas n.d.)

3 Sähkösuunnittelukurssi

Sähkösuunnittelukurssi on lukukauden mittainen, Jyväskylän Ammattikorkeakoulussa käytävä, sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehdolle suunnattu pakollinen kurssi. Kurssi on yksi keskeisimmistä tutkinto-ohjelman aikana käytävistä kursseista. Kurssi suoritetaan Moodlen kautta, mikä mahdollistaa sekä etä-, että lähiopiskelun vaihtoehdot. Osaamistavoitteina on oppia standardien ja dokumentoinnin merkitys, pää-, piiri- ja johdotuskaavioiden tulkitsemista, rakennusten mitoitusohjelman arviointia, jakelumuuntajan, keskus- ja kaapelin mitoitus, sähköverkon komponenttien mallintamisen taitaminen, jännitteenalennus, maadoituksen ja potentiaalitasauksen merkitys ja suojaukseen liittyvät seikat, kuten ylikuormitus, oikosulkusuojaus ja -virtojen laskeminen, selektiivisyys sekä vikasuojaus. (Sähkösuunnittelu n.d.)

3.1 Sähköverkon rakenne

Lukukauden alussa käytävän aiheen tarkoituksena on käydä läpi sähkötekniisiä perusasioita sekä yleisiä sähköverkon rakenteita. Sähköverkon rakenne koostuu yleisimmin 400 kV kantaverkosta, 110 kV kanta-, tai alueverkosta, 20 kV keskijänniteverkosta sekä 400 V pienjänniteverkosta. Etenkin pien-, ja keskijänniteverkon jännitetaso voi vaihdella kuluttajakohtaisesti esimerkiksi tehdasympäristössä. Läpikäytäviin perusasioihin lukeutuu muun muassa jakelumuuntajan perustarkoitus,

käyttäjälajitelujärjestelmän periaatteita, yksi-, ja kolmivaihejärjestelmä, sekä jakelujärjestelmien erilaiset maadoitustavat, kuten TN-S, eli erillinen nolla-, ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä ja TN-C, yhdistetty nolla-, ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä.

3.2 Standardit ja dokumentointi

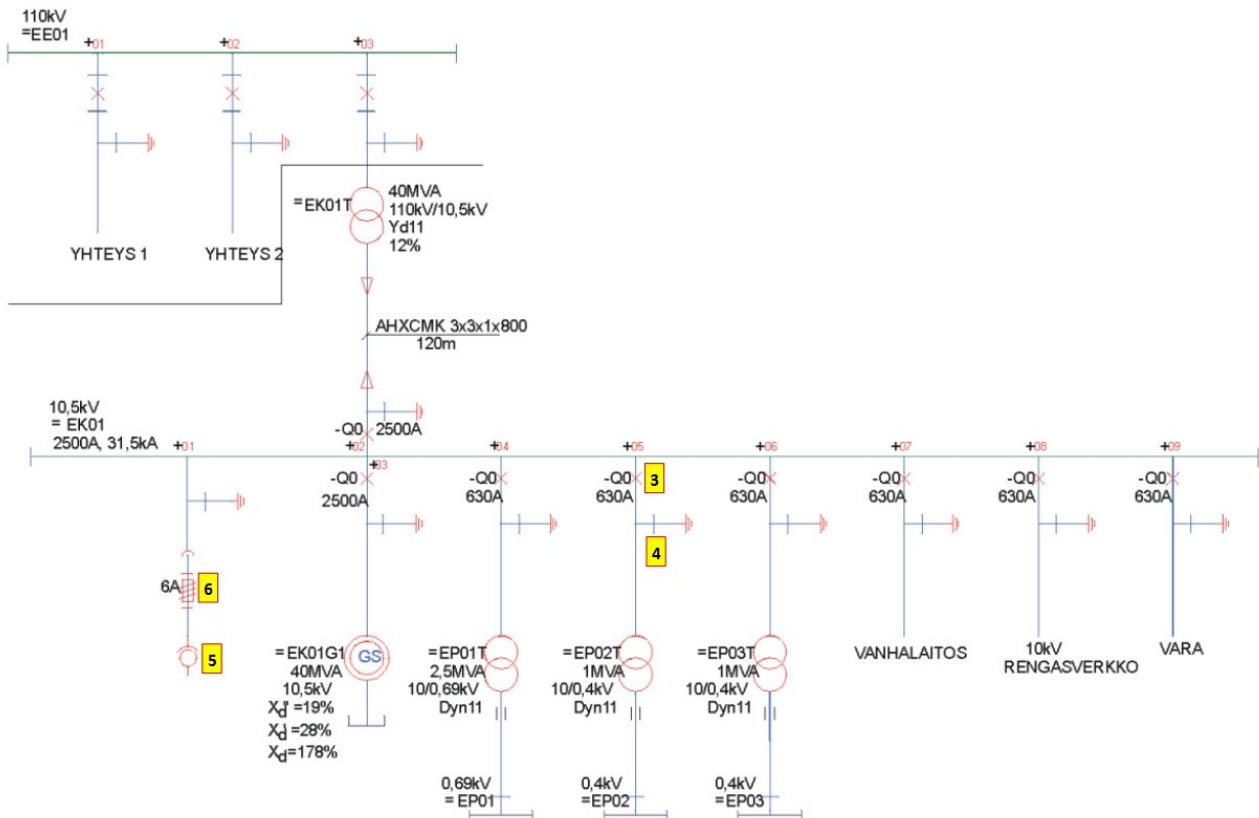
Toinen kurssin aikana käytävistä osa-alueista on standardit ja dokumentointi. Standardit ovat yhteisesti tiettyjen järjestöjen hyväksymiä dokumentteja, joissa esitetään sääntöjä ja ohjeistuksia yleisille erilaisissa töissä suoritettaville toimenpiteille. Niitä käytetään ylläpitämään sekä edistämään yleistä turvatasoa, takaamaan ympäristönsuojelun sekä energiatehokkuuden toteutumisen, varmistamaan erilaisten tuotteiden yhteensopivuus ja selkeyttämään eri määritelmien käsitteitä. Sähkötekniikkaan ja sen standardistoihin liittyen edellä mainittuihin järjestöihin kuuluu muun muassa maailmanlaajuisesti toimiva IEC, Euroopassa toimiva CENELEC, suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö SFS sekä Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallinen standardointijärjestö, SESKO. (Sähkö ja elektroniikka n.d.)

Yleisten standardien lisäksi on myös luotu sähköturvallisuussäädöksiä nostamaan turvallisuustasoa. Säädösten pohjana toimii valtioneuvoston luoma sähköturvallisuuslaki (1135/2016), joka koskee kaikkia sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, niiden asennuksiin sekä sähkötöiden tekemisiin liittyviä turvallisuusasetuksia. Sähköturvallisuuslain lisäksi valtioneuvosto on luonut lakiin liittyviä asetuksia muun muassa sähkölaitteistoista (1434/2016), sähkötöistä ja käyttötöistä (1435/2016) ja sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisista yhteensopivuuksista (1436/2016) (sähköasennukset n.d.). Säädökset laatii työ-, ja elinkeinoministeriö, joiden mukaan SESKO standardisoi, säädökset huomioon ottaen. Turvallisuus-, ja kemikaalivirasto Tukes valvoo säädöksiä toteutumista yleisellä tasolla, kun taas erilaiset tarkastuslaitokset ja tarkastajat toteavat ja varmistavat tiettyjen kohteiden vaatimustenmukaisuuden toteutumista. (Nurmi 2017.)

Dokumentoinnissa kyse on osata oikeaoppisesti lukea ja luoda eri piirustus-, ja karttatyyppisiä. Sähkötekniikassa näihin dokumenttityyppeihin sisältyy muun muassa yleis-, pää- ja piirikaaviot sekä johdotuskaaviot ja -taulukot. Aihealueen taitamista varten on hyvä oppia erilaisten piirustus- ja tekstikokojen, mittakaavojen ja koordinaatistojen merkitys dokumentissa. Lisäksi lukuisien piirrosmerkkien, johdinten ja johdinvivojen esitystapojen osaaminen on tärkeää, sillä eri tarkoi-

tukseen käytetyissä dokumenteissa voidaan myös käyttää eri piirrosmerkkiä kuvaamaan samaa laitetta, laitteistoa, komponenttia tai toimintatapaa. Piirrosmerkkejä on myös yhdisteltävissä. (ST-kortti 13.28 2009, 3-5.)

Yleiskaaviolla tarkoitetaan yksinkertaiseksi luotua, selkeillä piirrosmerkeillä varustettua, yleensä koko sähköjärjestelmää kattavaa kokonaisuutta. Sen tarkoituksena on tarjota yleiskatsaus sähköjärjestelmässä sisältävistä osista ja niiden kytköksistä toisiinsa, kuten muuntajista, kojeistoista, generaattoreista, moottoreista, suojalaitteistoista ja kaapeleista, sekä vaadittavat tiedot niiden sähköteknisistä arvoista. Näihin arvoihin lukeutuu laitteesta tai laitteistosta riippuen muun muassa nimellisvirrat, -tehot ja -jännitteet sekä oikosulkuarvot (ST 830.18 1994, 1–2). Pääkaavio voi usein olla samannäköinen dokumentti, kuin yleiskaavio. Erona dokumenttien välillä on se, että pääkaavioita voidaan käyttää myös yleiskaavioissa esitetyn sähköjärjestelmän eri osakokonaisuuksien kuvaamiseen tarkemmin. Sähköturvallisuusmääräysten mukaan sähkölaitoksesta on oltava dokumentoituna muun muassa laitoksessa käytettävät kojeisto, kiskostot, pääpiirien johdotukset sekä suojalaitteistot, sekä kaikkien näiden vaadittavat sähköiset arvot. Yleensä nämä vaatimukset täytetään luomalla osakokonaisuuksien määrästä riippuen tarpeellinen määrä pääkaavioita. Vaatimusten täyttämisen lisäksi nämä pääkaaviot selkeyttävät ja helpottavat järjestelmässä huoltojen ja ylläpitojen suorituksia, sekä auttavat eri toimialojen välistä keskinäistä yhteistyötä esim. hankkeiden osalta (ST 830.18 1994, 1–2). Piirikaavioita puolestaan luodaan esittämään yksityiskohtaisia kokonaisuuksia. Kaavion tarkoituksena on osoittaa, miten piirin ohjauskytkennät toteutuvat, niissä käytetyt komponentit sekä tarkat sijainnit ja riviliittimien kytkennät (ST 13.30 2020, 6). Kurssin harjoitustehtävissä käydään kuvion 3 mukaisesti eri kaavioita sekä komponentteja ja niiden toimintatapoja läpi.

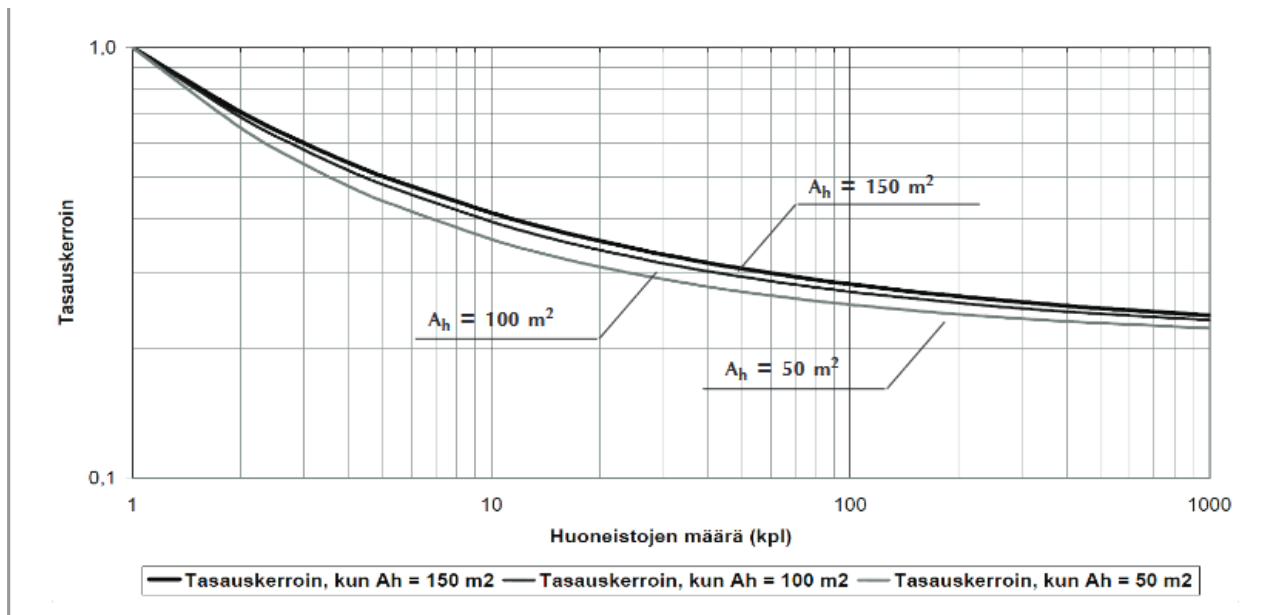


kuvio 3 Harjoitustehtävä yleiskaavion lukemisesta (Sähkösuunnittelukurssi)

3.3 Rakennuksen mitoitustehon arviointi

Aihepiirin tavoitteena on ymmärtää ja osata laskea ja arvioida yhden tai useamman rakennuksen mitoitustehot. Laskentaa varten on osattava ottaa huomioon kiukaan vuorottelun vaikutus, eri asuinhuoneistojen sisäinen samanaikaisuuskerroin ja niiden välinen tasauskerroin, sekä muun muassa peruskuorman, sähkölämpökuorman ja valaistuskuorman vaikutus. Kiukaan vuorottelu tarkoittaa huipputehon pienentämistä vuorottelemalla sähkölämmityksen ja sähkökiukaan päällä oloa, ja se otetaan huomioon sähkölämpökuormaa määriteltäessä vuorottelemattoman tehon osuudelta. Samanaikaisuuskerroin asuinhuoneistojen välillä tarkoittaa tietyn sähkölaiteryhmän, kuten esimerkiksi sähkölämpökuorman todennäköisyyttä olla kytkettynä päälle samanaikaisesti muiden laiteryhmiä kanssa. Jokaiselle sähkölaiteryhmälle on oma samanaikaisuuskertoimensa, ja sitä määriteltäessä huomioidaan muun muassa se, kuinka kauan laitetta tai -ryhmää pidetään ajan suhteessa päällä. Kun mitoitetaan useita erikokoisia asuinhuoneistoja sisältäviä rakennuksia, käytetään asuinhuoneistojen välistä tasauskerrointa mittaamaan niiden keskimääräistä tehontarvetta. Tasauskerroin voidaan arvioida ennalta määritetyistä käyrästä (ks. kuvio 4), jossa on määritelty

tasauskertoimet huoneistojen välille keskimääräisillä huoneistopinta-aloilla. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea jokaisen yksittäisen sähkölaiteryhmän huipputehot ja niiden kautta rakennuksen tai huoneiston mitoittava teho. (ST 13.31 2020, 4–6.)



kuvio 4 Tasauskertoimet huoneistojen välille keskimääräisillä huoneistopinta-aloilla (ST 13.31 2020, 6.)

3.4 Jakelumuuntajan mitoitus

Aiheessa tarkastellaan jakelumuuntajan fyysisiä ominaisuuksia jäähdytyksen ja kuormitettavuuden suhteen, sen tuottamia häviöitä, sekä käydään läpi jakelumuuntajan mitoitusperiaatteita. Muuntajien jäähdytystyyli voidaan jakaa muutamaani eri periaatteeseen. Jäähdytys tapahtuu luonnollisesti (natural), tai pakotettuna (forced), jäähdytysaineen, öljyn (oil), ilman (air) tai veden (water) avulla. Yleisimpiä jäähdytystapoja ovat luonnollisesti öljyllä ilmajäähdytetty ONAN (oil natural air natural) sekä ONAF (oil natural air forced), jossa tuuletusilmaa kierretään muuntajassa tuulettimien avulla. Vesijäähdytystä voidaan suorittaa pumppujen avulla, mutta sitä käytetään yleensä vain tiettyihin käyttötarkoituksiin tarkoitetuissa erikoismuuntajissa. Jäähdytys jakelumuuntajassa on tärkeää, sillä kuormituksen kasvaessa samalla myös lämpötila kasvaa, joka voi aiheuttaa muuntajan suunniteltua nopeampaa vanhenemista esimerkiksi sen eristeiden heikkenemisen vuoksi. Muuntaja lämpee siinä kuormituksen aikana syntyvien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöiden vuoksi. Tyhjäkäynti-,

eli rautahäviöt muodostuvat muuntajan rautasydämessä aiheutuvasta magneettivuon vaihtelusta, eivätkä ole riippuvaisia jakelumuuntajan kuormituksesta vaan sen jännitteestä neliöllisesti. Kuormitus-, eli virtalämpöhäviöt syntyvät kuormituksen aikana virran vaikutuksesta käämien resistansseissa, ja ovat puolestaan neliöllisesti kuormitusvirrasta riippuvaisia. (Eironen 2015, 32-33.)

Jakelumuuntajan mitoituksessa otetaan huomioon muuntajan syöttämän verkon näennäisteho, joka voidaan laskea verkon kokonaispätötehon ja loistehon avulla. Pätötehon suuruuteen verkossa vaikuttaa resistiivinen kuorma, kun taas loistehoon vaikuttaa suuruudeltaan riippuen joko kapasitiivinen tai induktiivinen kuorma. Mitoituksen laskennassa on otettava huomioon myös yhteinen tasoituskerroin (k_{tas}) sekä kerroin tehojen kasvuvaralle tulevaisuudessa (k_r). Jakelumuuntajan näennäisteho saadaan laskemalla kaavalla:

$$S_{TOT} = k_{tas} \cdot k_r \cdot \sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2}$$

Tämän jälkeen jakelumuuntajan nimellistehoksi valitaan laskettua näennäistehoa suurempi arvo ennalta määriteltyjen standardiarvojen pohjalta. Taulukkoa 1 voidaan käyttää nimellistehon valitsemiseen. (Sähkösuunnittelu n.d.)

Taulukko 1 Jakelumuuntajien teknisiä arvoja (Sähkösuunnittelukurssi)

Laji	Teho kVA	Po W	Pk W	Zk %	Io %	Kok. paino kg	Öljyn paino kg
KTMU 24 NC 30 KTMU 12 NC 30	30 30	115 115	900 800	4,0 3,9	3,0 3,0	275 275	75 75
KTMU 24 NC 50 KTMU 12 NC 50	50 50	140 140	1300 1200	4,0 3,7	2,5 2,5	350 350	90 90
KTMU 24 NC 100 KTMU 12 NC 100	100 100	225 225	1950 1850	4,0 3,7	1,6 1,6	525 535	125 125
(KTMU 24 NC 160) (KTMU 12 NC 160)	160 160	310 310	2600 2450	4,0 3,7	1,5 1,5	720 725	150 150
KTMU 24 NC 200 KTMU 12 NC 200	200 200	400 400	2800 2600	4,0 3,7	1,5 1,5	835 840	165 165
(KTMU 24 NC 250) (KTMU 12 NC 250)	250 250	470 470	3600 3400	4,0 3,9	1,5 1,5	930 945	185 185

Harjoitustehtävissä käydään teoriaosuudella edellä mainitut aiheet läpi. Laskentaosuudella käydään jakelumuuntajan mitoitukseen liittyen ensin yksinkertaisia tehtäviä pelkkien tehojen suhteen, jonka jälkeen laskentaan huomioidaan mukaan sähköverkossa ilmeneviä yhteisiä tasoituskerroimia, keskimääräisiä hyötysuhteita sekä tehokertoimia sekä vuotuisia kasvuprosentteja. Näistä esimerkkinä kuvio 5, jossa kuormien kasvulle varataan 25 % lisäkasvu sähköverkon kokonaistehoja ja yhteistä tasoituskerrointa hyödyntäen.

12. Sähköverkon kokonaispätöteho on $P_{TOT} = 1400 \text{ kW}$ ja -loisteho $Q_{TOT} = 800 \text{ kVAr}$ (ind). Yhteinen tasoituskerroin on $k_{tas} = 0.6$. Kuormien kasvulle on varattava lisätehoa +25 %. Määritä kokonaisnäennäisteho S_{TOT} ja valitse muuntajan nimellisteho S_N .

$$S_{TOT} = k_{tas} k_r \sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2} = 0,6 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{(1400 \text{ kW})^2 + (800 \text{ kVAr})^2} = 1209,3 \text{ kVA}$$

Valitaan muuntajan nimellistehoksi 1250 kVA muuntajataulukon mukaisesti.

kuvio 5 Jakelumuuntajan mitoitus – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.5 Keskuksen mitoitus

Aiheena on erilaisten keskusten, kuten esimerkiksi pää-, ala- ja jakokeskusten mitoitus ja valinta. Mitoitukseen käytetään keskuksen läpi eri kuormituksille kulkevaa, kokonaisnäennäistehon (S_{TOT}) avulla laskettavaa kokonaisvirtaa (I_{TOT}), tai muuntajan nimellistehosta (S_N) lasketun virran (I_{NT}) avulla tapauksessa, jossa keskus on kytketty suoraan jakelumuuntajaan. Keskuksen nimellisvirta valitaan standardiarvoista suurempana kuin laskettu kokonaisvirta, mahdollistaen suurimman sallitun jatkuvan kuormitusvirran toteutumisen. Harjoitustehtävissä käydään nopeasti läpi muutama erilainen menetelmä keskuksen nimellisvirran mitoitusta ja valintaa varten (ks. kuvio 6). (Sähkösuunnittelukurssi n.d.)

2. Nimellisjännitteeltään $U_N = 400 \text{ V}$:n sähköverkossa olevien 3-vaihekuormitusten kokonaispätöteho on $P_{TOT} = 700 \text{ kW}$ ja -loisteho $Q_{TOT} = 500 \text{ kVAR}$ (ind). Tehoissa on jo huomioitu korjauskertoimet. Laske kuormituksia syöttävän keskuksen kokonaisnäennäisteho S_{TOT} ja -virta I_{TOT} ja valitse keskuksen nimellisvirta I_N .

$$S_{TOT} = \sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2} = \sqrt{(700 \text{ kW})^2 + (500 \text{ kVAR})^2} \\ = 860,2 \text{ kVA}$$

$$I_{TOT} = \frac{S_{TOT}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{860,2 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 1241,6 \text{ A}$$

Keskuksen nimellisvirraksi valitaan 1250 A, tai vaihtoehtoisesti 1600 A (tilavaraus)

kuvio 6 Keskuksen nimellisvirran määrittäminen kokonaisnäennäistehon sekä -virran avulla (Sähkösuunnittelukurssi)

3.6 Kaapelin mitoitus

Kaapelin mitoituksessa on suositeltavaa käyttää johtojärjestelmiin soveltuvaa standardia SFS 6000-5-52:2022. Mitoituksessa on huomioitava muun muassa kaapelityyppi ja materiaali, kaapeli sähköiset arvot, asennusolosuhteet, muiden asennettavien kaapeleiden lukumäärä sekä kuormitusvirta. Kurssilla keskitytään pienjännitekaapeleiden mitoitukseen, jotka jaetaan sen maksimijännitteen keston mukaan asennuskaapeleihin (<750 V) ja voimakaapeleihin (750 – 1000 V). Kaapeli on mitoitettava tarkasti, sillä väärin laskettuna tai asennettuna sen elinikä voi kärsiä huomattavasti, aiheuttaen ylimääräisiä kuluja kaapelin korjauksen tai korvauksen yhteydessä ja mahdollisesti jopa sähköturvallisuusvaaroja maasulku-, tai oikosulkuvirtojen aiheutumisen vuoksi viallisessa kaapelissa. Materiaaliltaan kaapeli valitaan nykypäivänä PVC tai PEX-eristeisen muovimateriaalin mukaan. PVC kestää pakkasta tehokkaammin, ja on yleisesti helpommin käsiteltävää, kun taas PEX-eristeellä on suurempi lämmönkestoisuus, mikä mahdollistaa suuremman kuormituksen kaapelissa. Sähköverkon maakaapeloinnissa käytetään nykypäivänä sekä pienjännite, että keskijänniteverkossa PEX-eristeisiä kaapeleita, esimerkiksi alumiinisia AXMK-voimakaapeleita ja AHXAMK-W

keskijännitekaapeleita. Suuremmissa asennuksissa käytetään kaapelin johdinaineena alumiinia, kun taas elektroniikassa yleisemmin käytetään kalliimpaa materiaalia, kuparia. Kaapelin mitoituksessa on huomioitava kaapelin kuormitusvirta, ja mitoittettava kaapeli vastaamaan asennusolosuhteiden ja lämpötilojen avulla laskettua vaadittua kuormitettavuutta. Jokaiselle kaapelin asennustavalle, eriste- ja johdinmateriaalille sekä poikkipinta-alalle on annettu standardissa omat sallitut peruskuormitettavuudet. Asennustapoihin kuuluu muun muassa asennus lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa, puu-, tai kiviseinän pinnalle putkessa, suoraan maahan asennettuna tai putkessa, vapaasti ilmassa, erilaisille kaapelihyllyille tai tikkaille asennettuna. Jokaisella asennustavalla on huomioitu erikseen kaapelin kuormitettujen johtimien määrä, ja jokaisella on oma kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttava korjauskerroin. Näiden lisäksi myös ympäristön lämpötila vaikuttaa kaapelin kuormitettavuuteen, ja voi olla eri suuruinen eri asennusolosuhteissa, esimerkiksi maahan asennettuna lämpötila voi olla +10 °C, kun taas seinällä lämpötila voi olla 25 °C. Lopullinen kaapelin poikkipinta-ala, kuormitettavuus tai todellinen kuormitettavuus saadaan laskettua käyttäen asennus- ja lämpötilaolosuhteiden avulla saatuja korjauskertoimia hyväksi. Jokaiselle asennustavalle lasketaan oma todellinen kuormitettavuus, jonka perusteella valitaan, minkä kokoista kaapelia asennuksessa tulee käyttää. (SFS 6000-5-52:2022, 25–35.)

Kurssin harjoitustehtävät jaetaan kahteen osaan, kaapelin perusmitoitukseen ja kaapelin mitoitukseseen korjauskertoimilla. Perusmitoitustehtävissä käydään läpi opittua termistöä sekä asennustapoja, ja suoritetaan mitoituslaskentaa eri asennustavoille standardiolosuhteissa. Toisen tehtäväpaketin tarkoituksena on hyödyntää aiemmin opittuja menetelmiä ja käydä syvemmin läpi kaapelin todellista mitoitusta korjauskertoimien ja asennusolosuhteiden avulla. Kuviossa 7 esimerkki kaapelin mitoituksesta asennusolosuhteiden korjauskertoimia käyttäen. (Sähkösuunnittelukurssi n.d.)

15. AMCMK 4x300Al+41Cu on asennettu 20 m:n matkalla maahan putkessa ja 15 m:n matkalla pinta asennuksena puuseinän pinnalle. Maassa kaapeli on asennettu samaan ojaan neljän muun kaapelin kanssa kaapelit kiinni toisissaan. Lämpötila on maassa +15 °C ja seinällä +40 °C. Maan lämpöresistiivisyys on 2.5 K·m/W. Määritä kaapelin todellinen kuormitettavuus.

Putkessa maahan asennettu osuus:

Kaapelin peruskuormitettavuus asennettuna maahan putkessa saadaan taulukosta B.52.4 $I_{ZP} = 247 \text{ A}$

Ympäristön lämpötilan korjauskertoimen maassa saadaan taulukosta B.52.15 $\rightarrow k_1 = 1.05$

Maassa on 4 muuta kaapelia kiinni toisissaan. Muista kaapeleista aiheutuva korjauskertoimen saadaan taulukosta B.52.19 $\rightarrow k_2 = 0.65$

Maan lämpöresistiivisyyden korjauskertoimen saadaan taulukosta B.52.16 $\rightarrow k_3 = 1,0$

Todellinen kuormitettavuus maassa:

$$I_Z = I_{ZP} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 247 \text{ A} \cdot 1,05 \cdot 0,65 \cdot 1,0 = 168,6 \text{ A}$$

Puuseinän pinnalle asennettu osuus:

Kaapelin peruskuormitettavuus puuseinän pinnalla saadaan taulukosta B.52.4 $\rightarrow I_{ZP} = 351 \text{ A}$

Ympäristön lämpötilan korjauskertoimen ilmassa taulukosta B.52.14 $\rightarrow k_1 = 0,87$

Todellinen kuormitettavuus puuseinän pinnalla:

$$I_Z = I_{ZP} \cdot k_1 = 351 \text{ A} \cdot 0,87 = 305,4 \text{ A}$$

Kaapelin todellinen kuormitettavuus:

Koko asennusreitit suurin sallittu kuormitettavuus on pienin edellä saaduista arvoista eli 168,6 A

kuvio 7 Kaapelin mitoitus korjauskertoimilla – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.7 Sähköverkon komponenttien mallintaminen

Sähköverkon komponenttien mallintamisessa on tarkoituksena korvata kaikki sähköverkon komponentit, kuten generaattorit, kaapelit, muuntajat ja moottorit omalla sijaiskytkennällä yksinkertaistamaan verkon eri arvojen laskentaa. Sijaiskytkentämenetelmässä käytetään Theveninin menetelmää, jolla lasketaan esimerkiksi verkon oikosulkuvirtojen arvoja. Menetelmässä sähköverkko yksinkertaistetaan kuvaamaan yksittäisinä komponentteina koko verkon resistiivisiä ja reaktiivisia osia tietyllä jännitetasolla. Näiden avulla voidaan laskea esimerkiksi tietyn pisteen haluttu impedanssi, oikosulkuvirta ja -teho. Joskus esimerkiksi oikosulkuvirtoja laskettaessa tietylle pisteelle, verkossa täytyy vikapaikkaa edeltävien, kuten muuntajaa edeltävien, siis eri jännitetasossa sijaitsevien komponenttien arvot muuttaa vastaamaan vikapaikan jännitetaso arvoja. Tätä menetelmää kutsutaan redusoinniksi. Redusoinnissa käytetään impedansseja ja virtoja eri jännitteiden suhteina. Tehoja ei tarvitse redusoida, sillä verkossa oleva kuormitus pysyy samana jännitetasosta riippumatta. (Sähkösuunnittelukurssi n.d.)

Harjoitustehtäviin sisältyy mallintamiseen liittyviä käsitteitä, sekä Theveninin menetelmä sähköverkon komponenttien arvojen laskennassa. Kuviossa 8 esimerkkilaskuna verkon impedanssin, reaktanssin ja resistanssin määrittäminen pääjännitteen sekä oikosulkutehon avulla.

14. Syöttöverkon pääjännite on 20 kV ja liittymispisteen oikosulkuteho 400 MVA. Laske verkon impedanssi, reaktanssi ja resistanssi.

Pääjännite 10 kV, valitaan jännitekertoimeksi $C_{max} = 1,10$

$$Z_Q = \frac{C_{max} \cdot U_N^2}{S_{kQ}} = \frac{1,10 \cdot 20 \text{ kV}^2}{400 \text{ MVA}} = 1,100 \Omega$$

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q = 0,995 \cdot 1,10 \Omega = 1,0945 \Omega \approx 1,095 \Omega$$

$$R_Q = 0,1 \cdot X_Q = 0,1 \cdot 1,095 \Omega = 0,1095 \Omega$$

kuvio 8 Sähköverkon komponenttien mallintaminen – harjoitustehtäväesimerkki
(Sähkösuunnittelukurssi)

3.8 Jännitteenalenema

Seuraavassa aihealueessa käsitellään jännitteenalenemat sekä jännitehäviöt. Jännitteenalenema aiheutuu virran kulkiessa johtimen impedanssin läpi, synnyttäen siinä jännitteenaleneman. Yksinkertaisuudessaan se tarkoittaa sitä, että johdon alkupäässä vaihejännite on suurempi kuin loppupäässä. Jännitteenalenema on vaihejännitteiden alku-, ja loppupään itseisarvojen erotus. Sen suuruuteen vaikuttavat kuormituksen suuruus, impedanssi ja johtimen pituus. Jännitehäviöt muodostuvat periaatteessa samalla tavalla, mutta lasketaan alku-, ja loppupään jännitteiden jännitevektoreiden erotuksena (Korpinen n.d.). Jännitteenalenemaa käytetään sähkönjakeluverkkojen laskennoissa, tarkoituksena varmistua siitä, ettei jännite laske liian alhaiseksi missään verkon pisteessä. Jännitteenalenemien maksimimääristä pienjänniteasennuksille on annettu SFS 6000 -standardissa arvot. Muiden tilanteiden maksimiarvoja ovat esimerkiksi 5-10 % taajamien pienjännitejohdoille, 5-10 % maaseudun pienjännitejohdoille ja 5-15 % siirtojohdoille. Kaapelin poikkipinta-alan suurentamisella voidaan välttää liian suurien jännitteenalenemien esiintyminen verkossa. Yksittäisten komponenttien jännitteenalenema lasketaan käyttäen moottoria esimerkkinä. Oikosulkumoottorit tarvitsevat käynnistyäkseen sen nimellisvirtaan nähden noin 6-8 kertaisen virtapiikin, jonka vuoksi jännitteenalenema voi kasvaa lyhyilläkin matkoilla liian suureksi. Tämä voidaan myös

välttää kasvattamalla kaapelin poikkipinta-alaa, tai vaihtoehtoisesti kytkemällä useita kaapeleita rinnan. (Jännitteen aleneman laskeminen n.d.)

Aihealueen harjoitustehtävissä käydään perusteellisesti laskennan avulla eri tapoja laskea järjestelmän jännitteenalenema eri tilanteissa. Esimerkkinä kuvio 9, jossa jännitteenalenema lasketaan kahdelle poikkipinta-alaltaan ja materiaaliltaan erilaiselle kaapelille 3-vaiheisen kuormituksen virran, tehokerroimen sekä kuormitusta syöttävän kaapelin pituuden avulla. Kaapeleiden resistanssiarvot määriteltä kaapelivalmistajien standarditaulukoiden mukaisesti.

3-vaiheisen kuormituksen virta 200 A, tehokerroin 0.75 ja kuormitusta syöttävän kaapelin pituus 400 m. Laske absoluuttinen jännitteenalenema (V) ja suhteellinen jännitteenalenema (%) kaapelille MCMK 4x70/35. Johtimen lämpötila on 20 °C.

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = \sqrt{1 - 0.75^2} = 0,661$$

$$R_j = r_j \cdot s = 0,268 \Omega/km \cdot 0,4 km = 0,1072 \Omega$$

$$X_j = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l_j \cdot s = 2 \cdot \pi \cdot 50Hz \cdot 0,00026H/km \cdot 0,4 km \\ = 0,0327 \Omega$$

$$U'_H(V) = I \cdot (R_j \cdot \cos \varphi + X_j \cdot \sin \varphi) \\ = 200 A \cdot (0,1072 \Omega \cdot 0,75 + 0,0327 \Omega \cdot 0,661) = 20,4 V$$

$$U'_H(\%) = \frac{U'_H(V)}{U_V(V)} \cdot 100\% = \frac{20,4 V}{\frac{400 V}{\sqrt{3}}} \cdot 100\% = 8,8334 \% \approx 8,8 \%$$

kuvio 9 Jännitteenalenema – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.9 Oikosulkuvirtojen laskenta

Kurssilla yksi olennaisin osa on oikosulkujen tarkastelu sekä niiden aiheuttamien oikosulkuvirtojen laskeminen. Oikosulku syntyy pieni-impedanssisena eristysvikana kahden tai useamman johtimen

kosketuksesta toisiinsa. Oikosulkuja voi syntyä joko yksivaiheisina, jolloin vika vaikuttaa yhden vaihejohtimen ja nolla- tai suojamaajohtimen välillä, tai kahden tai useamman vaihejohtimen välillä esiintyvänä monivaiheisena vikana. Niitä esiintyy yleisimmin keskijänniteverkossa ilmajohtolinjassa myrskyjen tai eläinten aiheuttamana. Luonnollisesti myös inhimilliset erehdykset ovat läsnä oikosulkujen aiheuttajina, ja synnyttävät usein siitä aiheutuvan valokaaren vuoksi räjähdyksenomaisia paineaaltoja, hengenvaarallisia myrkkyyä ja sokaistumisvaaroja. Oikosulkuvirtojen huomioiminen sähköverkon eri osien ja laitteiden mitoituksessa on yksi sähkösuunnittelun tärkeimmistä osa-alueista. Komponenttien on kestävä oikosulun aikana aiheutuvat sysäyoikosulkuvirtojen (i_p) dynaamiset, eli paineaallon aiheuttamat räjähtävät ominaisuudet sekä termiset (I_{TH}), eli kaapeliin ja kojeisiin aiheutuvat lämpövaikutukset. Nämä tekijät huomioidaan eri laitteiden mitoituksessa maksimi oikosulkuvirtaa (I_K'') laskettaessa. Maksimi oikosulkuvirta syntyy kolmivaiheisessa oikosulussa, ja vaikuttaa sen alkuhetkillä. Minimi oikosulkuvirtaa (I_{KMIN}) puolestaan käytetään suojauksen suunnittelussa ja huomioidaan yksivaiheisen oikosulun laskennassa. Kaikkien oikosulkuvirtojen laskennassa käytetään Theveninin menetelmää, jossa edellä mainittuna syöttävä verkko korvataan yksinkertaisella sijaiskytkennällä. (Oikosulkusuojaus n.d, 1-9.)

Aihealueen harjoitustehtävissä käydään läpi oikosulkuvirtojen termistöä ja niiden aiheuttamia vaikutuksia eri tilanteissa. Lisäksi testataan tietoa, mitä oikosulkuvirran arvoa täytyy käyttää missäkin tilanteessa. Laskentatehtävissä puolestaan harjoitellaan näiden oikosulkuvirtojen määrittelyä kussakin tilanteessa. Näihin laskutehtäviin lukeutuu kuviossa 10 esitetty harjoitus 3-vaiheisen oikosulkuvirran määrittämisestä 400 V:n verkossa jännitekertoimen, resistanssin ja reaktanssin avulla.

Laske 400 V:n verkon 3-vaiheisessa oikosulussa syntyvä maksimi oikosulkuvirta I''_K , kun vikapaikasta katsottuna on verkon resistanssi $R_T = 0.0080 \Omega$ ja reaktanssi $X_T = 0.0200 \Omega$.

$$C_{MAX} = 1,10$$

$$I''_K = \frac{C_{MAX} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_T^2 + X_T^2}} = \frac{1.10 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0080\Omega)^2 + (0.0200\Omega)^2}} = 11793,2 \text{ A}$$

kuvio 10 Oikosulkuvirtojen laskenta – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.10 Ylikuormitussuoja

Ylivirtasuojaus jaetaan pitkäkestoisiin ja lyhytkestoisiin ylivirtatilanteisiin. Pitkäkestoisessa ylivirtasuojauksessa tarkoituksena on huomioida normaaleissa tilanteissa tapahtuvien johtojen lämpenemisen aiheuttamat eristysten, liitosten ja ympäristön vahingoittumat, ja estää tällöisten tapahtuminen. Lyhytkestoisessa ylivirtatilanteessa on puolestaan tarkoitus estää erityisen vian, kuten oikosulun aikana tapahtuvia vaurioita, katkaisemalla vikavirtapiiri mahdollisimman nopeasti pois. Molempien suojaukset toteutetaan yleensä käyttämällä sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Sulaketta voidaan käyttää joko molemmissa ylikuormitustilanteissa, tai pelkästään lyhytkestoisessa vikavirtatilanteessa oikosulkusuojana. Sähköverkon suojauksessa käytetään sulakkeita muuntajasta jakokaappiin, ja sieltä kuluttajan sähköpääkeskukseen asti. Johdonsuojakatkaisijoita puolestaan käytetään nykyään yleisemmin kerrostalon asuntokohtaisissa pääkeskuksissa, sekä nimellisvirraltaan pienemmissä suojauksissa, kuten apusähköjärjestelmissä sen huomattavasti sulaketta pienemmän koon ansiosta. Ylikuormituksen laskennassa on varmistettava seuraavien kahden epäyhtälön toteutuminen:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \leq I_Z$$

, missä I_B on virtapiirin mitoitusvirta, I_N on suojalaitteen nimellisvirta I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus ja I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen määritellyssä toiminta-ajassa. Suunnittelussa käytetään suojalaitteille valmiiksi annettuja standardin mukaisia nimellisvirtoja. (Kallasjoki 2014.)

Ylikuormitussuojan harjoitustehtävissä testataan tietoa suojaukseen liittyvistä virroista sekä niiden eroista, miten suojauksessa käytettävät johdonsuojakatkaisijat ja sulakkeet toimivat sekä millä tavalla ne eroavat toisistaan. Lisäksi harjoitellaan suojauksen toteuttamista ja toteutumista valitsemalla oikean kokoiset sulakkeet tai johdonsuojakatkaisijat standardin mukaisten taulukoiden perusteella tehtävissä annettujen arvojen avulla.

3.11 Oikosulkusuojaus ja selektiivisyys

Sähköverkon laskennassa ehkä olennaisin asia on oikosulkusuojauksen toimivuus sekä selektiivisyys. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa edellä mainittujen oikosulkuarvojen avulla. Laskennassa huomioidaan eri lämpötiloja, kaapelin poikkipinta-aloja sekä oikosulun suurin sallittu kesto aika. Jotta suojaus toimisi riittävän nopeasti, on suojattavan johdon lopussa tehtävässä minimi oikosulkuvirran laskennassa valittava kaapelin johtimien resistanssiarvot 70 °C lämpötilassa. Suojattavan johdon alussa laskettavaan maksimi oikosulkuvirran arvoon suojalaitteen katkaisukyvyyn riittävyden toteamiseen käytetään puolestaan johtimien resistanssiarvoja 20 °C lämpötilassa. Suojauksen toteutuminen edellyttää, että käytettävän suojalaitteen katkaisukyky on suurempi kuin siihen vaikuttavien oikosulkuvirtojen suuruus.

Oikosulkusuojauksessa käytetään yleensä sulakkeita. Niiden koko määritellään useimmiten joko oikosulkuvirran suurimman sallitun kestoajan tai kaapelin poikkipinta-alan perusteella. Oikosulun kesto aika lasketaan seuraavasti:

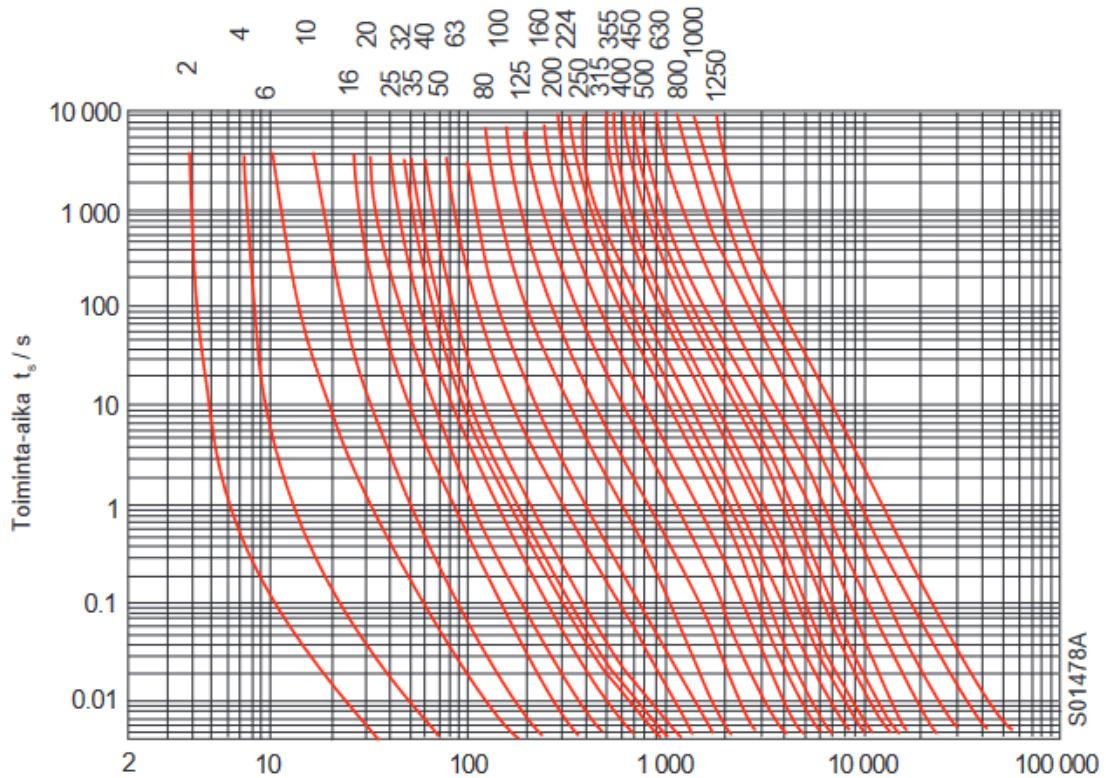
$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I}\right)^2 \text{ tai } t = \left(\frac{I_{CW}}{I_{TH}}\right)^2$$

, missä t on aika, jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee yli sallitun lämpötilan, k on johdin-, ja eristysmateriaalista sekä alku-, ja loppulämpötiloista riippuva kerroin, A on johtimen poikkipinta-

ala, I on oikosulkuvirran tehollisarvo, I_{CW} on komponentin sallitun termisen oikosulkuvirran 1 sekunnin tehollisarvo ja I_{TH} on termisen oikosulkuvirran 1 sekunnin tehollisarvo. Sulakekoko määritellään sulakevalmistajien tarjoamien valmiiden käyrästöjen avulla laskettua aikaa sekä oikosulkuvirtoja hyödyntäen (ks. kuvio 11). (Oikosulkusuojaus n.d, 15–20.)

Selektiivisyydellä tarkoitetaan tapaa toteuttaa suojaus siten, että vikatilanteessa häiriö rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle verkossa. Yksinkertaistettuna esimerkiksi kerrostalossa suojaus toimii niin, että yhdessä asunnossa tapahtuva vikatilanne ei vaikuta muihin asuntoihin, koska suojaus on toteutettu oikein selektiivisyyden suhteen.

gG -sulakkeiden toiminta-ajat



kuvio 11 gG -sulakkeiden toiminta-ajat suhteessa prospektiivisen oikosulkuvirran arvoon (Pienjännitekojeet n.d, 9)

Aihealueen harjoitustehtävissä keskitytään oikosulkuvirtojen suojauspuolelle, keskeisimpänä teemana miten oikosulkusuojaus on toteutettava, että suojaus on toimiva ja selektiivinen. Laskutehtävösiössä keskitytään oikosulun kestoaikojen laskentaan sekä suojauksen mitoittamiseen aiemmin opittujen oikosulkuvirtojen arvojen avulla. Kuviossa 12 esimerkki oikosulun suurimpien sallittujen kestoaikojen määrittämisestä maksimi-, ja minimioikosulkuvirtojen sekä kaapelin poikkipinta-alan arvoja avulla.

Poikkipinnaltaan 150 mm²:n PVC-eristeisessä alumiinikaapelissa syntyä oikosulussa maksimissaan 20 kA:n ja minimissään 5 kA:n oikosulkuvirta. Missä ajassa oikosulkusuojauksen on toimittava ko. virroilla?

$$t_{IKMAX} = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 = \left(\frac{76 \cdot 150 \text{ mm}^2}{20000 \text{ A}} \right)^2 = 0,3249 \text{ s}$$

$$t_{IKMIN} = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 = \left(\frac{76 \cdot 150 \text{ mm}^2}{5000 \text{ A}} \right)^2 = 5,1984 \text{ s}$$

kuvio 12 Oikosulkusuojaus ja selektiivisyys – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.12 Vikasuojaus

Vikasuojauksessa pyritään estämään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian aiheuttamia vaarallisia jännitteiseksi tulleita osia niin, ettei siitä aiheutuisi vaaraa. Tämä toteutetaan soveltamalla syötön automaattista poiskytkentää, pääpotentialintasausta tai lisäpotentialintasausta. Vikasuojauksessa yksi tärkeimmistä asioista on vaaditun poiskytkentäajan määrittely. Vaadittu poiskytkentäaika tarkoittaa tiettyä maksimiaikaa, jossa vikavirtasuojaus on täytynyt toimia, eli kytkeä vikapiiri pois päältä. Poiskytkentäaikojen arvoina käytetään yleisimmin 0,4 sekunnin nopeaa sekä 5 sekunnin hidasta arvoa. Standardin SFS 6000 mukaan 0,4 sekunnin poiskytkentäaika koskee enintään 63 ampeerin ylivirtasuojailla suojattuja pistorasiaryhmäjohtoja sekä enintään 32 ampeerin ylivirtasuojailla suojattuja kiinteästi asennettujen laitteiden ryhmäjohtoja. Korkeintaan 5 sekunnin poisaikakytkentä on sallittu pääjohdoille ja piireille sekä edellä mainituille ryhmäjohdoille, joiden ylivirtasuojaat ylittävät kyseiset arvot. Vikasuojauksessa täytyy huomioida minimi oikosulkuvirtojen arvot varmistuakseen siitä, että suojauslaite toimii vaaditussa, sille ennalta asetetun toimintarajavirran arvossa, joko 0,4 sekunnin tai 5 sekunnin ajassa. Mitattujen oikosulkuvirtojen arvot tulee

olla 25 % suurempia suojalaitteiden toimintarajavirtoihin verrattuna, sillä laskennassa käytetyt lämpötilat ovat alhaisempia verrattuna oikosulun aiheuttamiin lämpötiloihin. Jos vian nopeaa poiskytkentää ei ole mahdollista toteuttaa ylivirtasuojilla, on sen sijaan käytettävä nimellisvirraltaan 30 mA:n vikavirtasuojia. (Sähkösuunnittelu n.d.)

Harjoitustehtävissä kerrataan, missä tilanteessa käytetään mitään vikasuojastapaa syötön automaattisen poiskytkennän, potentiaalintasauksen sekä lisäpotentiaalintasauksen suhteen. Lisäksi kysytään muun muassa sitä, mitä tekijöitä suojauksen toteutuminen vaatii, ja miksi. Laskentatehtävissä harjoitellaan poisaikakytkentöjen määrittämistä, verkon yksivaiheisen oikosulkuvirran sekä impedanssin laskentaa sekä kaapelin suurimman sallitun pituuden laskentaa erityyppisiä suojalaitteita käyttäessä. Kuviossa 13 esimerkkinä kaapelin suurimman sallitun johtopituuden määrittäminen eri suojaustyyppiä käyttäen.

Nimellisjännitteeltään 400 V:n keskukseseen kytketään 10 A:n valaisinryhmäjohtoja. Keskuksen pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 1400 A. Laske, mikä on suurin sallittu johtopituus MCMK 2x1.5+1.5 kaapelille, kun suojalaitteena käytetään 10 A:n C-tyypin johdonsuojakatkaisijaa.

$$s = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_K} - \frac{C \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{ke}}}{2 \cdot z} = \frac{\frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 100 \text{ A}} - \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1400 \text{ A}}}{2 \cdot 14,620 \text{ } \Omega/\text{km}} = 69,6 \text{ m} \approx 69 \text{ m}$$

kuvio 13 Vikasuojaus – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)

3.13 Maadoitus ja potentiaalintasaus

Maadoituksen tarkoitus on sähköturvallisuuden parantaminen, tarkoituksena estää vikatilanteessa vaarallisen kosketusjännitteen ilmeneminen jännitteelle alltiissa johtavassa osassa, sekä estää erilaisten häiriöiden syntymistä järjestelmässä. Maadoitusjärjestelmä koostuu useasta osakokonaisuudesta kuten esimerkiksi suojamaadoituksista, pääpotentiaalintasauksista sekä maadoituselektrodeista. Suojamaadoitus tarkoittaa suojajohdinta, jonka avulla jännitteelle alltiin johtavan osan

kosketusjännitesuojaus toteutetaan. Maadoitusjohtimena käytetään yleensä vähintään 6 mm², maahan asennettuna vähintään 16 mm² kuparijohdinta. Sitä käytetään yhdistämään muut osakokonaisuudet toisiinsa luomaan kokonainen maadoitusjärjestelmä. Väriykseltään suojajohtimen täytyy olla merkitty keltavihreällä väriyhdistelmällä koko pituudeltaan, ja on ainut johdin, johon kyseistä väriyhdistelmää saa sähköasennuksissa käyttää. Pääpotentiaalintasaus on tärkeä perusta maadoitusjärjestelmälle, ja tulee olla asennettuna jokaisessa rakennuksessa. Sen tarkoituksena on ehkäistä vaarallisten jännite-erojen syntyminen samanaikaisesti kosketeltavissa olevien johtavien osien välillä. Nämä johtavat osat koostuvat useimmiten rakennusten metallisista rakenteista, putkistoista sekä sähkölaitteiden koteloista. Maadoituselektrodin perimmäinen tarkoitus on muodostaa johtava yhteys maahan. Jokaisella PEN-johtimella syötetyllä sähköliittymällä on oltava maadoituselektrodi asennettuna. Näissä tapauksissa maadoituselektrodin on sijaittava jokaisen vähintään 200 metrin pituisen johtohaaran päässä, tai vähintään 200 metrin etäisyydellä siitä. Liittymien maadoituselektrodit toimivat myös osana koko pienjännitejakeluverkon maadoitusjärjestelmää, joka yhdistyy muuntajalla yhteen keskijänniteverkon kanssa. Maadoitusjärjestelmä kootaan päämaadoituskiskossa, johon tuodaan jokainen maadoitus ja potentiaalintasauspiste. Suojamaadoitusjohtimen poikkipinta-ala voidaan laskea standardin SFS 6000-5-54:2022 mukaisesti laskukavalla:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

, missä S on suojajohtimen poikkipinta-ala, I on suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivisen vikavirran tehollisarvo, kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika, t on suojalaitteen toiminta-aika ja k on kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimien materiaalista, eristyksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista. (SFS 6000-5-54:2022, 7-23.)

Maadoitusjärjestelmien harjoitustehtävissä kerrataan eri maadoitusten käyttötarkoituksia. Laskentaosiossa harjoitellaan suojajohtimen mitoitusta. Kuviossa 14 esimerkki oikosulkuvirran tehollisarvon laskemisesta suojajohtimen poikkipinta-alaa, oikosulkusuojauksen kokonaistoiminta-aikaa sekä annetun kaapelin k-kerrointa hyödyntäen.

18. Kuinka suuri saa enintään olla 1-vaiheisen oikosulkuvirran tehollisarvo, jos oikosulkusuojauksen kokonaistoiminta-aika on 0.1 s ja pääkeskusta syötetään MCMK 4x120/120 kaapelilla, jossa PE-johtimena on kaapelin konsentrisen johdin? Johtimen lämpötilaksi ennen oikosulkua oletetaan 70 °C. Hyödynnä standardin SFS 6000-5-54 taulukoita.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

Ratkaistaan I ->

$$I = \sqrt{\frac{S^2 \cdot k^2}{t}} = \sqrt{\frac{120 \text{ mm}^2 \cdot 141^2}{0,1 \text{ s}}} = 53505,7 \text{ A}$$

kuvio 14 Maadoitus ja potentiaalintasaus – harjoitustehtäväesimerkki (Sähkösuunnittelukurssi)


4 Itsekorjaavat tehtävät

4.1 Moodlen tehtävätyypit


































Jokaisen sähkösuunnittelukurssin aikana käytävän aihealueen harjoitustehtävät on tarkoitus siirtää Moodleen sähköiseksi versioksi sen tarjoamien työkalujen avulla. Moodlen työtilassa voidaan kursille lisätä kuvion 15 mukaisesti monia eri opintoja tukevia aktiviteetteja tai aineistoja.

Lisää aktiviteetti tai aineisto



Hae 

Kaikki **Aktiviteetit** Aineistot

 Ajanvaraus ☆ ⓘ	 Chat ☆ ⓘ	 H5P - Interaktiivin... ☆ ⓘ	 IMS- sisältöpaketti ☆ ⓘ	 Kansio ☆ ⓘ	 Keskustelu- alue ☆ ⓘ
 Kirja ☆ ⓘ	 Kysely ☆ ⓘ	 Läsnäolo ☆ ⓘ	 MM Oppimispäiv... ☆ ⓘ	 Muistuttaja ☆ ⓘ	 Ohjeteksti ☆ ⓘ
 Oppimispäivä- kirja ☆ ⓘ	 Oppitunti ☆ ⓘ	 Organisoi- ja ☆ ⓘ	 Palaute ☆ ⓘ	 Ryhmänmuo- dostus ☆ ⓘ	 Ryhmävalinta ☆ ⓘ
 SCORM- paketti ☆ ⓘ	 Sanasto ☆ ⓘ	 Sivu ☆ ⓘ	 Subcourse ☆ ⓘ	 Taulu ☆ ⓘ	 Tehtävä ☆ ⓘ
 Tentti ☆ ⓘ	 Tiedosto ☆ ⓘ	 Tietokanta ☆ ⓘ	 Todistus ☆ ⓘ	 Työpaja ☆ ⓘ	 Ulkoisen työkalu ☆ ⓘ
 Valinta ☆ ⓘ	 Verkko-osoite ☆ ⓘ	 Wiki ☆ ⓘ			

kuvio 15 Lisää aktiviteetti tai aineisto-työkalun vaihtoehdot (Moodle)

Itsekorjaavien tehtävien laadinnassa käytettiin tenttivaihtoehtoa, sillä sen alle voidaan lisätä useampi erilainen kysymystyyppi. Tenttiaktiiviteettia voidaan käyttää nimensä mukaisesti tenttinä, tai osaamista testaavien harjoitustehtävien teossa itseopiskelun ja kertaamisen suhteen, ja sen voidaan toistaa niin monta kertaa, kuin kurssin ylläpitäjä, siis opettaja haluaa. Aktiiviteetin sisällä voidaan valita tentin muokkaustyökalu, ja lisätä sitä kautta kysymyksiä.

Kysymystyyppejä on useita erilaisia, sekä yksinkertaisia, että monimutkaisia, joista suurin osa on kuitenkin turhan liian monimutkaisia, osan ollessa erillisiä koodinpätkiä vaativia kysymystyyppejä (ks. kuvio 16). Kysymystyyppinä päätettiin kaiken kaikkiaan käyttää viittä erilaista tyyppiä, monivalinta-, tosi/epätosi-, yhdistelmä-, valitse puuttuvat sanat- sekä numeerista kysymystä. Näistä valinnoista neljää tyyppiä, monivalinta-, tosi/epätosi-, yhdistelmä- sekä valitse puuttuvat sanat-tehtävää käytettiin teoriakysymysten luomisessa, ja kahta, numeerista- sekä valitse puuttuvat sanat-tehtävyyppiä käytettiin laskuharjoitusten tekemiseen. Opettaja voi myös määritellä suorituksen palautteen annon joko heti suorituksen aikana, heti suorituksen jälkeen tai tentin sulkeutumisen jälkeen.

Valitse lisättävä kysymystyyppi



KYSYMYKSET

- ☰ Monivalinta
- Tosi/Epätosi
- ☰ Yhdistämistehtävä
- ☐ Lyhytvastaus
- ¹²☐ Numeerinen kysymys
- 📄 Essee
- Aukkotehtävät
- Cr** CodeRunner
- $2+2 = ?$ Laskutehtävä
- $2+2 = ?$ Matemaattinen monivalintatehtävä
- 🌈 STACK
- ▼ Valitse puuttuvat sanat

Valitse kysymystyyppi
nähdäksesi sen kuvauksen.

Lisää Peruuta

kuvio 16 Esimerkki Moodlen tentti-tilaan lisättäviä kysymystyyppiä

4.1.1 Monivalintatehtävä

Monivalintakysymyksessä luodaan kysymys, jolle voidaan valita yksi tai useita oikeita vastauksia useiden eri vastausvaihtoehtojen parista. Vastausvaihtoehtojen arviointi pisteytysten mukaan voidaan toteuttaa haluamallaan tavalla, joko jakaa pisteet useiden oikeiden vastauksien kesken tasan ja vähentää vääristä vastauksista suhteellinen määrä, tai määrittää yksi oikea vastaus, jolla 100 % pisteistä määrätty. Lisäksi voidaan lisätä palaute vastaajalle, joko yleisenä palautteena, joka tulee kaikille vastaajille vastauksista riippumatta, palaute eri vaihtoehtojen valintojen mukaan, tai palaute, kun tehtävä on oikein, osittain oikein tai väärin. Kuviossa 17 esimerkki monivalintatehtävän muokkausasusta, jossa näkyy vaihtoehto valita yksi tai useita oikeita vaihtoehtoja, vaihtoehtojen numerointi sekä vastaukset, niiden arviointi ja palaute.

Yksi vai useita vaihtoehtoja? Salli useampi vaihtoehto ▾

Sekoita vaihtoehdot ?

Vaihtoehtojen numerointi a., b., c., ... ▾

Näytä vakio-ohje ? Ei ▾

▼ Vastaukset

Vaihtoehto 1
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Oikein

Arviointi 100% ▾

Palaute
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Vastauksesi on oikein

Vaihtoehto 2
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Väärin

Arviointi -100% ▾

Palaute
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Vastauksesi on väärin

Vaihtoehto 3
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Osittain oikein

Arviointi 50% ▾

Palaute
↓
A ▾
B
I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🔄
H-P

Vastauksesi on osittain oikein

kuvio 17 Monivalintatehtävän muokkaussivu (Moodle)

4.1.2 Tosi/epätosi

Tosi/epätosi-tehtävässä kysymyksenä toimii yksi tai useamman lauseen väittäjä, jonka opiskelijan on pääteltävä, onko lauseke totta vai ei. Tehtävää käytettiin sellaisissa tehtävissä, joissa muita tehtävätyyppejä oli vaikea hyödyntää, luomalla lyhyt ja selkeä väittäjä jostain yksinkertaisesta aihealueeseen liittyvästä asiasta. Palautetta jaetaan joko tosi-vastaukselle tai epätosi-vastaukselle. Väittäjän yhtä toteutustyyliä voidaan tarkastella kuviossa 18, jossa väittäjän oikeaksi vastaukseksi on valittu epätosi.

▼ Yleiset

Kategoria		Oletus kohteelle 12. Maadoitus ja potentiaalinen tasaus - harjoitustehtävät
Kysymyksen nimi	!	12. Maadoitus ja potentiaalinen tasaus - harjoitustehtävä 15.
Kysymysteksti	!	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> ↵ A B <i>I</i> ☰ ☰ 🔗 🔄 🖼️ 📄 🎤 📺 📁 🗑️ H-P </div> <p>Suojamaadoitusiohtimen värityksenä tulee aina käyttää joko ruskeaa, mustaa tai harmaata väritystä.</p> </div>
Oletuspisteet	!	1
Yleinen palaute	?	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> ↵ A B <i>I</i> ☰ ☰ 🔗 🔄 🖼️ 📄 🎤 📺 📁 🗑️ H-P </div> </div>
Tunnistenumero	?	<input type="text"/>
Oikea vastaus		Epätosi
Palaute vastaukselle 'Tosi'.		<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> ↵ A B <i>I</i> ☰ ☰ 🔗 🔄 🖼️ 📄 🎤 📺 📁 🗑️ H-P </div> </div>

kuvio 18 Tosi/epätosi-tehtävän muokkausulkoasu (Moodle)

4.1.3 Yhdistämistehtävä

Yhdistämistehtävän muokkausosio muistuttaa ulkonäöltään monivalintatehtävää, mutta tässä tapauksessa sekä kysymyksiä, että vastauksia on useampi. Tehtävää varten annetaan ensin pääkysymys kysymystekstikenttään, jossa esiintyy esimerkiksi useita erilaisia käsitteitä. Tämän jälkeen jokaiselle käsitteelle luodaan oma kysymys/vastaus osio, johon tulee vastata. Kysymys-kentän jättämällä tyhjäksi ja kirjoittamalla vastauskenttään väärä vastaus voidaan luoda ylimääräisiä kysymyksessä esiintyviä väriä vastausvaihtoehtoja. Palautetta voidaan jakaa joko oikeista, osittain oikeista tai vääristä vastauksista. Kuviossa 19 esimerkki yhdistelmätehtävän luonnista ilman ylimääräisiä väriä vastausvaihtoehtoja.

Yleiset

Kategoria	Oletus kohteelle 12. Maadoitus ja potentiaalin tasaus - harjoitustehtävät
Kysymyksen nimi	Testikysymys
Kysymysteksti	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Mitä tarkoittavat lyhenteet U_N, S_N, I_N</p> </div>
Oletuspisteet	1
Yleinen palaute	
Tunnistenumero	<input type="checkbox"/> Sekoita

Vastaukset

Tarjolla olevat vaihtoehdot

Kysymyksiä tarvitaan vähintään kaksi ja vastausvaihtoehtoja vähintään kolme. Ylimääräisiä vääriä vastauksia voit lisätä kirjoittamalla vastauksen mutta jättämällä kysymys-kentän tyhjäksi. Jos sekä kysymys- että vastauskentät ovat tyhjiä, syötettyä kysymystä ei huomioida.

Kysymys 1	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>U_N:</p> </div>
Vastaus	Nimellisjännite
Kysymys 2	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>S_N</p> </div>
Vastaus	Nimellisenäännistö
Kysymys 3	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>I_N</p> </div>
Vastaus	Nimellisvirta

kuvio 19 Esimerkki yhdistelmätehtävän teosta (Moodle)

4.1.4 Valitse puuttuvat sanat

Valitse puuttuvat sanat-tehtävä on kaikista kysymystyypeistä monipuolisin. Sitä voidaan hyödyntää pidemmissäkin teoria- tai laskuharjoitustehtävissä. Tehtävätyypissä kysymystekstikenttään lisätään kysymysteksti, jonka jälkeen tekijän valitsemat avainsanat siirretään vaihtoehdot-osioon, jotka määrittelevät tehtävän oikeat vastaukset. Siirrettyjen avainsanojen tilalle lisätään tupla-hakuluissa oikeaa vastausta vastaava numero. Vaihtoehdot-osiossa määritellään tietylle numerolle joko oikea tai väärä vastaus sekä oma vastausryhmä. Vastausvaihtoehtoja voi olla jopa satoja, riippuen kysymyksen laajuudesta sekä käytettyjen avainsanojen määrästä. Vastausryhmiä voi olla 20 erilaista kirjainten A-T välillä, ja niitä käytetään yhdistämään tietyt vastausvaihtoehdot omiin ryhmiinsä niin, ettei niitä kysymyksessä näy muulle, kun tietylle määritellylle avainsanalle. Kaikki vastaukset niin tässä, kuin edellisissä tehtävätyypeissä voidaan sekoittaa, eli vastausvaihtoehdot annetaan jokaiselle tentin tekijälle eri järjestyksessä. Kuviossa 20 esimerkki tehtävätyypin muokkausosiosta kahta eri avainsanaa käyttäen, molemmilla neljä eri vastausvaihtoehtoa jaoteltuna kahteen eri ryhmään A ja B.

Kysymysteksti !

3 x 3 = [[1]]

Muuntajan kilpiarvoissa ilmoitetaan aina [[5]]

Oletuspisteet !

Yleinen palaute ?

Tunnistenumero ?

▼ **Vaihtoehdot**

Sekoita

Vaihtoehto [[1]]	Vastaus	<input type="text" value="9"/>	Ryhmä	<input type="text" value="A"/>
Vaihtoehto [[2]]	Vastaus	<input type="text" value="6"/>	Ryhmä	<input type="text" value="A"/>
Vaihtoehto [[3]]	Vastaus	<input type="text" value="3"/>	Ryhmä	<input type="text" value="A"/>
Vaihtoehto [[4]]	Vastaus	<input type="text" value="12"/>	Ryhmä	<input type="text" value="A"/>
Vaihtoehto [[5]]	Vastaus	<input type="text" value="Nimellinäennäisteho"/>	Ryhmä	<input type="text" value="B"/>
Vaihtoehto [[6]]	Vastaus	<input type="text" value="Nimellisvirta"/>	Ryhmä	<input type="text" value="B"/>
Vaihtoehto [[7]]	Vastaus	<input type="text" value="Nimellisteho"/>	Ryhmä	<input type="text" value="B"/>
Vaihtoehto [[8]]	Vastaus	<input type="text" value="Nimellisjännite"/>	Ryhmä	<input type="text" value="B"/>

kuvio 20 Valitse puuttuvat sanat- tehtävätyypin muokkausulkoasu (Moodle)

4.1.5 Numeerinen kysymys

Numeerista kysymystä käytetään laskuharjoitustehtävien teossa. Kuten muissa tehtävissä, kysymyskenttään voidaan antaa ylä- ja alaindekseillä varustettuja lyhenteitä tai yksiköitä. Kysymyskenttään lisätään normaalisti haluttu kysymys, jonka jälkeen vastausvaihtoehtokenttään voidaan lisätä useita eri vastauksia. Vastauksina voi olla useita eri vaihtoehtoja, joille voidaan antaa tietty

virhemarginaali, joka määrittelee vastauksen oikeaksi, jos se on määritellyn marginaaliarvon sisällä. Tehtävässä on oltava yksi tai useampi oikea vastaus, jolla arvioinnissa myönnetään 100 % pisteistä. Kuviossa 21 esimerkkinä numeerinen kysymys, jossa kahden eri vastauksen vaihtoehto on sama, mutta desimaalilla erotettu. Molemmat kysymykset arvioidaan 100 % oikeana, virhemarginaalina toisessa 50, toisessa 0,05. Yksikköjä ei vastausten vaihtoehtoihin voi kirjoittaa, joten kysymystekstiin on tärkeä lisätä huomautus siitä, mitä yksikköä vastauksessa haetaan.

Kysymysteksti

Oletuspisteet

Yleinen palaute

Tunnistenumero

!

↕ A B I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🗑️
H-P

Laske 400 V:n verkon 3-vaiheisessa oikosulussa syntyvä maksimi oikosulkuvirta I_k , kun vikapaikasta katsottuna on verkon resistanssi $R_T = 0,0065 \Omega$ ja reaktanssi $X_T = 0,0120 \Omega$

Anna vastauksena laskemasi maksimi oikosulkuvirta joko (A) tai (kA)

1

?

↕ A B I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🗑️
H-P

Vastaukset

Vaihtoehto 1

Virhe

Arviointi

?

↕ A B I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🗑️
H-P

Vaihtoehto 2

Virhe

Arviointi

?

↕ A B I
☰
☰
🔗
🔄
🖼️
📄
🎤
📺
📄
🗑️
H-P

kuvio 21 Numeerinen kysymys esimerkkitehtävä (Moodle)

4.2 Itsekorjaavien tehtävien luonti

Jokaiselle kurssin aikana käytävälle aihealueen harjoitustehtäväpaketille tehdään edellä mainittujen tehtävätyyppien avulla oma tenttiosio, jonne kysymykset luodaan. Aihealueiden määrä on kolmesta, mutta osa aihealueiden harjoitustehtäväpaketeista on jaettu useaan eri osaan, jonka vuoksi tenttien yhteismääräksi muodostuu kahdeksantoista. Tenttiaktiiviteettiä ja edellä mainittuja kysymystyyppejä käyttäen saadaan luotua itsekorjaavia tehtäväpaketteja kuvion 22 mukaisesti, jossa kuvion vasemmalta oikealle edetessä näkyy, mille sivulle kysymys tullaan asettelemaan, siirtotyökalu, numeroinnin jälkeen kuvion 16 mukaisia kysymystyypin ikoneita, kysymysteksti, suuren lasi-ikoni, jonka avulla voidaan esikatsella kysymystä, poistotyökalu sekä kysymyksen pisteytys.

Sivu 1 ☐ Sekoita kysymykset ⓘ

+	1	••	12. vikasuojauksen tehtävä 1	Vikasuojauksen perimmäinen tarkoitus on estää ihmisiä tai koti...	🔍 🗑️	1,00
+	2	••	12. vikasuojauksen tehtävä 2	Syötön automaattisen poiskytkennän on täytettävä kaksi ehtoa...	🔍 🗑️	1,00
+	3	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 3	Potentiaalintasauksessa rajoitetaan [[1]] suuruutta yhdistelemä...	🔍 🗑️	1,00
+	4	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 4	Suojaavaa potentiaalintasasta käytetään [[1]]	🔍 🗑️	1,00
+	5	••	12. vikasuojauksen tehtävä 5	Jännitteelle alttiin ja ns. referenssipisteen välille syntyy vian aik...	🔍 🗑️	1,00
+	6	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 6	Lisäpotentiaalintasauksella tarkoitetaan [[1]] [[4]] tekemällä pai...	🔍 🗑️	1,00
+	7	••	12. vikasuojauksen tehtävä 7	Pistorasiaryhmäjohdot sekä kiinteästi asennettujen laitteiden r...	🔍 🗑️	1,00
+	8	••	12. vikasuojauksen tehtävä 8	Mitatun oikosulkuvirran tulee olla pienempi kuin lasketun oikos...	🔍 🗑️	1,00
+	9	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 9	Miten edeltävä verkko kuvataan vikasuojauslaskelmissa? Vikavii...	🔍 🗑️	1,00
+	10	••	12. vikasuojauksen tehtävä 10	Vaihe- ja suojaohjaintien ominaisimpedanssina käytetään aina...	🔍 🗑️	1,00
+	11	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 11	Vikavirtasuojan nimellistoimintavirta henkilösuojauksessa on ...	🔍 🗑️	1,00
+	12	⋮	12. vikasuojauksen tehtävä 12	Missä tilanteissa vikavirtasuojaa pitää käyttää ja mitä poikkeu...	🔍 🗑️	1,00
+	13	••	12. vikasuojauksen tehtävä 13	Vikavirtasuojat eivät havaitse vaihe- ja nolajohjainten välisiä oi...	🔍 🗑️	1,00
+	14	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 14	Mikä on vaadittu poisakakytkentä seuraavissa tapauksissa: a)...	🔍 🗑️	1,00
+	15	☺	12. vikasuojauksen tehtävä 15	Sähköliittymää edeltävän verkon impedanssi on 0,2 Ω. Laske li...	🔍 🗑️	1,00
+	16	☺	12. vikasuojauksen tehtävä 16	Sähköliittymän pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 3500 A. ...	🔍 🗑️	1,00

Sivu 2 Lisää ▾

+	17	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 17	Nimellisjännitteeltään 400 V:n keskukseen kytketään 10 A:n va...	🔍 🗑️	1,00
---	----	---	-------------------------------	--	------	------

Sivu 3 Lisää ▾

+	18	☺	12. vikasuojauksen tehtävä 18	16 A:n C-tyyppin johdonsuojakattaisijaa edeltävän verkon pieni...	🔍 🗑️	1,00
---	----	---	-------------------------------	---	------	------

Sivu 4 Lisää ▾

+	19	▼	12. vikasuojauksen tehtävä 19	Tutki seuraavan taulukon 41.10 avulla: a) mikä pitää vähintään...	🔍 🗑️	1,00
---	----	---	-------------------------------	---	------	------

Sivu 5 Lisää ▾

+	20	☺	12. vikasuojauksen tehtävä 20	Pienin oikosulkuvirta kesämökin pääkeskuksella on 265 A. Sel...	🔍 🗑️	1,00
---	----	---	-------------------------------	---	------	------

Lisää ▾

kuvio 22 Itsekorjaava tehtäväpaketti tenttiaktiiviteetti-tilassa (Moodle)

Itsekorjaavien tehtäväpakettien luomisen jälkeen on hyvä huomioida tentin ulkoasu, jäsentely sekä kysymysten selkeys. Sivujen jäsentely voidaan toteuttaa haluamallaan tavalla, mutta selkeyden kannalta helpoin ja yksinkertaisin ratkaisu olisi asettaa kaikki tehtäväpaketin kysymykset yhdelle sivulle myös siksi, että tehtäviä voidaan tarvittaessa ohittaa helpommin, sekä tulla takaisin niiden äärelle. Yhden sivun menetelmää tulisi käyttää eritoten laskuharjoitustehtävien liitteiden lisäämisessä tehtävänannossa, sillä ne voivat vaikuttavaa useaan eri kysymykseen, jonka vuoksi menetelmä on käytettävyyden vuoksi paras ratkaisu. Liitetiedostoja tehtävänantoon lisätään suoraan kyseisen kysymyksen kysymystekstikenttään. Esikatselutyökalulla voidaan varmistaa kysymysten toimivuus ja helppolukuisuus nopeasti sekä huolehtia siitä, että kysymys toimii suorituksen aikana halutulla tavalla. Kuviossa 23 esitetty tentin esikatselu, josta ilmenee tehtävänanto, kysymystyyppi sekä kysymyksen pisteytys.

Kysymys 14

Ei vielä vastattu

Kokonaispisteistä 1,00

Merkitse kysymys

Muokkaa kysymystä

Mikä on vaadittu poisaikakytKentä seuraavissa tapauksissa:

a) valaisinpiirin ryhmäjohto, ylivirtasuojana 10 A:n gG-sulake.

b) pistorasiaryhmäjohto, johdon ylivirtasuojana 25 A:n C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

c) omakotitalon pääkeskukselta lähtee aittarakennuksen ryhmäkeskukselle johto MCMK 4x2,5+2,5, jonka ylivirtasuojana on 16 A:n C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

d) pääkeskukselta lähtee jakorasian kautta pistorasialle ryhmäjohto MMJ 3x2,5S, jonka ylivirtasuojana on 16 A:n C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

e) moottorilähtö, moottorin nimellisteho on 22kW, tehokerroin 0,9 ja hyötysuhde 95 % (vihje: laske ensin moottorin nimellisvirta).

kuvio 23 Harjoitustehtäväpaketin tehtävä 14 (Moodle)

5 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda vielä niin opettajille, kuin oppilaille suhteellisen tuntemattomalle opiskeluympäristölle itsekorjaavia tehtäväpaketteja. Tutkimustavoitteena oli etsiä verkosta hyödyllisiä opetustarkoitukseen suunnattuja lomaketyökaluja, ja tutkia niiden käytettävyyttä suhteessa jo käytössä olevaan Moodlen opiskeluympäristöön. Tämä osoittautui hankalaksi, sillä verkossa ei tällä hetkellä ole Moodleen verrattavia suomenkielisiä ilmaisia tai helposti käsiksi päästävissä olevia alustoja. Silti voidaan olettaa, että valittujen työkalujen hyödyntäminen sopii enemmän työympäristössä käytettäväksi, H5P-työkalupakettia lukuun ottamatta, joka Moodlen opiskeluympäristössä ilmeni integroituna järjestelmänä, Moodlen omia työkaluja monimutkaisempana kokonaisuutena.

Työn aikana Moodlen työkaluja hyödyntäessä alkoi hahmottua käsitys siitä, miten ja millä tavalla kysymysten muotoilu on parasta toteuttaa erilaisia kysymystyyppisiä käyttäen. Tehtäviä täytyi huomioida niin opettajan, kuin oppilaan näkökulmasta, tavoitteena luoda mahdollisimman selkeitä ja käytettäviä harjoitustehtäväpaketteja. Hankalaksi osoittautui kysymysten muotoilu järkeväksi valittua kysymystyyppiä käyttäen, sillä jokainen kysymys on monimutkaisuudeltaan erilainen.

Lopputuloksena syntyi toimiva pohja tulevaisuutta varten kurssien toteuttamiseen joko sekatoteutuksena, eli kontakti-, ja etäopiskelun yhdistelmänä, tai pelkkänä etäopiskeluvaihtoehtona. Osa luotujen tehtäväpakettien kysymyksistä eroavat alkuperäisistä materiaaleista, koska parhaimmaksi nähty kysymystyyppi vaati sen muokkaamista verkossa toimivampaan muotoon. Muokattuja tehtäviä voidaan kuitenkin pitää toimivina ja edeltäjiinsä yhtä haasteellisina ratkaisuin. Itsekorjaavat tehtäväpaketit otetaan Jyväskylän Ammattikorkeakoulussa sähkösuunnittelukurssilla varmasti ainakin kokeiluun, ja sitä myötä niiden mahdollisten hyötyjen kautta tulevat luultavasti yleistymään korkeakoulutuksessa. Haasteena tämän siivittämisessä on selkeiden kokonaisuuksien rakentaminen niin, että tehtäväpakettien haastavuus ja opittujen asioiden hyödyntäminen ei heikkene.

Lähteet

ActivePresenter 8. 2022. Atomin ActivePresenter 8- ohjelmisto. Viitattu 10.11.2022.

Eironen M. 2015. Pirtin muuntoaseman saneeraussuunnittelu. Opinnäytetyö, AMK. Tekniikka ja liikenne, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 18.11.2022.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92027/Eironen_Mikko.pdf?sequence=1.

H5P. N.d. Moodlen www-sivut. Päivitetty 19.2.2021. Viitattu 10.11.2022.

<https://docs.moodle.org/3x/fi/H5P>.

Jännitteen aleneman laskeminen. N.d. DIGMA-oppimisympäristön www-sivut. Viitattu 19.11.2022.

<https://moodle.amk.fi/mod/book/tool/print/index.php?id=1796>.

Kallasjoki, T. 2014. Sähköasennusten suojaus osa 3. Johdon kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus. Viitattu 20.11.2022. <https://docplayer.fi/47175720-Sahkoasennusten-suojaus-osa-3-johdon-kuormitettavuus-ja-ylikuormitussuojaus.html>.

Korpinen, L. N.d. Jännitteenalenema. Leena korpisen www-sivut. Viitattu 19.11.2022.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/jannitteenalenema_tehohaviot.pdf.

Mathematics Test. N.d. Demo Atomi ActivePresenter 8 www-sivuilla. Viitattu 10.11.2022.

<https://atomisystems.com/project/mathematics-test/>.

Nurmi, T. 2017. Standardointi ja sähköturvallisuus. SESKO ry. Julkaistu 28.9.2017. Viitattu

17.11.2022. <https://docplayer.fi/57691567-Standardointi-ja-sahkoturvallisuus-tapani-nurmi-sesko-ry.html>.

Oikosulkusuojaus. N.d. Oulun ammattikorkeakoulun www-sivut. Viitattu 20.11.2022.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf.

Opettajan Moodle-opas. N.d. Moodlen www-sivut. Päivitetty 28.9.2022. Viitattu 10.11.2022.

<https://docs.moodle.org/3x/fi/Etusivu>.

Pienjännitekojeet. N.d. FuseLine, Kahvasulakkeet, gG-sulakkeet, aM-sulakkeet. Helsinki: ABB Oy.

Viitattu 21.11.2022. https://library.e.abb.com/pub-lic/a7a3361674eef372c12572d500670426/OF2FI2004_01.pdf.

SFS 6000-5-52:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.8.2022. Viitattu 19.11.2022.

SFS 6000-5-54:2022. Pienjänniteasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.8.2022. Viitattu 23.11.2022.

ST 13.28. 2009. Yleisohjeita sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien dokumentoinnista. Espoo: Sähkötieto ry. Julkaistu 15.11.2009. Viitattu 17.11.2022.

ST 13.30. 2020. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien käyttökäytännöt. Sähkötieto ry. Julkaistu 15.4.2020. Viitattu 17.11.2022.

ST 13.31. 2020. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähkötieto ry. Julkaistu 15.4.2020. Viitattu 18.11.2022.

ST 830.18. 1994. Sähkönjakelun yleiskaavion laatimisoheje. Sähkötieto ry. Julkaistu 15.9.1994. Viitattu 17.11.2022.

Sähköasennukset. N.d. Standardoinnin aihealueita. Suomen standardoimisliitto SFS ry:n www-sivut. Viitattu 17.11.2022. <https://sesko.fi/standardointi/sahkoasennukset>.

Sähkö ja elektroniikka. N.d. Suomen standardoimisliitto SFS ry:n www-sivut. Viitattu 16.11.2022. <https://sfs.fi/osallistu-ja-vaikuta/aihealueet/sahko-ja-elektroniikka/>.

Sähkösuunnittelu. N.d. Sähkösuunnittelukurssin yleiskatsaus Jyväskylän Ammattikorkeakoulun JAMK:n www-sivuilla. Viitattu 14.11.2022. https://opetussuunnitelmat.peppi.jamk.fi/fi/TSA2021KM/course_unit/TSASS500.

Sähkösuunnittelukurssi. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Oppimateriaalia. Viitattu 17.11.2022.

SFS 6000-5-54:2022. Pienjänniteasennukset. Osa 5–54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.8.2022. Viitattu 23.11.2022

