

Kognitiivisen kuormitusteorian soveltaminen yliopisto-opiskelijoiden oskilloskooppityöhön

Pro gradu -tutkielma
Turun yliopisto
Fysiikan ja tähtitieteen laitos
Fysiikka
Maaliskuu 2019
LuK Akseli Siekinen
Tarkastajat:
FT Jaani Paski
FT Minnamari Saloaro

Turun yliopiston laatujaarjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck-järjestelmällä.

Siekkinen, Akseli: Kognitiivisen kuormitusteorian soveltaminen yliopisto-opiskelijoiden oskilloskooppityöhön

Pro gradu -tutkielma, 71 s., 34 liites.

Fysiikka

Maaliskuu 2019

Tässä tutkielmassa sovelletaan kognitiivista kuormitusteoriaa Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksen oskilloskooppityöhön, joka on fysiikan opiskelijoiden ensimmäisenä opiskeluvuotena suoritettava harjoitustyö. Kuormitusteorian mukaan ihmisen työmuistin kapasiteetti on rajallinen ja tämän vuoksi työmuistin turhaa kuormitusta tulee välttää.

Epäolennainen kognitiivinen kuorma käsittää opiskelumateriaalin ja ohjeiden tuomaa ylimääräistä työmuistin rasitusta. Oskilloskooppityön epäolennaista kognitiivista kuormaa vähennettiin minimoimalla jakaantunutta huomioita, vähentämällä keino-päämäärä-analyysejä, tavoitteettomuusvaikutuksella sekä esimerkkitehtävien avulla.

Uudistetusta työohjeesta ja selostuspohjasta kerättiin vanhemmilta fysiikan opiskelijoilta palautetta (N=10) palautelomakkeella, joka koostui väittämistä Likertasteikolla sekä sanallisista kysymyksistä. Vanhempien opiskelijoiden palautteen perusteella työohje ja selostuspohja korjattiin lopulliseksi versioksi. Lopullinen versio työohjeesta ja selostuspohjasta otettiin käyttöön 2018 syksyllä Fysiikan harjoitustyöt IA kurssilla. Uudet opiskelijat suorittivat harjoitustyön pareittain ja antoivat palautetta (N=33) samalla palautelomakkeella kuin vanhemmat opiskelijat.

Avoimen palautteen mukaan 27,3 % uusista opiskelijoista kokee oskilloskoopin käytön olleen vaikeinta harjoitustyössä. Kuitenkin ≥ 90 % uusista ja vanhoista opiskelijoista kokee saavuttaneensa ainakin osittain harjoitustyön oppimistavoitteet sekä oppineensa käyttämään oskilloskooppia. Harjoitustyö ei ole liian haastava eikä se sisällä merkittävästi epäolennaista kognitiivista kuormaa, koska yli 75 % opiskelijoista piti työohjeita selkeinä. Vapaassa palautteessa uusista opiskelijoista 42,4 % antoi harjoitustyölle positiivista palautetta. Helpoimpana osuutena harjoitustyössä opiskelijat pitivät virtapiirikytkentöjen tekemistä sekä yleismittarin käyttämistä, mikä selittyi lukion sähköopin kurssien keskeisten sisältöjen avulla.

Uusien opiskelijoiden palautteesta nousi esille, että opiskelijat kokevat harjoitustyön työlääksi ja melko pitkäksi. Joitakin opiskelijoita turhauttaa erityisesti se, kun he joutuvat odottamaan, että harjoitustyöosaston ohjaaja varmistaa kytkentöjen oikeellisuuden. Opiskelijoiden sanallisen palautteen perusteella työ ”Puolijohdediodin kynnysjännitteen määrittäminen” kaipaa vielä parantamista. Opiskelijoilla on vaikeuksia määrittää kynnysjännitettä sekä vaikeuksia vastata kysymykseen ”Minkä takia tulostettu kuvaaja on ylösalaisin?”.

Asiasanat: Oskilloskooppi, kuormitusteoria, harjoitustyöt, työohje, jännite, potentiaali, diodi, ominaiskäyrä

Sisältö

Johdanto	1
1 Mittaaminen fysiikassa	3
1.1 Fysiikan harjoitustyöt Turun yliopistossa	4
1.2 Opiskelijoiden kokemuksia laboratoriotyöskentelystä	6
1.3 Lukiolaisten tausta	7
1.4 Opiskelijoiden kokemuksia virtapiirien mittaamisesta	10
2 Kognitiivinen kuormitusteoria	11
2.1 Muisti	12
2.2 Skeema	13
2.3 Olennainen kognitiivinen kuorma	14
2.4 Epäolennainen kognitiivinen kuorma	16
2.4.1 Keino-päämäärä-analyysi	17
2.4.2 Jakaantunut huomio	18
2.4.3 Tavoitteettomuusvaikutus	21
2.4.4 Esimerkkiratkaisu	22
2.4.5 Täydennettävä esimerkkiratkaisu	24
2.5 Asiaankuuluva kognitiivinen kuorma	25
2.6 Kuormitusteoria ja harjoitustyöt	25
3 Tutkimuskysymykset	26
4 Tutkimusmenetelmät	26
4.1 Tutkimuksen toteutus	27
4.2 Epäolennainen kognitiivinen kuorma harjoitustyöohjeissa	28
4.2.1 Jakaantuneen huomion minimointi	29
4.2.2 Keino-päämäärä-analyysi	29

4.2.3	Tavoitteettomuusvaikutus	29
4.2.4	Esimerkkiratkaisu ja täydennettävä esimerkki	30
4.2.5	Selvä epäolennainen tieto	30
4.3	Palautelomake	30
5	Tulokset	31
5.1	Epäolennainen kognitiivinen kuorma oskilloskooppityössä	31
5.1.1	Jakaantuneen huomion minimointi	31
5.1.2	Keino-päämäärä-analyysi	35
5.1.3	Tavoitteettomuusvaikutus	38
5.1.4	Esimerkkiratkaisu ja täydennettävä esimerkki	39
5.1.5	Selvän epäolennaisen kuorman minimointi	41
5.2	Työohjeen ensimmäinen ja lopullinen versio	43
5.3	Ensimmäisen version opiskelijapalaute	44
5.3.1	Likert-palaute	44
5.3.2	Avoimet kysymykset	46
5.4	Lopullisen version opiskelijapalaute	47
5.4.1	Likert-palaute	47
5.4.2	Avointen kysymyksien vastausluokat	50
5.4.3	Avoimet kysymykset	53
5.5	Opiskelijoiden kokemuksien vertailua	61
6	Pohdinnat	63
7	Korjauskehoitukset ja jatkotutkimusehdotukset	66
	Viitteet	68

Liite 1: Vanha työohje

Liite 2: Vanha selostuspohja

Liite 3: Palautelomake

Liite 4: Uusi työohje

Liite 5: Uusi selostuspohja

Johdanto

Mittaaminen ja käytännön työskentely laboratoriossa on olennainen osa fysiikan opiskelua. Sähköoppi on suuri kokonaisuus fysiikan opiskelussa ja siihen liittyvä laboratoriotyöskentely käsittää sähköisten mittalaitteiden hallintaa. Tällaisia ovat esimerkiksi yleismittari ja oskilloskooppi. Tässä tutkielmassa uudistetaan Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksen oskilloskooppityö käyttäen kognitiivista kuormitusteoriaa. Alkuperäistä työohjetta ja selostuspohjaa analysoidaan kognitiivisen kuormitusteorian pohjalta ja sitä muokataan kuormitusteorian antamien ohjeiden mukaisesti.

Kognitiivinen kuormitusteoria pohjautuu siihen, että ihmisen työmuistin kapasiteetti on rajallinen. Kun työmuisti kuormittuu liikaa, oppimisprosessit eivät ole enää tehokkaita. Epäolennainen kognitiivinen kuorma kuvaa opiskelumateriaalin ja ohjeiden tuomaa ylimääräistä työmuistin rasitusta. Kuormitusteorian pohjalta on tarkoitus vähentää epäolennaista kognitiivista kuormaa, jolloin opiskelijoille jää enemmän työmuistin kapasiteettia oleellisen tiedon käsittelyyn. Tämä edesauttaa oppimista. [1, 2]

Alkuun käydään lävitse yleisellä tasolla mittaamista fysiikassa, mitä kriteerejä Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitos antaa harjoitustöille ja opiskelijoiden kokemuksia harjoitustöistä. Tämän jälkeen käsitellään kognitiivista kuormitusteoriaa ja erityisesti epäolennaista kognitiivista kuormaa. Tässä tutkielmassa esitellään yleisimmät keinot ja menetelmät, joilla voidaan vähentää epäolennaista kognitiivista kuormaa. Lopuksi kognitiivista kuormitusteoriaa sovelletaan harjoitustyöohjeeseen ja selostuspohjaan.

Uuden harjoitustyön pohjalta kerätään vanhempien fysiikan opiskelijoiden palautetta uudistetusta harjoitustyöstä. Palautelomake koostuu erilaisista väittämistä Likert-asteikolla sekä sanallisista kysymyksistä. Saadun palautteen (N=10) avulla tehdään viimeiset korjaukset työohjeeseen ja selostuspohjaan.

Työohjeen lopullinen versio otetaan syksyllä 2018 käyttöön Fysiikan harjoitustyöt IA kurssilla. Uudet opiskelijat antavat palautetta harjoitustyöstä samalla palautelomakkeella kuin vanhat opiskelijat. Saatu palaute (N=33) analysoidaan ja luokitellaan erilaisiin vastausluokkiin. Palautteessa kiinnitetään huomioita siihen minkälaiseksi uudet opiskelijat kokevat uudistetun harjoitustyön ja onko uudistettu työohje opiskelijoiden mielestä selkeä. Kerättyä palautetta verrataan myös vanhempien fysiikan opiskelijoiden palautteeseen. Lopuksi esitetään opiskelijoiden palautteen perusteella tehtävät korjauskehoitukset työohjeeseen ja selostuspohjaan sekä esitetään jatkotutkimusaiheita.

1 Mittaaminen fysiikassa

Fysiikka on maailmaa tutkiva ja havainnoiva tiede. Fyysikot ovat mittaamisen ja mallintamisen asiantuntijoita, jotka päätyvät erilaisiin asiantuntijatehtäviin [3]. On tärkeää, että fysiikan opiskelijat jo opintojensa aikana perehtyvät laboratoriotyöskentelyyn ja harjaantuvat fysikaalisessa mittaamisessa ja mallintamisessa. Tämän vuoksi fyysikkojen peruskoulutukseen kuuluu erilaisia fysiikan laboratoriotöitä. [4, 5]

Fysiikan avulla suoritettava ongelmanratkaisu vaatii kokeellista havainnointia ja siitä päätelmien tekemistä. Tämä vaatii erilaisten tietojen ja taitojen hallitsemista. Tällaisia ovat: matemaattiset, laskennalliset, kokeelliset ja käytännölliset taidot sekä laaja tietämys. Näiden avulla fyysikot tulkitsevat ympäröivää maailmaa. [4, 5]

Amerikan fysiikan opettajien yhdistys on antanut alemmaa korkeakoulututkintoa (undergraduate) suorittavien yliopisto-opiskelijoiden laboratoriotyöskentelyn tavoitteita ja suosituksia. Näiden sisäistäminen edesauttaa fyysikon taitojen omaksumista ja niistä on hyötyä myöhemmin työelämässä. Nämä tavoitteet ovat: tiedon muodostaminen, mallintaminen, kokeiden suunnittelu, käytännön laboratoriotaitojen kehittäminen, datan analysointi ja visualisointi sekä kommunikointi fysiikassa. [4]

Tiedon muodostamisessa on tärkeätä, että opiskelijat kokevat voivansa tehdä tiedettä. Tämä käsittää sen, että opiskelijat pääsevät keräämään, analysoimaan ja tulkitsemaan oikeaa mitattua dataa tieteellisin menetelmin. Heidän tulisi kokea, että he voivat lähteä muodostamaan ja kokeilemaan omia teorioitansa ilman ulkopuolista auktoriteettia. Tämä lisää opiskelijoiden itsevarmuutta tutkia ja tehdä tiedettä. [4, 5]

Mallintamisen tarkoituksena on kehittää yhteys teorian, tieteellisen kokeen, kvantitatiivisen ja kvantitatiivisen systeemin välille. Tällaiset mallit ovat yleensä matemaattisia ja laskennallisia tulkintoja luonnosta. Opiskelijoiden tulee pystyä muodostamaan malleja ympäristöstä ja hyödyntää mittalaitteita tässä ympäristössä. Näiden mallien avulla tulee kyetä ennustamaan vastaavanlaisten kokeiden tuloksia, kuitenkin huomioiden käytettävien mallien rajoitukset ja toimivuus erilaisissa tilanteissa.

[4]

Kokeiden suunnittelussa opiskelijoiden tulee kyetä esittämään tieteellisiä kysymyksiä ja kehittää kokeita, joiden avulla saadaan vastaus kysymyksiin. Näiden kokeiden avulla tulee myös voida selvittää erilaisten mallien ja hypoteesien paikkansa pitävyys. Käsillä tekeminen, mittalaitteiden hallinta ja kokeellisten systeemien käsittely ovat tärkeä osa kokeellista suunnittelua, mikä konkretisoituu käytännön laboratoriotyöskentelyssä. Opiskelijoiden tulee osata valita sopivaan mittaustilanteeseen sopivat mittalaitteet ja ymmärtää niiden rajoituksen ja epätarkkuudet. [4]

Datan analysoiminen on tärkeä osa kokeellista työskentelyä, sillä havaittu data on ”hyödytöntä” kunnes se analysoidaan. Opiskelijoiden tulee pystyä valitsemaan tilanteeseen sopiva statistinen metodi analysoidakseen dataa ja pystyä kriittisesti analysoimaan saatua dataa. Näitä saatuja tuloksia tulee pystyä vertaamaan olemassa oleviin tuloksiin. [4]

Kommunikointi fysiikassa käsittää prosessit, jotka koskevat tuloksien jakamista ja esittämistä muille asiasta kiinnostuneille. Opiskelijoiden tulee pystyä perustelemaan omat havaintonsa ja tuloksensa muille asiasta perehtyneille tieteellisin termein. [4]

1.1 Fysiikan harjoitustyöt Turun yliopistossa

Uusittava harjoitustyö kuuluu kurssiin ”Fysiikan harjoitustyöt IA”. Kurssin osamistavoitteisiin kuuluu, että opiskelija osaa kurssin suoritettuaan:

- Tehdä yksinkertaisia fysikaalisia mittauksia ja kuvata fysiikan perusmittausmenetelmiä.
- Kuvata virhelähteitä ja arvioida niiden vaikutusta lopputulokseen.
- Yhdistää kokeelliset mittaukset lukiosta tuttujen fysiikan ilmiöiden teoriaan.

Lisäksi opintojakson aikana opiskelija kehittää suunnittelu- ja ongelmanratkaisutaitojaan, kriittistä ja analyyttistä ajatteluaan, ajankäytön hallintaansa sekä oppii

tunnistamaan kokeellisen työskentelyyn liittyvää osaamistaan. [6]

Harjoitustyökurssin osaamistavoitteet noudattavat hyvin Amerikan fysiikan opettajien yhdistyksen antamia tavoitteita ja suosituksia [4]. Kyseisen kurssin suorittavat kaikki fysiikan pääaineopiskelijat ja sivuaineopiskelijat [7]. Sivuaineopiskelijoiden tausta fysiikan opiskelussa voi olla hyvinkin vähäinen, joten työohjeiden tulisi olla selkeitä ja samalla opettavaisia. Pääaineopiskelijoiden tulee suorittaa kyseinen kurssi ensimmäisenä opiskeluvuotena, joten harjoitustöiden lähtökohtana on lukiotason osaaminen [8].

Fysiikan harjoitustyöt IA kurssin työt suoritetaan paritöinä. Jokainen harjoitustyö sisältää konkreettista mittaamista opetuslaboratoriossa. Ennen harjoitustyöosastolle saapumista, opiskelijoiden tulee olla lukenut harjoitustyöohje ja siihen liittyvät ennakkotehtävät tulee olla tehtynä. [6]

Parityöskentely laboratoriossa ja aktiivinen tekeminen ovat oppimisen kannalta tärkeitä asioita, sillä ihminen on aktiivinen oppija [9, 10]. Tämä tarkoittaa, että ihminen aktiivisesti prosessoi ja rakentaa tietorakenteita [9]. Parityöskentely on tehokasta oppimisen kannalta [11] ja aktiivinen oppiminen lisää opiskelijoiden menestystä luonnontieteissä [12, 13]. Ryhmätyöskentely ylipäänsä lisää opiskelijoiden kiinnostusta opiskeltavaa asiaa kohtaan sekä kohottaa opiskelijoiden itsetuntoa [10, 13].

Fysiikan harjoitustyöt IA kurssin kaikkiin töihin, myös uusittavaan työhön, kuuluu työohje ja valmis selostuspohja [6]. Selostuspohja täytetään harjoitustyötä tehdessä. Oskilloskooppityön työohje ja selostuspohja ovat liitteinä 1 ja 2. Nämä kummatkin uusitaan, tarkoituksena parantaa oppimisprosessia harjoitustyön aikana vähentämällä epäolennaista kognitiivista kuormaa kognitiivisen kuormitusteorian perusteella. Uusittu harjoitustyö otetaan käyttöön 2018 syksyllä.

1.2 Opiskelijoiden kokemuksia laboratoriotyöskentelystä

Opiskelijoiden kokemuksia laboratoriotöiden tekemisestä korkeakouluissa on tutkittu useasti [14–19]. Opiskelijoilla on yleensä positiivinen asenne kokeellista työskentelyä kohtaan ja he kokevat, että laboratoriotyöskentely edesauttaa heidän oppimistaan [16]. Vaikka opiskelijat arvostavat laboratoriotöiden tekemistä, osa opiskelijoista kokee ne stressaaviksi ja kuormittaviksi. [20]

Aikarajat harjoitustöissä ja työraporteissa ovat merkittäviä opiskelijoiden motivaatioon vaikuttavia tekijöitä. Liian tiukoilla aikarajoilla opiskelijoiden motivaatio laskee ja heidän kokema stressi ja ahdistus harjoitustöistä kasvaa. Tällöin opiskelijat kokevat, että heidän ymmärtämisensä fysiikkaan liittyvistä käsitteistä kärsii. Opiskelijoiden mielestä heidän työskentelymotivaatioonsa vaikuttaa positiivisesti eniten sopivat aikarajat ja kohtuullinen paine suorittaa harjoitustyö ja palauttaa siitä raportti. [20]

Yleiseen tyytyväisyyteen harjoitustöiden tekemisen suhteen vaikuttavat eniten selkeä ja hyödyllinen informaatio harjoitustyöohjeissa sekä laboratorion ohjaajien apu. Opiskelijat haluavat, että harjoitustyöohjeet ovat selkeitä ja selittävät yksityiskohtaisesti, mitä heiltä vaaditaan [19]. Jos opiskelijat kokevat, että harjoitustyöohjeista ei ole apua, opiskelijat kääntyvät ohjaajien puoleen. Tässä vaiheessa ohjaajilla on suuri merkitys vaikuttaa opiskelijoiden asenteisiin harjoitustöitä kohtaan. [11, 20]

Opiskelijoiden mielestä laboratorioharjoitusten tärkeimmät asiat ovat: luentojen teorian konkretisoiminen, tärkeiden mittalaitteiden käytön oppiminen, oppia käytännön sovellutuksia teoriasta ja ymmärtää luentojen teoria paremmin. Vähiten tärkeimpiä asioita ovat: uuden teorian oppiminen ja oppia tekemään työstä raportti. Vaikka opettajien mielestä eräs tärkeä piirre harjoitustöissä on tuloksien kriittinen käsittely, opiskelijat eivät ole samaa mieltä. [17]

Fysiikan opiskelijoiden mukaan on kaksi merkittävää tekijää, jotka lisäävät kiin-

nostusta kokeellista fysiikkaa kohtaan. Näitä ovat laboratoriotyöt, joissa tutkitaan tuntematonta suuretta tai ilmiöpohjaisesti tapahtuvat laboratoriotyöt. Määritettävä tuntematon suure voi olla esimerkiksi tuntemattoman jousen jousivakio. Ilmiöpohjaisessa oppimisessa opiskelija tutkii ensin jotain ilmiötä ja tämän jälkeen rakentaa sille mallin. [18]

Joidenkin fysiikan opiskelijoiden mukaan, ei ole välttämätöntä ymmärtää fysiikkaa tai teoriaa laboratoriotyötä tehdessä vaan riittää, että seuraa ohjeita. Tämä perustuu siihen, että nämä opiskelijat vertaavat omia laboratoriotöitä luokkahuoneessa suoritettaviin kokeisiin, eikä täten anna oikeaa kuvaa kokeellisesta fysiikasta. Laboratoriotöitä suunniteltaessa pitää välttää ”kokkikirjamaisia” eli proseduraalisia työohjeita [19]. Tällaiset harjoitustyöt ovat pelkkää ohjeiden täsmällistä noudattamista, eivätkä ne tarjoa opiskelijoille fysiikan oleellisten asioiden pohtimista. Tällaisia asioita ovat datan kerääminen ja analyysi, kokeellisen osion vertaaminen teoriaan ja omien tuloksien pohdinta. [18]

Laboratoriotyöskentelyä voisi kehittää muuttamalla harjoitustyökurssin rakennetta yksittäisten töiden tekemisestä isompiin projektitöihin, joissa on useampi opiskelija suorittamassa työtä. Projektista tehtäisiin, kuten yksittäistä laboratoriotöistä, raportti ja sen lisäksi esitys muulle luokalle. Tällainen työskentelymenetelmä parantaa opiskelijoiden arvosanoja laboratorioskursseilla ja lisää teorian ymmärrystä. Projektityöskentely vaatii kuitenkin enemmän resursseja henkilökunnalta sillä isompien projektien suunnittelu ja valvominen vie enemmän aikaa. [15]

1.3 Lukiolaisten tausta

Suurin osa yliopistossa aloittavista opiskelijoista on suorittanut lukion ja kirjoittaneet ylioppilastutkinnon [21]. Fysiikan opiskelu yliopistossa syventää lukion fysiikan opintoja. Tämän vuoksi on hyvä tietää, mitä lukiolaisille opetetaan lukiossa, sillä uuden harjoitustyön tulee olla lukiotason lähtötiedoilla tehtävissä.

Syksyllä 2016 lukiossa aloittaneet opiskelijat opiskelevat uuden opetussuunnitelman mukaisesti [22]. Lukion suorittamiseen käytetään noin kolme vuotta, joten vasta 2019 uuden opetussuunnitelman mukaisesti valmistuneet opiskelijat aloittavat Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksella opiskelun [22]. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäiset uudistetun oskilloskooppityön suorittajat ovat opiskelleet vanhan opetussuunnitelman mukaan [23]. Tämän vuoksi on syytä tarkastella tavoitteita ja keskeisiä sisältöjä sähköopin suhteen, mitä uusi opetussuunnitelma asettaa ja mitä vanha opetussuunnitelma sisältää.

Uudessa opetussuunnitelmassa, kuten vanhassakin, on kaksi sähköopin kurssia [22, 23]. Ensimmäisen sähköopin kurssin, sähkö, keskeisiin sisältöihin kuuluu muun muassa: ”kondensaattori, LED, ja diodi komponentteina” [22]. Tavoitteisiin kuuluu: ”osaa tutkia kokeellisesti sähköön liittyviä ilmiöitä ja osaa tehdä sähköopin perusmittauksia” [22]. Nämä sisällöt ja tavoitteet ovat samanlaisia kuin vanhassa opetussuunnitelmassa [23]. Lukiolaisille täten pitäisi opettaa kyseisten komponenttien ja sähkömittausten perusteet lukiossa, mikäli he suorittavat sähköopin ensimmäisen kurssin.

Toisen sähköopin kurssin, sähkömagnetismi, keskeisiin sisältöihin kuuluu muun muassa: ”generaattori, muuntaja ja vaihtovirran synty” [22]. Tämä eroaa vanhan opetussuunnitelman mukaisista tavoitteista: ”tehollisen jännitteen ja sähkövirran mittaaminen sekä impedanssin taajuusriippuvuuden määrittäminen” [23]. Vanhassa opetussuunnitelmassa perehdytään teoreettisesti syvemmin vaihtovirtaan, mikä näkyy edellä mainituissa tavoitteissa [23].

Uuden opetussuunnitelman mukainen kirjasarja, Fysiikka, noudattaa jossain määrin uusia tavoitteita ja keskeisiä sisältöjä [24]. Kirjasarjan ensimmäinen sähköopin kirja *Fysiikka 3, sähkö* käy lävitse edellä mainitun LEDin ja diodin toimintaperiaatteen. Kirjasarjassa esitellään myös käsitteet diodin ominaiskäyrä ja kynnysvirta, mitä tullaan tarvitsemaan tulevassa harjoitustyössä. [25]

Kirjasarjan jälkimmäinen sähköopin kurssin kirja *Fysiikka 6, sähkömagnetismi* käsittelee vaihtovirran teoriaa ja sovellutuksia neljässä kappaleessa (25 sivua). Vaihtovirran teholliset arvot esitellään muutamalla sivulla ja suppeasti. Sovellutuksissa esitellään muuntaajan toiminta ja tehollisen jännitteen ja virran arvot. Impedanssi esitellään yleisesti, mutta ei yksittäisten komponenttien tasolla. Käämin tai kondensaattorin jännitteen ja sähkövirran käyttäytymistä vaihtovirtapiirissä ei erikseen esitellä. [24]

Vanhan opetussuunnitelman jälkimmäisen sähköopin kurssin oppikirjassa *Physica 7, sähkömagnetismi* vaihtojännitettä ja sen sovellutuksia käsitellään kolmessa kappaleessa (44 sivua). Tässä kirjassa käsitellään samat edellä mainitut asiat kuin uuden opetussuunnitelman mukaisessa kirjassa [24]. Sen lisäksi tässä kirjassa tarkastellaan erikseen vastuksen, kondensaattorin ja käämin toimintaa vaihtojännitepiirissä. Näiden lisäksi esitellään myös RLC-piirin toiminta. Vanhan opetussuunnitelman mukaisessa kirjassa syvennyttään vaihtojännitteen teoriaan syvemmin kuin uuden opetussuunnitelman mukaisessa kirjassa. [26]

Vanhan opetussuunnitelman mukaan opiskellaan enemmän vaihtojännitteen teoriaa kuin uuden opetussuunnitelman mukaan [22, 23]. Vanhan opetussuunnitelman mukaan lukiossa käsitellään jännitteen ja sähkövirran mittaamista, tehollista jännitettä sekä sähkövirran kulkua diodissa [23]. Uuden opetussuunnitelman mukaan lukiossa käsitellään kytkentöjen tekemistä, virtapiirien tutkimista, vaihtovirran syntyä sekä diodia komponenttina [22]. Syksyllä 2018 Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksella aloittavat opiskelijat ovat opiskelleet vanhan opetussuunnitelman mukaisesti. Syksyllä 2019 aloittavat ensimmäiset uuden opetussuunnitelman mukaisesti opiskelleet opiskelijat, joten aloittavien opiskelijoiden vaihtojännitteen teorian osaamisen taso tulee muuttumaan.

1.4 Opiskelijoiden kokemuksia virtapiirien mittaamisesta

Oskilloskooppia ei mainita lukion opetussuunnitelmassa [22] eikä sen käyttöön perehdytä tarkasti oppikirjoissa [24, 25]. Oskilloskooppi esitellään pienessä kuvassa kuvatekstillä: ”Oskilloskooppi on sähkötekniikassa käytetty mittalaite, joka muodostaa kuvaruudulle kuvan mitattavasta signaalista, kuten jännitteestä, sähkövirrasta ja äänestä.” [25]. Tämän jälkeen oskilloskooppi esiintyy seuraavan kerran toisessa oppikirjassa kirjan loppupuolella pienenä kuvana kuvatekstillä: ”Oskilloskooppi näyttää jännitteen huippuarvon - -.” [24]. Seuraava ja viimeinen maininta oskilloskoopista tulee viimeisen kappaleen johdattelevassa ”Tutki” osassa [24]. Näin ollen monelle lukiolaiselle oskilloskooppi on aivan uusi mittaustilaite, koska sitä ei erityisemmin käsitellä lukion fysiikassa.

Jos mittalaitetta käytetään vain laitteena, jota voidaan manipuloida saadakseen mittaustuloksia, laitteella ei ole kognitiivista arvoa [27]. Laitteen käyttö ei siis aiheuta kompleksisia kognitiivisia prosesseja, jotka liittyvät informaation käsittelyyn ja oppimiseen. Näin käy ensikertalaisten kanssa oskilloskoopin kanssa [27]. Tilannetta voisi verrata mikroskoopin käyttöön. Sen avulla voidaan katsoa asioita ilman suurempia kognitiivisia prosesseja tai sen avulla voidaan ymmärtää katsottavaa ja tutkittavaa asiaa tarkemmin, kun osataan hyödyntää mikroskoopin ominaisuudet. Vasta silloin kun oskilloskooppia on käytetty useasti ja sen käytöstä on saatu kokemusta, sen avulla voidaan saada aikaiseksi kompleksisia kognitiivisia prosesseja, jotka edesauttavat tutkittavan asian ymmärtämistä. [28]

Eräässä tutkimuksessa selvitettiin toisen vuoden insinööriopiskelijoiden työskentelyä oskilloskoopin avulla. Opiskelijoiden tuli määrittää yksinkertaisen vastus-kondensaattori virtapiirin jännitteitä funktiogeneraattorin ja oskilloskoopin avulla. Monilla opiskelijoilla oli vaikeuksia oskilloskoopin käytön kanssa, koska opiskelijat eivät olleet aikaisemmin käyttäneet kyseisiä mittalaitteita. Ongelmia oli muun muassa amplitudin ja vaiheen lukemisessa. Tilanteissa, joissa käytetään uusia mittalaitteita

ta, opiskelijoiden keskittyminen siirtyy mittalaitteen käyttämiseen ja datan hankkimiseen eikä keskitytä saatuun dataan ja tuloksiin [28, 29]. Tämä voi aiheuttaa sen, että listataan saatuja tuloksia ylös, vaikka ne olisivat virheellisiä. [30]

Opiskelijoilla on vaikeuksia siirtää osaamaansa tietoa virtapiireistä uusiin ja monimutkaisempiin virtapiirikytkentöihin. Jopa kolmannen vuoden insinööriopiskelijoilla on vaikeuksia siirtää osaamaansa tietoa laajempiin virtapiirikytkentöihin, kun he kohtaavat ongelmanratkaisunsa aikana ongelmia. Tällaisten virtapiirien kohdalla opiskelijat turvautuvat ulkomuisteissansa oleviin ratkaisumalleihin sen sijaan, että he yrittäisivät osaamallansa tiedolla päättämään piirin toimintaa. Ulkomuistiin aletaan turvautumaan silloinkin, vaikka tilanne ei vaatisi uutta ratkaisumallia. [14]

2 Kognitiivinen kuormitusteoria

Kognitiivinen kuormitusteoria on teoria, joka pohjautuu ihmisen muistiin ja oppimiseen. Ihmisen muisti voidaan jakaa kahteen tyyppiin: pitkäkestoiseen muistiin (long term memory) ja työmuistiin (working memory). Oppiakseen oppijan tulee prosessoida opiskeltavaa asiaa työmuistissaan työmuistin kapasiteetin rajoissa. Työmuistin kognitiiviset prosessit jaetaan kolmeen osaan: olennaiseen, epäolennaiseen ja asiaan-kuuluvaan kognitiiviseen kuormaan. Teorian mukaan työmuistin suuri rasittaminen epäolennaisella tiedolla on epäedullista oppimiselle. [1, 2, 31–34]

Kognitiivinen kuormitusteoria tarjoaa teorioita oppimistilanteisiin, joissa oppiminen haittaantuu epäolennaisen asian johdosta. Teoria luokittelee erilaisia prosesseja, jotka sisältävät yleisimmät syyt oppimisen haittaantumiselle. Se myös antaa erilaisia menetelmiä, joiden avulla voidaan lisätä oppimiseen liittyviä kognitiivisia prosesseja. Tämän vuoksi kognitiivisen kuormitusteorian eräs olennaisimmista sovelluskohteista on oppimateriaalien kehittäminen ja analysointi. [2]

2.1 Muisti

Pitkäkestoiseen muistiin on tallennettu informaatio, jota ei tarvitse käyttää aktiivisesti [33]. Tällaista informaatiota ovat pysyvät tiedot ja taidot, joita ei tarvitse aktiivisesti käyttää, mutta ovat tärkeitä arkielämän ja asioiden ymmärryksen kannalta [2, 33]. Esimerkiksi puhuminen, esineiden tunnistaminen ja ympäristössä liikkuminen onnistuvat pitkäaikaisen muistin ansiosta [2]. Asiat tallentuvat pitkäkestoiseen muistiin konstruktiiivisesti, eli uudet asiat opitaan muokkaamalla ja lisäämällä tietoa vanhojen opittujen asioiden päälle [33]. Pitkäkestoisella muistilla ei ole ylärajaa [33].

Pitkäkestoinen muisti on välttämätöntä ihmisen korkeamman tason kognitiivisille toiminnoille. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa ongelmanratkaisu ja ajattelu. Se kuinka hyvin näitä toimintoja kykenee suorittamaan, riippuu pitkäkestoisen muistin sisällöstä. Pääsy kyvykkyydelle ja taidolle voi johtua pitkäkestoisen muistin suuresta informaation määrästä. [2, 35]

Työmuistissa, eli lyhytkestoisessa muistissa, sijaitsee tiedostettu tajunta. Vaikka ihminen pystyy muistamaan suuria määriä informaatiota, ihminen pystyy olemaan tietoinen tästä informaatiosta vain murto-osan verran [35]. Ihminen kykenee käsittelemään työmuistissaan noin seitsemää asiaa kerrallaan, mutta tämä lukumäärä riippuu lähteestä [31–33]. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi erilaiset aistimukset ympäristöstä ja tiedostettavat prosessit [33]. Ihminen ei kykene säilömään informaatiota pitkiä aikoja työmuistissa. [2]

Ihminen ei ole täysin tietoinen pitkäkestoisesta muististaan [33]. Pitkäkestoisen muistin informaatiota käsitellään välillisesti työmuistin kautta [33]. Työmuistissa käsiteltävien yksittäisten asioiden kompleksisuus ja koko eivät vaikuta työmuistin kykyyn käsitellä eri asioita [2, 31]. Jos työmuistissa käsiteltävät asiat vuorovaikuttavat toistensa kanssa, muistettavien asioiden määrä on vähäisempi [2, 31, 32, 34].

2.2 Skeema

Skeema on kognitiivinen malli, joka järjestee informaatiota tilanteen mukaan [2, 35]. Skeema voi olla mitä tahansa opittua, yksi osa tai kokonaisuus, ja se käsitellään yhtenä elementtinä [31, 33, 35]. Ongelmanratkaisutehtävissä skeemat auttavat ongelmanratkaisijaa luokitteluun ongelman entuudestaan tuttuihin ongelmiin ja tämä auttaa ratkaisun löytämisessä [36]. Tekstin lukemisen aikana ei tarvitse lukea jokaista kirjainta sanasta ja jokaista sanaa lauseesta, kun skeemat täydentävät nämä asiat valmiiksi [2, 31]. Asioiden tunnistamiseen ei tarvita kokonaisia asioita, vaan siihen riittää siihen liitettäviä piirteitä. Esimerkiksi puun voi tunnistaa jo muutamista siihen liittyvistä piirteistä eikä jokaisen maailman puun kaikkia piirteitä tarvitse tietää, jotta puun voi tunnistaa puuksi. [32, 37]

Joskus skeeman käytöstä voi olla haittaa. Tällaisessa tilanteessa käytetään väärästä skeemasta ongelmanratkaisutilanteessa. Esimerkiksi ongelmanratkaisutehtävän kohdattaessa voi olla, että ratkaisija luokittelee ongelman väärään ongelmanratkaisuskeemaan, jolloin tehtävän ratkaisu vaikeutuu tai epäonnistuu. [2]

Tieto tallentuu ja järjestäytyy pitkäaikaiseen muistiin skeemoina [32, 33, 37]. Ennen informaation tallentumista pitkäaikaiseen muistiin, se pitää prosessoida työmuistissa [2, 31]. Tähän kuuluu informaation olennaisen osan poimimista ja manipulointia ennen pitkäaikaiseen muistiin siirtymistä skeemana [2, 31]. Erilaiset skeemat yhdistyvät alitajunnassa isommiksi ja monimutkaisemmiksi skeemoiksi [32, 33]. Niiden käyttö vähentää työmuistin kuormitusta [32, 33].

Skeemat automatisoituvat alitajunnassa, kun niitä käytetään useasti. Tämä näkyy esimerkiksi matematiikan ongelmanratkaisutehtävissä. Alkuun voi olla vaikeuksia yhdistää ongelmaa ongelman ratkaisevaan skeemaan, mutta harjoittelun jälkeen ongelmanratkaisevaa skeemaa käyttää kiinnittämättä siihen huomiota. Skeemojen automatisoituminen keventää työmuistin taakkaa [38]. Skeemojen automatisoituminen on tärkeä osa skeemojen rakentumisessa, koska se vapauttaa työmuistia.

[2, 31, 32, 35, 37]

Koska skeemat sijaitsevat alitajunnassa, ne aktivoituvat vasta silloin kun kohdataan tilanne, johon kyseistä skeemaa voidaan soveltaa [31]. Ihmiset kokevat havaitsemansa informaation, kuten mitä näemme ja kuulemme, eri tavalla sillä jo opitut skeemat vaikuttavat havaintoihin. Skeemojen erilainen käyttö näkyy, kun tarkastellaan eksperttien ja noviisien suoriutumista kohdatessaan ongelmanratkaisutilanteita [32]. Eksperteillä on entuudestaan tiedossa ongelmanratkaisutilanteeseen sopivia skeemoja, joita voi hyödyntää ongelmanratkaisussa. Näiden valmiina olevien skeemojen avulla ekspertti etenee ongelmanratkaisutehtävässä systemaattisesti oikeiden vaiheiden avulla saavuttaen lopulta päämäärän. Noviisit puolestaan eivät omaa valmiita skeemoja tilanteeseen, jolloin he käyttävät yleisempiä ongelmanratkaisukeinoja, jotka rasittavat työmuistia paljon. Esimerkiksi shakissa ekspertit menestyvät noviiseja paremmin, koska eksperteillä on valmiita ratkaisu- ja toimintamalleja erilaisiin pelitilanteisiin. Noviisilla näitä ei ole ja hän joutuu prosessoimaan työmuistissaan pelitilanteeseensa sopivia erilaisia vaihtoehtoja. Ekspertin ja noviisin työmuistin kapasiteetti on kuitenkin samansuuruinen. [2, 36]

2.3 Olennainen kognitiivinen kuorma

Olennaisen kognitiivisen kuorman muodostaa opiskeltavan asian luonne [1, 2, 35]. Siihen vaikuttaa opiskeltavan asian vaikeus ja rakenne, eikä siihen voida suoraan vaikuttaa [31, 32]. Olennainen kognitiivinen kuorma ja epäolennainen kognitiivinen kuorma muodostavat yhdessä työmuistiin sen kuorman, mikä vaaditaan, että haluttu asia voidaan oppia halutusta oppimateriaalista [2]. Tämä ei vielä käsitä oppimiseen ja skeeman muodostumiseen liittyviä prosesseja, joita käsitellään myöhemmin [2].

Olennainen kognitiivinen kuorma riippuu opiskeltavan asian elementeistä ja niiden vuorovaikutuksesta toistensa kanssa [31, 32]. Elementti on mitä tahansa, mitä tarvitsee oppia tai prosessoida tai se on jo opittu tai prosessoitu. Elementit ovat

luonteeltaan kuin skeemoja ja yksi skeema muodostaa yhden käsiteltävän elementin. Skeemat muodostuvat pienemmistä skeemoista ja elementeistä ja nämä muodostuvat isommaksi skeemaksi. Syntyneittä skeemaa voidaan käsitellä yhtenä elementtinä. Ihminen kykenee käsittelemään työmuistissaan noin seitsemää elementtiä kerrallaan. [2]

Kun elementit eivät vuorovaikuta keskenään, ei elementin oppiminen vaikuta toisen elementin oppimiseen. Tällöin olennainen kognitiivinen kuorma on pieni eikä työmuisti rasitu [1, 31]. Tämä näkyy, kun opiskellaan yksittäisiä vieraan kielen sanoja. Esimerkiksi englantia opiskellessa sanat ”dog” ja ”cat” voidaan opiskella erikseen eli nämä elementit eivät vuorovaikuta keskenään. Yksittäisten sanojen opiskelu on helppoa työmuistin kuormittumista ajatellen, mutta suuri sanojen lukumäärä voi tehdä opiskelusta työlästä. Suuria määriä sanoja voi kuitenkin olla haastavaa oppia sanojen suuren lukumäärän vuoksi. [32]

Elementti vuorovaikuttaa toisen elementin kanssa, jos elementtiä oppiessa pitää huomioida muita elementtejä [2]. Esimerkiksi englanninkielisiä lauseita kirjoitettaessa pitää ottaa huomioon semantiikka ja kielioppi. Pelkkä yksittäisten sanojen kääntäminen lauseeksi ei riitä, sillä semantiikka ja muut sanat vaikuttavat muiden sanojen rakenteeseen ja taivutukseen. [32]

Olennainen kognitiivinen kuorma kasvaa, kun opiskeltavan asian elementit vuorovaikuttavat keskenään [2, 31]. Tällöin tarvitsee pitää työmuistissa yksittäisten elementtien lisäksi se, miten elementit vuorovaikuttavat keskenään [32]. Mitä suurempi opiskeltavien elementtien vuorovaikutus keskenään on, sitä enemmän työmuisti rasittuu [1, 31].

Esimerkiksi yhtälön ratkaisussa työmuisti rasittuu voimakkaasti, koska opiskelijan pitää muistaa useita laskusääntöjä samalla kun hän käsittelee yhtälöä [31]. Oletetaan, että opiskelijan pitää ratkaista yhtälöstä $(a + b)/c = d$ muuttuja a . Ratkaistakseen muuttujan a , on tehtävänratkaisijan huomioitava elementit $a, b, c,$ (ja $/$.

Koska nämä elementit vuorovaikuttavat keskenään, on muistettavien elementtien lukumäärä suurempi. Esimerkiksi symbolilla ”/” on peruselementin lisäksi matemaattinen ominaisuus, joka pitää ymmärtää ratkaistakseen tehtävä. Koska symboleilla on voimakas vuorovaikutus toistensa kanssa, täytyy ratkaisijan pitää mielessä useita työmuistia rasittavia elementtejä ja työmuisti rasittuu voimakkaasti. [2]

Kun olennainen kognitiivinen kuorma on suuri elementtien vuorovaikutuksen vuoksi, oppiminen on työläämpää kuin heikosti vuorovaikuttavien elementtien tapauksessa. Jos opiskeltavan asian elementtejä on useita ja ne vuorovaikuttavat voimakkaasti keskenään, voi asian oppiminen olla erittäin haastavaa. [2]

Opiskeltavan asian informaation ymmärtäminen ja elementtien vuorovaikuttaminen liittyvät toisiinsa. Opiskeltava asia voidaan vasta kunnolla ymmärtää, kun kaikki elementit ja elementtien väliset vuorovaikutukset voidaan käsitellä työmuistissa. Edellä mainitun yhtälötehtävän ratkaiseminen vaatii tehtävän kokonaisvaltaista ymmärtämistä, jotta se voidaan ratkaista. Jotta tehtävä voidaan ymmärtää täysin, täytyy työmuistin kapasiteetin riittää käsittelemään kaikki yksittäiset elementit ja elementtien väliset vuorovaikutukset. Tehtävän ymmärtämisen kannalta opiskelijan tulee pystyä käsittelemään työmuistissaan yksittäiset suureet ja lisäksi matemaattiset operaatiot, kuten kertominen ja jakaminen. Mikäli tehtävää ei saada ratkaistua, se johtuu työmuistin kapasiteetin ylittymisestä tai tiedon puutteesta. [2]

2.4 Epäolennainen kognitiivinen kuorma

Epäolennainen kuorma määräytyy pelkästään opiskeltavan materiaalin rakenteesta ja järjestyksestä [1, 2, 31, 39]. Tällainen materiaali aiheuttaa ylimääräisiä kognitiivisia prosesseja, mikä tarkoittaa ylimääräisten elementtien käsittelemistä työmuistissa. Tällaisia ylimääräisiä prosesseja ovat kaikki prosessit, jotka eivät liity skeeman muodostamiseen tai automaatioon [1]. Epäolennainen kuorma vaikuttaa negatiivisesti oppimiseen ja sitä on syytä välttää. [32, 34, 35, 40]

Olennessen ja epäolennaisen kognitiivisen kuorman ei tule ylittää työmuistin kapasiteettia tai muuten se on haitallista oppimiselle. Työmuistin kapasiteetin ylityksessä olennaisen informaation prosessointi haittaantuu ja oppiminen vaikeutuu. Koska olennaista kognitiivista kuormaa ei voida vähentää, on vähennettävä epäolennaista kognitiivista kuormaa. Epäolennaisen kognitiivisen kuorman vähentäminen on tärkeätä sellaisessa tilanteessa, kun olennainen kognitiivinen kuorma on suuri [39]. Tällaisia ovat tilanteet, joissa olennaisen kuorman elementit vuorovaikuttavat voimakkaasti keskenään tai opiskeltava asia on vaikeaa. On myös esitetty, että opiskeluympäristö voisi myös aiheuttaa epäolennaista kognitiivista kuormaa, joka kuormittaisi työmuistia ja täten vähentäisi oppimista [41]. Tätä ei kuitenkaan ole merkittävästi tutkittu. [2]

Minimoidakseen epäolennaista kognitiivista kuormaa, epäolennaisen kognitiivisen kuorman tyyppejä ja vähentämiskeinoja on kategorisoitu erilaisiin luokkiin. Nämä luokat toimivat ohjeena opiskelumateriaalin ja työohjeiden tekijöille. Epäolennaisen kuorman tyyppejä ovat: jakaantunut huomio ja keino-päämäärä-analyysi. Vähentämiskeinoja ovat: tavoitteettomuusvaikutus, esimerkikiratkaisu ja täydennettävä esimerkikiratkaisu. [2, 31]

2.4.1 Keino-päämäärä-analyysi

Keino-päämäärä-analyysi (means-end analysis) prosessia ilmenee usein noviiseilla ongelmanratkaisutehtävissä, koska heillä ei ole valmista skeemaa tehtävään [36]. Tässä menetelmässä verrataan senhetkistä ongelmaa ratkaisuun ja etsitään operaatiota, jolla päästään lähemmäksi ratkaisua. Esimerkiksi algebrassa etsitään laskutoimitusta annetulle yhtälölle ja sitä verrataan ratkaisuun. Tätä toimenpidettä toistetaan edestakaisin, kunnes päästään haluttuun ratkaisuun. Tällä menetelmällä voi syntyä useita välituloksia, jotka kuormittavat työmuistia. Tämä ei edesauta oppimista. [2, 31]

Ongelmanratkaisutehtävä, joka vaatii keino-päämäärä-analyysia skeeman puutteen vuoksi, voi olla seuraavanlainen: Ratkaise a yhtälöstä $(a + b)/c = d$. Kyseisessä tehtävässä on paljon keskenään vuorovaikuttavia elementtejä, jotka kuormittavat työmuistia. Ongelmanratkaisija tietää, että päämääränä on ratkaista a , mutta keino ei ole selvä. Tämän vuoksi ongelmanratkaisija kokeilee erilaisia menetelmiä, kuten kertomista tai jakamista. Ongelmanratkaisija vertaa saatua tulostaan tilanteeseen, jossa a on ratkaistu eksplisiittisesti. Tämä toistuu, kunnes tehtävä on ratkaistu. [2]

Keino-päämäärä-analyysi on kuitenkin usein tehokas ongelmanratkaisutilanteissa, jossa ei ole valmista skeemaa [1]. Keino-päämäärä-analyysyä käyttäessä, vaikka työmuisti rasittuu, se rasittuu epäolennaisen kuorman kognitiivisista prosesseista, eikä prosesseista, jotka edesauttavat skeeman muodostumista eli oppimista. [2, 31, 36]

2.4.2 Jakaantunut huomio

Elementtien vuorovaikutuksen aiheuttamaa kognitiivista kuormaa voi esiintyä myös epäolennaisena kognitiivisena kuormana [32, 39]. Jakaantuneessa huomiossa (split-attention effect) opiskeltavassa materiaalissa tarpeettomasti ja useasti vaaditaan oppijaa kiinnittämään huomio useaan eri paikkaan [2]. Tämä voi olla huomion kiinnittämistä esimerkiksi erilaisiin kuvaajiin samaan aikaan, kun huomio pitää kiinnittää niihin liittyviin väitteisiin [1, 31, 32]. Kuormitusteorian mukaan, oppiminen on suurinta silloin kun opiskelija pystyy yhdistämään nämä erillään olevat informaation lähteet ilman, että työmuistin kapasiteetti ylittyy [2, 32].

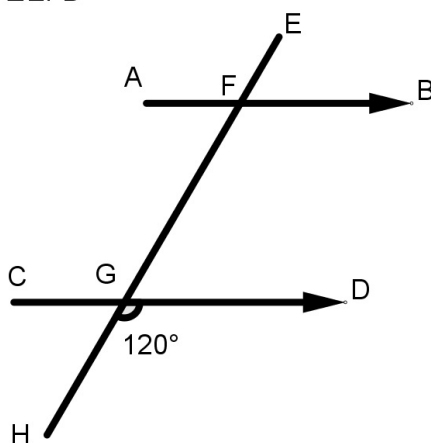
Jos opiskeltavan asian elementit vuorovaikuttavat voimakkaasti keskenään, riski jakaantuneeseen huomioon kasvaa. Elementtien vuorovaikutuksen vuoksi opiskeltava asia ei selviä pelkästään yksittäistä kuvaajaa tai väitettä tulkitsemalla, vaan eri informaatiolähteiden informaatiot pitää yhdistää toisiinsa [1]. Kun informaation lähteestä siirrytään toiseen lähteeseen, täytyy työmuistissa pitää ensimmäisen

lähteen informaatio. Työmuisti rasittuu, kun etsitään informaation toista lähdettä ja kun sitä aletaan prosessoimaan. Ensimmäinen informaatio, toisen informaation etsiminen ja prosessointi ensimmäisen informaation kanssa rasittavat työmuistia. Näistä informaation etsiminen on epäolennaista kognitiivista kuormaa, jota on syytä välttää työmuistin kapasiteetin rajallisuuden vuoksi. [31, 32]

Nämä jakaantuneeseen huomioon altistavat elementit, joihin pitää kiinnittää huomio asian ymmärtämisen vuoksi, ovat yleensä tarpeettoman kaukana toisistaan [32, 42]. Tarpeeton jakaantunut huomio vaikuttaa negatiivisesti asian oppimiseen [32, 42]. Jakaantunutta huomioita voi välttää sijoittamalla opiskeltavat asiat lähemmäksi toisiaan, jolloin käsiteltävien elementtien määrä vähenee [32, 42]. Tämä vaikuttaa positiivisesti oppimiseen [32, 42]. Opiskelijoiden motivaatio itseopiskella esimerkkitehtävä uudelleen kasvaa, kun esimerkkitehtävissä on minimoitu jakaantunut huomio. [2]

Jakaantunutta huomiota voi esiintyä esimerkkitehtävissä. Kuvassa 1 on esimerkki geometrisesta tilanteesta, jossa ilmenee tarpeetonta jakaantunutta huomiota. [2]

Ratkaise $\angle EFB$



$$\angle GFB = 120^\circ (\text{Suorien AB \& CD vastinkulmat})$$

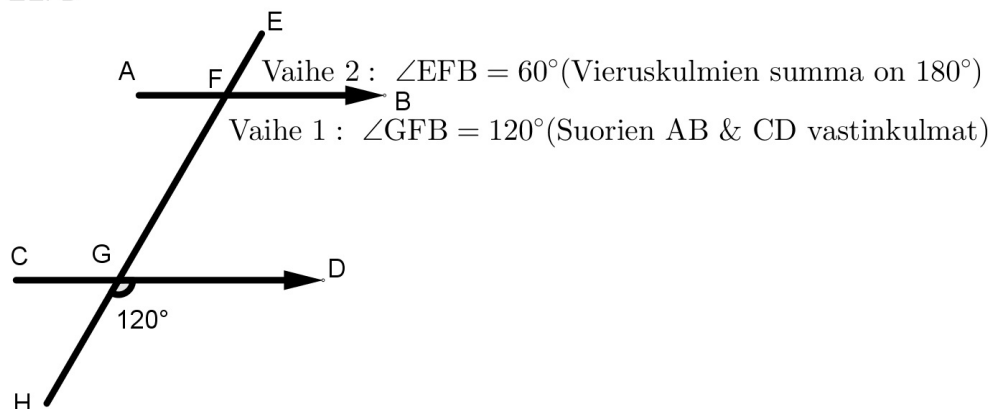
$$\angle EFB = 60^\circ (\text{Vieruskulmien summa on } 180^\circ)$$

Kuva 1. Geometrinen esimerkkitehtävä, jossa ilmenee jakaantunutta huomiota. Kuluiin liittyvä informaatio on sijoitettu tarpeettoman alas. [2]

Kuvan 1 esimerkissä tulee ratkaista kulma EFB. Esimerkin lukijan tulee alkuun kiinnittää huomio kuvaan ja tämän jälkeen sen alapuolella oleviin informaatiota sisältäviin väitteisiin. Kuvaa tai väitteitä pelkästään katsomalla tehtävän ratkaisu ei selviä, joten näiden kahden informaatiolähteen tiedot pitää yhdistää. Esimerkkiratkaisu koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa kerrotaan informaatio suorien vastinkulmien ominaisuuksista. Tämä on kuitenkin tarpeettoman kaukana vastinkulmista ja väittämää koskevasta kulmasta. Jotta esimerkin lukija ymmärtää väittämän, hänen tulee useaan kertaan lukea tarpeettoman kaukana alhaalla oleva informaatio ja palata takaisin kuvaan. Sama toistuu toisen väittämän kohdalla, joka on esimerkkiratkaisun toinen osa. Tässä osassa vieruskulmien ominaisuuksiin liittyvä informaatio on myös tarpeettoman alhaalla itse kuvasta. [2]

Kuvassa 2 on pyritty minimoimaan jakaantuneesta huomiosta aiheutuvaa efektiä [2].

Ratkaise $\angle EFB$



Kuva 2. Geometrinen esimerkkitehtävä, jossa on pyritty vähentämään jakaantunutta huomiota sijoittamalla kulmien informaatio lähelle kulmia [2].

Nyt geometriseen kuvioon liittyvät väitteet ovat lähellä niitä koskevia kulmia. Esimerkin lukijan ei tarvitse lähteä etsimään kaukaa mihin kohtaan kuviota kyseinen väittäjä viittaa. Väittämiin on myös lisätty niiden järjestys tehtävän ratkaisun kannalta. Tällaisilla pienillä keinoilla voidaan alentaa merkittävästi esimerkkitehtävien epäolennaista kognitiivista kuormaa, vapauttaa työmuistia ja täten edesauttaa skee-

man muodostumista. [2]

Kun opiskellaan materiaalia, jossa kaksi toistensa kanssa vuorovaikuttavaa informaation lähdettä ovat teksti ja kuva, on tärkeää, että teksti on jäsennelty pienempiin osiin. Tekstiä voidaan jäsennellä pienemmiksi kappaleiksi, numeroida tai siirtää tekstin informaatio pieninä kappaleina kuvaan. Jos teksti sisältää erittäin paljon asiaa, tekstin pilkkominen osiin minimoi eniten jakaantunutta huomiota. Kuvaan sijoitettu suuri tekstimäärä ei välttämättä edesauta oppimista enempiä kuin tekstin pilkkominen, kun on kyseessä erittäin paljon informaatiota sisältävä yhtenäinen teksti. Tekstin paloittelu vähentää työmuistin kuormaa helpottamalla siirtymistä kuvasta takaisin tekstiin. Tekstiä lukiessa, opiskelijan on helpompi palata siihen kohtaan mihin jäi ennen kuin siirtyi tarkastelemaan kuvaa. [42]

2.4.3 Tavoitteettomuusvaikutus

Tavoitteettomuusvaikutuksen (goal-free effect) tarkoituksena on vähentää keino-päämäärä-analyysiä ongelmanratkaisutehtävissä ja edesauttaa skeeman muodostumista. Tavoitteettomuusvaikutus perustuu siihen, että opiskelijalla ei ole ongelmanratkaisutehtävässä yhtä selvää tavoitetta. Ongelmanratkaisutehtävän saa muunnettua keino-päämäärä-analyysiä aiheuttavasta tehtävästä tavoitteettomaksi pyytämällä opiskelijaa ratkaisemaan kaikki mahdolliset arvot yhden ratkaistavan arvon sijaan. [31]

Kun opiskelijan tarvitsee ratkaista kaikki mahdolliset arvot, opiskelijalla ei ole yhtä tiettyä päämäärää, johon verrata omaa tulostaan. Tällöin opiskelijalla ei ole muuta vaihtoehtoa kuin edetä sen hetkisestä ongelmasta eteenpäin ja ratkaista ne arvot, jotka opiskelija osaa. Näin vähennetään tarpeetonta välituloksien vertaamista lopputulokseen, mitä esiintyy keino-päämäärä-analyysissä. Keino-päämäärä-analyysin vähentäminen pienentää epäolennaista kognitiivista kuormaa ja työmuistiin jää enemmän tilaa asiaankuuluvalla kuormalla. [2, 31]

Tavoitteettomuusvaikutusta on testattu matematiikan ongelmanratkaisutehtävissä ja fysiikassa mekaniikan tehtävissä. Trigonometriisiin ongelmiin liittyvissä tehtävissä tavoitteettomuusvaikutuksen mukaisesti suunnitellut tehtävät olivat ylivertaisia skeeman muodostumiselle perinteisen keino-päämäärä-analyysi tehtäviin verrattuna. [2, 31]

2.4.4 Esimerkkiratkaisu

Esimerkkiratkaisu on eräs keino vähentää epäolennaista kognitiivista kuormaa [31, 43, 44]. Tässä keinossa nimensä mukaisesti esitetään opiskelijoille esimerkkiratkaisu ja siinä keskitytään ongelmanratkaisun sen hetkisiin ongelmiin ja ongelmien välisiin välivaiheisiin [31, 44]. Esimerkkiratkaisun ulkoasuun tulee myös kiinnittää huomiota, kuten fonttiin. Liian epäselvä fontti tai teksti lisää epäolennaista kognitiivista kuormaa [45].

Esimerkkiratkaisu voi olla seuraavanlainen:

Ratkaise a yhtälöstä $(a + b)/c = d$

Ratkaisu:

$$(a + b)/c = d$$

$$a + b = dc$$

$$a = dc - b$$

Kyseissä esimerkissä esitellään jokainen ratkaisun välivaihe. [2, 37]

Esimerkkiratkaisut voivat edesauttaa tehokkaasti muodostamaan ongelmanratkaisutehtävään skeemaa, joka siirtyy pitkäaikaiseen muistiin [31, 37, 44]. Tätä esimerkin kautta syntynyttä skeemaa voidaan tämän jälkeen käyttää vastaavanlaisissa ongelmanratkaisutehtävissä [31, 37]. Esimerkkiratkaisujen vaikutuksia oppimiseen on tutkittu muun muassa geometrian ja ohjelmoinnin ongelmien avulla [31]. Näissä esimerkkiratkaisujen opiskelu ennen vastaavaa ongelmanratkaisutehtävää edesauttoi geometrinen tehtävien ratkaisussa ja ohjelmointikielen opiskelussa [31]. Kogni-

tiivisen kuormitusteorian mukaan esimerkkitehtävien avulla opiskelu on noviiseille parempi vaihtoehto kuin vastaavanlaisten tehtävien opiskelu itsenäisesti. [2]

Esimerkkiratkaisujen avulla vähennetään keino-päämäärä-analyysin käyttöä ja näin ollen työmuistin kuormitusta [31, 37]. Esimerkkiratkaisuissa vähennetään merkittävästi elementtien välisestä vuorovaikutuksesta syntyvää epäolennaista kognitiivista kuormaa. Olennainen kuorma ei muutu esimerkkiratkaisussa, sillä ongelmanratkaisun luonne ei ole muuttunut. [2, 43]

Esimerkkiratkaisun vaikutukseen vaikuttaa myös se, milloin esimerkkiratkaisu esitetään. Oppiminen on tehokkaampaa, kun esitellään ensin esimerkkiratkaisu ja tämän jälkeen vasta ongelmanratkaisutehtävä, jossa tarvitaan samaa skeemaa kuin esimerkkiratkaisussa. Pelkän esimerkkiratkaisun esittäminen on parempi vaihtoehto oppimisen kannalta kuin esittää ensin ongelmanratkaisu ja vasta tämän jälkeen esimerkkitehtävä. [43]

Runsaalla esimerkkiratkaisujen käytöllä voi olla negatiivisia vaikutuksia opiskelijan motivaatioon [44]. Niiden runsas käyttö voi aiheuttaa vastaustekniikoiden stereotypisoitumista ja passiivista opiskelua [44]. Tällöin uusia ongelmanratkaisutehtäviä kohdattaessa opiskelijat eivät kykene luoviin ratkaisuihin, vaan he koittavat käyttää jo osaamiansa skeemoja uuteen ongelmaan kokeilematta uutta ratkaisutekniikkaa. Tällöin uusia skeemoja ei muodostu. Skeeman muodostumista haittaa myös se, jos esimerkkiratkaisut sisältävät paljon ylimääräistä tietoa tai ovat hyvin samankaltaisia. [31]

Hyvien esimerkkitehtävien tekeminen on haastavaa. Esimerkkitehtäviä suunniteltaessa pitää huomioida, että esimerkkitehtävän informaation ymmärtämiseksi opiskelijan tulee voida yhdistää eri informaatiolähteiden tiedot (kuten teksti ja kuvaaja) ilman työmuistin kapasiteetin ylittymistä. On vaarana, että esiintyy tarpeetonta jakaantunutta huomiota, jolloin skeeman muodostaminen vaikeutuu. [31]

2.4.5 Täydennettävä esimerkkiratkaisu

Täydennettävissä esimerkkiratkaisussa annetaan osittain ratkaistu esimerkkitehtävä ja opiskelijan tulee itse täyttää loput ratkaisuvaiheet tehtävästä. Tällaisessa tehtävässä voi olla esimerkiksi alkutila, lopputila ja muutama välivaihe tehtynä. Keino-päämäärä-analyysin aiheuttamaa kognitiivista kuormitusta vähennetään täydennettävillä esimerkeillä. Edut perinteiseen esimerkkitehtävänä näkyvät siinä, että passiivinen opiskelu vähenee. Jotta opiskelija voi tehdä kyseisen tehtävän, hänen tulee lukea huolellisesti koko esimerkki. [31]

Täydennettävä esimerkkiratkaisu voi olla seuraavanlainen: Ratkaise a yhtälöstä $(a + b)/c = d$

Ratkaisu:

$$(a + b)/c = d$$

$$a + b = dc$$

$$a = ?$$

Jotta kyseinen esimerkkitehtävä voidaan tehdä loppuun, opiskelijan tulee ymmärtää ensimmäinen välivaihe ja löytää sopiva operaatio lopputuloksen ja sitä edeltävän vaiheen välille. [2]

Täydennettävät esimerkit ovat osoittautuneet suureksi hyödyksi muun muassa ohjelmoinnissa ja virtapiirien suunnittelussa [2]. Tällaiset tehtävät auttavat skeeman muodostamisessa ja vähentävät epäolennaista kognitiivista kuormaa. Pitkäaikaisilla kokeilujaksoilla täydennettävät esimerkit voivat auttaa opiskelijoita ylläpitämään motivaationsa ja keskittämään huomionsa hyödyllisiin ratkaisuvaiheisiin, jotka esiintyvät täydennettävissä esimerkeissä. [31]

Täydennettävien esimerkkiratkaisujen heikkoutena on, että niiden suunnittelu voi viedä paljon aikaa [2]. Suunnitteluvaiheessa pitää päättää, mitkä osiot jäävät opiskelijalle ratkaistavaksi ja mitkä kohdat tulee esittää. Hyvän täydennettävän esi-

merkkiratkaisun pitää ottaa huomioon, että opiskelijan tulee ymmärtää jo valmiina oleva osaratkaisu ennen tehtävän tekemistä. Tämän lisäksi tehtävän ei tule olla liian helposti ratkaistavissa. [31]

2.5 Asiaankuuluva kognitiivinen kuorma

Kognitiivisen kuormitusteorian mukaan päätavoite oppimisessa on skeemojen muodostaminen, muokkaaminen ja automatisoiminen [1, 31]. Näihin liittyviä kognitiivisia prosesseja ovat: johtopäätösten tekeminen, esimerkillistäminen, luokittelu, päättely, erottelu ja järjestely [1, 46]. Nämä ovat asiaankuuluvaa kognitiivista kuormaa ja niiden avulla muodostetut ja muokatut skeemat tallentuvat pitkäaikaiseen muistiin [33].

Toisin kuin olennainen ja epäolennainen kognitiivinen kuorma, asiaankuuluva kognitiivinen kuorma ei riipu opiskelumateriaalista eikä opiskeltavan asian luonteesta [2]. Kuormitusteorian mukaan skeeman muodostumista edesauttaa, kun olennainen ja epäolennainen kognitiivinen kuorma ovat pieniä [31, 33, 40]. Tämä vaatii kuitenkin sen, että työmuisti kykenee käsittelemään kaikki kognitiivisen kuorman tyypit [31, 33]. Jos opiskelumateriaali on suunniteltu huonosti ja se aiheuttaa suurta epäolennaista kognitiivista kuormaa, opiskelijan työmuistissa ei riitä kapasiteettia asiaankuuluvalla kognitiiviselle kuormalle [2, 40]. Opiskelumateriaaleissa tulee vähentää mahdollisimman paljon epäolennaista kognitiivista kuormaa, jotta asiaankuuluvalla kuormalle jää enemmän työmuistin resursseja [2]. Asiaankuuluvan kognitiivisen kuorman kasvatuksen lähtökohta on yleensä pienentää epäolennaista kognitiivista kuormaa [33].

2.6 Kuormitusteoria ja harjoitustyöt

Kognitiivinen kuormitusteoria antaa opetuksen suunnitteluun ohjeita. Kognitiivisen kuorman tyyppien mukaan voidaan antaa seuraavat suositukset: Opetusmateriaa-

lin tulee tuoda tärkeimmät asiat selkeästi esille (olennainen kognitiivinen kuorma), turhaa ja sekoittavaa informaatiota tulee välttää (epäolennainen kognitiivinen kuorma) ja opetuksessa tulee pyrkiä hyödyntämään prosesseja, jotka ohjaavat oppijaa syvälliseen ja laajaan ymmärrykseen (asiaankuuluva kognitiivinen kuorma). [1]

Tilanteessa, jossa opiskelija altistuu korkealle olennaiselle ja epäolennaiselle kognitiiviselle kuormalle, on oppiminen erittäin haastavaa. Koska olennaista kognitiivista kuormaa ei voida vähentää muuttamatta opiskeltavaa asiaa, on tärkeätä vähentää epäolennaista kognitiivista kuormaa oppimisen edesauttamiseksi. [31]

3 Tutkimuskysymykset

Tässä tutkielmassa päätarkoituksena on selvittää, mitä epäolennaista kognitiivista kuormaa on vanhassa oskilloskooppityössä (liite 1 ja 2). Samalla on hyvä tilaisuus kerätä palautetta opiskelijoiden kokemuksista uudistetusta harjoitustyöstä palaute-lomakkeella (liite 3). Tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä epäolennaista kognitiivista kuormaa vanhassa työssä oli?
2. Minkälaiseksi vanhat opiskelijat kokivat uudistuneen työn?
3. Minkälaiseksi uudet opiskelijat kokivat uudistuneen työn?
4. Mitä eroa vanhojen ja uusien opiskelijoiden kokemuksilla oli?

4 Tutkimusmenetelmät

Harjoitustyö uudistetaan soveltamalla kognitiivista kuormitusteoriaa vanhaan työohjeeseen ja sen selostuspohjaan. Ensimmäisestä työohjeen versiosta kerätään palautetta vanhoilta opiskelijoilta ja tämän perusteella tehdään korjauksia työohjeeseen. Työohjeen lopullinen versio otetaan käyttöön syksyllä 2018 Fysiikan harjoitustyöt IA kurssilla ja uusilta opiskelijoilta kerätään palautetta harjoitustyöstä.

4.1 Tutkimuksen toteutus

Vanha harjoitustyö (liite 1 ja 2) analysoidaan kognitiivisen kuormitusteorian avulla ja sen avulla minimoidaan harjoitustyön epäolennainen kognitiivinen kuorma. Epäolennaisen kuorman minimoinnissa annetaan esimerkkejä erilaisista epäolennaisen kuorman tyypeistä, joita vanhassa oskilloskooppityössä esiintyy ja niiden minimoimiseksi suoritettavat toimenpiteet. Kuormitusteorian pohjalta harjoitustyöhön lisätään sellaisia tehtäviä ja kohtia, jotka edesauttavat haluttuja oppimisprosesseja. Näitä ovat oskilloskoopin käytön oppiminen ja soveltaminen sekä Fysiikan harjoitustyöt IA kurssin yleisten osaamistavoitteiden saavuttaminen. Myös vanhoja tehtäviä muokataan näiden periaatteiden mukaisesti.

Uusittua oskilloskooppityötä eli ensimmäistä versiota testataan vanhemmilla fysiikan opiskelijoilla. Vanhemmat opiskelijat ovat opiskelleet 2-5 vuotta yliopistolla fysiikkaa pääaineenaan. Vanhemmat opiskelijat varaavat ajan, jolloin he tulevat suorittamaan harjoitustyön ohjaajan valvonnan alaisena. Harjoitustyölle varattavat ajat ovat samanpituisia kuin harjoitustyökurssin aikana varattu aika. Työlle varataan aikaa neljä tuntia, jonka jälkeen työn suorittaneilta opiskelijoilta kerätään palautetta sähköisellä palautelomakkeella (liite 3) harjoitustyön päätyttyä. Vanhojen opiskelijoiden palautteen pohjalta työhöön ensimmäistä versiota muokataan ennen lopullisen version muodostamista.

Lopullinen työhöje otetaan syksyllä 2018 käyttöön Fysiikan harjoitustyöt IA kurssilla. Harjoitustyön suorittavat opiskelijat antavat palautetta sähköisesti harjoitustyön jälkeen samalla palautelomakkeella, jolla vanhat opiskelijat antoivat palautetta. Palautetta kerätään ensimmäisen vuoden fysiikan pääaineopiskelijoilta harjoitustyön päätyttyä. Ensimmäisen vuoden pääaineopiskelijat suorittavat harjoitustyön pareittain.

Uusien opiskelijoiden vastauksista avoimiin kysymyksiin 2-4 luodaan vastausluokat, joihin kaikki vastaukset luokitellaan. Avointen kysymyksien 5-6 vastauk-

sia esitellään korjauskehoituksia ja jatkotutkimusta varten. Vanhojen opiskelijoiden avointen kysymyksien palautteita käytetään uuden työohjeen muodostamista varten. Niitä ei tarkastella kvantitatiivisesti.

4.2 Epäolennainen kognitiivinen kuorma harjoitustyöohjeissa

Kuormitusteoria antaa opetuksen suunnitteluun työkaluja, joiden perusideat ovat:

- Rinnasta opetusmateriaalin asiat vanhaan jo opittuun asiaan
- Vältä epäolennaista ja sekoittavaa informaatiota
- Edesauta prosesseja, jotka johtavat laajaan konseptuaaliseen ja laajaan

ymmärrykseen. [1]

Epäolennaisen kognitiivisen kuorman minimointi on erittäin tärkeätä, sillä monelle lukiolaiselle oskilloskooppi on aivan uusi mittalaite [22–25]. Harjoitustyön suorittavat uudet opiskelijat, joille laboratorioympäristö ja käytänteet ovat myös uusia [6]. Uusien mittalaitteiden käyttö ja uuteen ympäristöön tottuminen tuovat paljon olennaista kognitiivista kuormaa. Tämä kuormittaa työmuistia valmiiksi jo runsaasti eikä ylimääräiselle kuormitukselle ole varaa.

Vanhasta oskilloskooppityöstä etsitään seuraavia epäolennaista kuormaa lisääviä tekijöitä tai keinoja, joilla voidaan minimoida epäoleellista kognitiivista kuormaa: jakaantunut huomio, keino-päämäärä-analyysi, tavoitteettomuusvaikutus, esimerkiksi kiratkaisu ja täydennettävä esimerkki. Näiden lisäksi otetaan käyttöön luokka ”selvä epäolennainen tieto”. Koska koko harjoitustyö uudistetaan, annetaan edellä mainittuihin kategorioihin esimerkkejä ja esitetään keinoja, joilla kyseistä epäolennaista kognitiivista kuormaa voidaan vähentää. Seuraavaksi käydään lävitse yleisellä tasolla, mitä luokitellaan mihinkin kategoriaan ja miten epäolennaista kognitiivista kuormaa voidaan vähentää.

4.2.1 Jakaantuneen huomion minimointi

Jakaantuneen huomion minimoinnissa pyritään minimoimaan tarpeeton huomion jakaantuminen useampaan informaation lähteeseen samaan aikaan. Jos tarkkaavaisuuden jakaminen on välttämätöntä, tulee informaation olla integroitu siten, että vuorovaikuttavat elementit ovat toistensa kanssa lähekkäin tai helposti eroteltavissa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi tekstin kappaleisiin jako ja numeroiminen, kytkentäkuvien sijainti ja niihin liittyvän informaation sijoittaminen.

4.2.2 Keino-päämäärä-analyysi

Keino-päämäärä-analyysissä vältetään sellaista tilannetta, jossa lähdetään avoimesta ongelmanratkaisutilanteesta ja etsitään ratkaisua ongelmaan, johon ei ole valmiita ratkaisumalleja olemassa. Tällaisessa tilanteessa opiskelija vertaa omaa tulostaan tavoiteltavaan päämäärään ja miettii näiden välisiä operaatioita. Tämä kuormittaa työmuistia suuresti. Vaikka kyseinen menetelmä on tehokas ongelmanratkaisutehtävissä, se ei edesauta skeeman muodostamista. Tällaisessa tilanteessa minimoidaan epäolennaista kognitiivista kuormaa välttämällä kyseisiä tehtäviä tai helpottamalla skeeman muodostumista esimerkkitehtävillä tai täydennettävillä esimerkeillä.

4.2.3 Tavoitteettomuusvaikutus

Tavoitteettomuusvaikutuksella pyritään välttämään keino-päämäärä-analyysiä. Tällä menetelmällä annetaan ongelmanratkaisutehtävä, eikä pyydetä ratkaisemaan mitään tiettyä arvoa. Opiskelijaa voidaan pyytää laskemaan kaikki mahdolliset arvot, mitä ongelmanratkaisuntehtävän lähtöarvojen avulla pystytään ratkaisemaan. Tämä vähentää keino-päämäärä-analyysiä siten, että nyt ongelmanratkaisija ei pyri saamaan selville jotain tiettyä arvoa, vaan vapaasti ratkaisee ongelman useammalla eritavalla.

4.2.4 Esimerkkiratkaisu ja täydennettävä esimerkki

Keino-päämäärä-analyysiä vältetään esimerkkiratkaisuilla ja täydennettävillä esimerkeillä. Samalla tarjotaan valmiita ongelmanratkaisumalleja skeeman muodostumista varten. Esimerkkitehtävissä voidaan esittää ongelmanratkaisutehtävään kokonaan malliratkaisu, jolloin työmuistin rasitus vähenee. Täydennettävissä esimerkeissä annetusta esimerkistä puuttuu joitain ratkaisun vaiheita, jotka opiskelija täydentää. Harjoitustöissä valmiit pohjat toimivat täydennettävänä esimerkkeinä. Täydennettävissä esimerkkitehtävissä on hyvänä puolena se, että ne tarjoavat ongelmanratkaisuun vastausmallin ja samalla ne kuitenkin vaativat opiskelijat perehtymään esimerkkiratkaisuun.

4.2.5 Selvä epäolennainen tieto

Tähän kategoriaan luokitellaan ne epäolennaista kognitiivista kuormaa lisäävät tekijät, jotka eivät sovellu edellä mainittuihin kategorioihin, mutta ovat epäolennaista tietoa. Tällaista tietoa on esimerkiksi aihealueen ylittävä teoreettinen tarkastelu, sillä oskilloskooppityö pitää pystyä suorittamaan ja ymmärtämään lukion lähtötiedoilla. Lisäksi kaikki virheelliset tiedot työhjeessa ovat selvää epäolennaista kuormaa.

4.3 Palautelomake

Palautelomake (liite 3) koostuu Likert-asteikosta, jossa on kuusi väittämää, joihin pitää ottaa kantaa Likert-asteikolla: Täysin eri mieltä, jokseenkin eri mieltä, ei eri eikä samaa mieltä, jokseenkin samaa meiltä, täysin samaa mieltä ja en osaa sanoa. Näiden lisäksi palautelomakkeessa on viisi avointa kohtaa:

Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?

Mikä oli helpointa?

Mikä oli vaikeinta?

Mitkä kohdat työohjeessa pitäisi esittää eri tavalla? Miten?

Vapaa palaute:

Jokainen palautelomakkeen palautekohta oli pakollinen. Näin saadaan jokaiselta vastaajalta vastausdataa. Palaute kerättiin sähköisesti tietokoneella välittömästi harjoitustyön päätyttyä. Vanhat opiskelijat suorittivat harjoitustyön yksin ja antoivat palautteen yksin. Uudet opiskelijat suorittivat harjoitustyön pareittain ja antoivat palautteen pareittain.

5 Tulokset

Tässä osiossa on alkuun eritelty epäolennaisen kognitiivisen kuorman lähteet harjoitustyössä ja kuormitusteorian pohjalta tehtävät parannukset työohjeeseen ja selostuspohjaan (liitteet 1 ja 2). Jokaisesta keinosta minimoida epäolennaista kuormaa on annettu useita esimerkkejä. Uudistetun työohjeen ensimmäinen versio esitellään ja siitä saatu vanhempien opiskelijoiden palaute. Saadun palautteen pohjalta on tehty työohjeen lopullinen versio, joka on liitteenä 4 ja 5. Lopussa esitellään uusien opiskelijoiden lopullisesta versiosta antama palaute, tehdyt vastausluokat ja saatua palautetta verrataan vanhempien opiskelijoiden palautteeseen.

5.1 Epäolennainen kognitiivinen kuorma oskilloskooppityössä

5.1.1 Jakaantuneen huomion minimointi

Harjoitustyötä tehdessä tarkkaavaisuus pitää kiinnittää harjoitustyöohjeisiin, oskilloskooppiin ja virtapiirikytkentöihin. Nämä kaikki eri informaatiolähteet pitää integroida yhdeksi kokonaiseksi informaatioksi, jotta harjoitustyön voi suorittaa. Tällöin opiskelijan huomio kiinnittyy edestakaisin oskilloskooppiin ja työohjeisiin. Tätä työmuistin epäolennaista kuormaa ei voida vähentää poistamalla jotain näistä

informaatiolähteistä, sillä ne ovat välttämättömiä harjoitustyön tekemiselle.

Tekstin paloittelu

Vanhassa harjoitustyöohjeessa (liite 1) tekstikappaleet ovat todella pitkiä ja ne käsittelevät useita asioita. Tekstin informaation yhdistäminen kytkentäkaavioiden informaatioon ja oskilloskoopin säätimiin aiheuttavat turhaa työmuistin kuormitusta. Opiskelijan lukiessa tekstiä hän joutuu kiinnittämään huomionsa kuvaan ja oskilloskooppiin useita kertoja. Tekstiin palaaminen on työlästä, sillä kappaleita ei ole jaoteltu mitenkään ja oikean kohdan etsiminen rasittaa työmuistia. Kuvassa 3 on vanhan oskilloskooppityön ensimmäisen sivu. Kokeet 1-3 ovat omia kappaleitaan, mutta myös nämä kappaleet ovat turhan pitkiä.

Esimerkiksi kuvan 3 ensimmäisessä tekstikappaleessa puhutaan useista asioista kuten oskilloskoopilla mittaamisesta, xy-tilasta, tasajännitteestä, vaihtojännitteestä ja miten näitä mitattaessa asetetaan nollakohta. Opiskelijan tutustuessa oskilloskoopin käyttöön, hän joutuu siirtymään edestakaisin tekstin ja oskilloskoopin välillä. Kohdassa ”Edellä olevia säätimiä kiertämällä huomataan, että nollapiste voidaan asettaa mihin kohtaan näytölle tahansa.” opiskelijan tulee kokeilla oskilloskoopin erilaisia säätimiä, jolloin hän kiinnittää huomionsa pois tekstistä. Oskilloskoopin säätimien kokeilun aikana opiskelija voi haluta palata takaisin tekstiin varmistamaan ymmärtämäänsä. Kuitenkin kohdan etsiminen, missä hänen tarvitsemansa informaatio on, rasittaa turhaan työmuistia. Opiskelijan työmuisti kuormittuu myös silloin, kun hän on kokeillut säätimiä onnistuneesti ja päättää jatkaa tekstin lukua, mutta joutuu etsimään kohtaa mihin hän jäi.

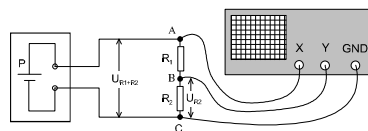
Oskilloskooppityön tekstiä tulee jakaa kappaleisiin. Kappaleiden tulee koskea suppeampia aihealueita. Esimerkiksi nollakohdan asettaminen voi olla oma kappaleensa. Tämä helpottaa lukemista ja tekstiin palaamista.

OSKILLOSKOOPPITYÖ

Oskilloskooppi on jännitettä mittaava laite. Työn ensimmäisessä osassa tutustutaan oskilloskoopin käyttöön xy-piirturina. Tällöin kytketään sekä vaaka- että pystypoikkeutuskanaviin jännite, joka jo sinänsä on tutkittava suure. Sopivia muunnoskomponentteja käyttäen saadaan monet ilmiöt muutettua jännitteiksi ja siten oskilloskoopilla näkyvään muotoon. Yksinkertaisin ja usein esiintyvä muunnoskomponentti on ohminen vastus. Sen avulla voidaan suorittaa jännite-virtamuunnos. Työn jälkimmäisessä osassa tutkitaan oskilloskoopilla aikapyyhkäisyä käyttäen ajan funktiona muuttuvaa signaalia - sinimuotoista jännitettä.

1 Oskilloskooppi xy-piirturina

1.1 Tasajännitteen (dc voltage) mittaustaus



Kuva 1: Kytkenä tasajännitteiden mittaamiseksi. P = paristo (1,5 V), R_1 = vastus (10 k Ω) ja R_2 = vastus (10 k Ω).

Tasajännitteen mittaustaus suoritetaan kuvan 1 osoittaman kytkennän avulla. Ennen jokaisesta mittausta origo asetetaan sopivaan kohtaan. Näytöllä näkyvä piste vastaa origoa silloin, kun kumpaankaan poikkeutuskanavaan ei tuoda jännitettä. Nollakohdan asettaminen suoritetaan säätimillä X-POSITION (tai \leftrightarrow) ja Y-POSITION (tai \updownarrow). Edellä olevia säätimiä kiertämällä huomataan, että nollapiste voidaan asettaa mihin kohtaan näytölle tahansa. Mitattaessa positiivisia jännitteitä sijoitetaan nollapiste alas vasemmalle. Negatiivisia jännitteitä mitattaessa se sijoitetaan ylös oikealle. Vaihtojännitteitä mitattaessa nollapiste sijoitetaan keskelle. Laitteen nollapistettä asettaessa tulee poikkeustasajännitteiden arvon olla 0 V. Tämä toteutetaan irrottamalla johtimet oskilloskoopin tuloliittimis-

tä. Merkintä "GND" viittaa maapotentiaaliin, jonka voidaan ajatella olevan myös nollapotentiaali. Kaikissa mittauksissa kannattaa käyttää hyväksi koko näytön ala. Tarkempi herkkyyssäätö saadaan ottamalla näkyviin valikko CH1/CH2 ja muuttamalla Volts/Div: coarse \rightarrow fine. On syytä huomata, että johdinten resistanssi arvioidaan nolaksi laskuissa.

Koe 1. Yhdistetään piste A oskilloskoopin x-kanavaan (vaakapoikkeutuslevyille) ja C oskilloskoopin runkoon (maatospistokkeeseen). Tällöin on kyseessä pisteiden A ja C välisen potentiaalieron eli jännitteen (jännitehäviö vastuksissa $R_1 + R_2$) mittaustaus. Havaitaan pisteen siirtymä kuvapinnalla. Paikan herkkyyssäätimelle tulee valita sellainen asento, että pisteen poikkeama on mahdollisimman suuri. Lopullinen jännite $U_{R_1+R_2}$ saadaan selville poikkeaman ja poikkeustusherkkyyden avulla.

Koe 2. Irrotetaan piste A oskilloskoopista ja yhdistetään piste B y-kanavaan (C edelleen maatettu). Tällöin mitataan jännitettä pisteiden B ja C välillä eli jännitehäviötä vastuksessa R_2 . Jännitteen U_{R_2} arvo lasketaan pisteen siirtymän ja poikkeustusherkkyyden avulla.

Koe 3. Yhdistetään A x-kanavaan ja B y-kanavaan (C edelleen maatettu). Havaitaan pisteen siirtymäkohta. Piirretään saatu pisteen paikka koordinaatistoon.

Kuva 3. Kuvankaappaus vanhan oskilloskooppityön sivusta 1. Pitkä yhtenäinen teksti ilman kappalejakoja lisää jakaantunutta huomiota.

Tekstin numerointi

Vanhassa oskilloskooppityössä (liite 1) suoritettavat kokeet ovat yhtenäisiä kappaleita. Koeosiot sisältävät melko konkreettisia ohjeita tehtäville kytkennöille ja työn eri vaiheille. Kun ohjeet ovat kirjoitettu yhteen ja samaan kappaleeseen, ilmenee jakaantunutta huomiota, joka turhaan kuormittaa työmuistia. Opiskelijan palatessa tekstiin, kun hän on säätänyt oskilloskooppia tai tehnyt erilaisia kytkentöjä, kuormittaa turhaan työmuistia samoista syistä kuin edellä. Opiskelija joutuu turhaan etsimään ohjeista kohtaa, jossa hän oli.

Esimerkiksi vanhan työohjeen ensimmäisessä kokeessa (kuva 3) ei ole eri kokeiden osia jaettu kappaleisiin mitenkään. Opiskelijan suorittaessa kohtaa ”Havaitaan pisteen siirtymä kuvapinnalla” hän kiinnittää huomionsa oskilloskoopin näytölle. Tämän tehtyään, opiskelijan pitää etsiä työohjeesta kohta ”Paikan herkkyssäätimelle tulee valita sellainen asento, että pisteen poikkeama on mahdollisimman suuri.” Työmuisti kuormittuu ohjeisiin palattaessa, kun etsitään kohtaa mihin jäätiin. Samalla tämä katkaisee sujuvan harjoitustyön suorittamisen.

Jakaantuneen huomion minimoimiseksi työohjeisiin tulee numeroiden jäsenellä koeosioiden työohjeita. Nämä numeroinnit voivat olla pykälä pykälältä suoritettavia toimenpiteitä. Esimerkiksi: ”1. Havaitaan pisteen siirtymä kuvapinnalla, 2. Herkkyssäätimille tulee valita sellainen asento...” ja niin edelleen.

Elementtien välinen etäisyys

Jakaantunutta huomiota saadaan minimoitua vaikuttamalla vuorovaikuttavien elementtien etäisyyksiin. Työohjeessa (liite 1) tällaisia ovat kuvat ja teksti sillä itse oskilloskoopin etäisyyteen työohjeista ei voi vaikuttaa. Oskilloskooppityössä on useita kuvia virtapiireistä ja niihin viittaavia tekstiosioita. Jos tekstistä saatava informaatio on tarpeettoman kaukana siihen liittyvästä kuvasta, lisääntyy työmuistin kuormitus. Myös tekstiosio, joka viittaa toiseen tekstiosioon, voi olla tarpeettoman

kaukana.

Tämä näkyy esimerkiksi kuvassa 3. Ensimmäisessä tekstikappaleessa, joka on sivulla yksi, puhutaan siitä, miten oskilloskooppi tulee kalibroida vaihtojännitettä mittaessa. Vaihtojännitteen mittaaminen alkaa vasta työohjeen sivulla kaksi. Informaatio vaihtojännitteen kalibroinnista ja sen mittaamiseen liittyvistä menetelmistä ovat toisistaan turhan etäällä. Opiskelijan siirtyessä vaihtojännitteen mittaamiseen hän ei todennäköisesti enää muista paljon aikaisemmin kerrottua informaatiota vaihtojännitteen kalibroinnista työmuistin rajallisen kapasiteetin vuoksi.

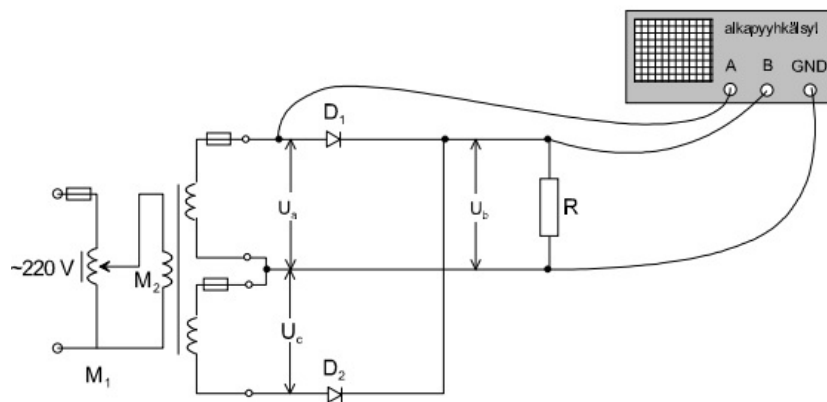
Työohjeen kuvien tulee olla lähellä niitä koskevia tekstejä. Samoin tekstiosiot, joissa kerrotaan oleellista informaatiota muihin tekstiosioihin liittyen, tulee olla lähellä toisiaan. Erityisen tärkeätä on pitää lähekkäin kytkentäkaaviot ja niihin liittyvät koejärjestelyt. Tällöin opiskelija ei kuormita työmuistiaan siirtyessään edestakaisin tekstin ja kuvien välillä.

5.1.2 Keino-päämäärä-analyysi

Oskilloskooppityössä on vain muutama kohta, joissa opiskelija joutuu käyttämään keino-päämäärä-analyysiä. Tämä johtuu siitä, että suurin osa oskilloskooppityön tehtävistä ei sisällä uutta ongelmanratkaisuskeemaa. Tällaisia kohtia on työohjeen osiossa 2.3 (liite 1) ja selostuspohjan kohdassa 2.3. (liite 2). Lisäksi työohjeessa on kohtia, joissa opiskelijoiden oletetaan osaavan tekevän oskilloskoopilla jokin toiminto, mutta siihen ei ole ohjeistusta. Tällaisia ovat esimerkiksi xy-tilasta siirtyminen $y(t)$ -tilaan ja poikkeutusherkkyyden säätäminen.

Vanhan työohjeen kohdassa ”2.3 Tasasuuntaus” opiskelijan tarvitsee muodostaa kokoaaltotasasuuntauskytkentä. Kuvassa 4 on muodostettava kytkentä. Kyseinen kytkentä on haastava, sillä se soveltaa virtapiirikytkentöjen tekemistä. Kyseisessä kytkennässä tarvitsee kytkeä kaksi jännitelähdettä samaan virtapiiriin. Yhdistettävät jännitelähteet ovat merkitty muuntajilla ja niiden kytkentäpisteet on

merkitty avonaisella pallolla.



Kuva 4. Vanhan oskilloskooppityön (liite 1) haastava kytkentä. Kytkennän tekeminen saa aikaan keino-päämäärä-analyysiä ja kuormittaa työmuistia.

Lukion sähköopin kurssilla ei ole näin haastavia kytkentöjä [24]. Kyseisessä kytkennässä sovelletaan opittua tietoa virtapiireistä, joten kyseessä on lukio-opiskelijoille uusi ongelmanratkaisutilanne. Tähän heillä ei ole valmista skeemaa ja tästä aiheutuu keino-päämäärä-analyysiä. Opiskelijat muodostavat oman kytkentänsä (nykyinen ongelma), vertaavat sitä haluttuun kytkentään (päämäärä) ja miettivät operaatioita, joilla päästään haluttuun päämäärään. Tässä opiskelijat joutuvat pitämään työmuistissaan useita keskenään vuorovaikuttavia elementtejä kuten nykyinen virtapiiri, haluttu virtapiiri, erilaiset komponentit ja kytkentäpisteet. Tämä kuormittaa voimakkaasti työmuistia ja aiheuttaa epäolennaista kognitiivista kuormaa. Kyseisen kytkennän valmiiksi saaminen ei edesauta oskilloskoopin käyttöön liittyviä oppimisprosesseja.

Kyseisestä keino-päämäärä-analyysistä päästään eroon muuttamalla kytkentää helpommaksi toteuttaa. Kytkennässä tulee käyttää vain yhtä jännitelähdettä, jotta pysytään lukion sähköopin kurssien haastavuustasossa [24, 25]. Tasasuuntauksen voi toteuttaa diodisillalla, jossa diodit ovat valmiiksi kytkettynä toisiinsa kiinni. Tällä menetelmällä saadaan samanlainen lopputulos, jota päästään analysoimaan

oskilloskoopilla.

Keino-päämäärä-analyysiä esiintyy myös selostuspohjan kohdassa ”2.3 Kapasitanssin ja vaihe-eron määrittäminen” (liite 2). Tämä liittyy työohjeen kohtaan ”2.2 Vaihe-eron määrittäminen, Koe 9”. Opiskelijan tulee määrittää kondensaattorin kapasitanssi. Kondensaattorin kapasitanssin määrittämistä varten opiskelijalle on annettu selostuspohjassa kondensaattorin sähkövirran yhtälö:

$$I(t) = 2\pi fCU_{C0} \cos(2\pi ft)$$

Tehtävän suorittamista varten opiskelijalle on kerrottu teoriaa ennen koetta 9 ja alaotsikossa koe 9. Tehtävän suorittaminen on erittäin monivaiheinen. Opiskelijan tulee muodostaa tarvittavat kytkennät ja tulostaa tarvittavat kuvaajat oikeaan kohtaan skaalattuna. Tämän jälkeen opiskelijan tulee esittää kondensaattorin sähkövirta vastuksen jännitteen avulla. Saadusta kuvaajasta opiskelijan tulee lukea vastuksen huippuarvo ja määrittää sen avulla sähkövirta. Jäljelle jää muuttujan t selvittäminen, jonka opiskelijan tulee lukea oikein säädetyistä kuvaajista vaakakselilta. Näiden kaikkien toimenpiteiden jälkeen on jäljellä kondensaattorin kapasitanssin ratkaiseminen yhtälöstä.

Kondensaattorin kapasitanssin määrittäminen vaatii oskilloskoopin käytön soveltamista. Tällaiseen tehtävään lukio-opiskelijalla ei ole valmista ongelmanratkaisukeinot, mikä aiheuttaa keino-päämäärä-analyysiä. Tämän voi välttää jättämällä monimutkaisen kondensaattorin kapasitanssin määrittämisen pois. Kyseisen kohdan voi korvata mittaamalla kapasitanssin yleismittarilla.

Koe 9 kuuluu työohjeessa osioon ”2.2 Vaihe-ero”. Huolimatta kyseisestä otsikosta, itse vaihe-eron määrittäminen jää kapasitanssin määrittämisen varjoon. Edellä kuvattu monivaiheinen kapasitanssin määrittäminen on monimutkaisempi ja vaativampi toimenpide kuin vaihe-eron määrittäminen. Kun kapasitanssin määrittämisestä aiheutuvan työmuistin kuormaa kevennetään, opiskelija voi keskittyä enemmän vaihe-eron

määrittämiseen.

Vanhassa oskilloskooppityössä on paljon erilaisia kohtia, joissa pitää hyödyntää oskilloskoopin erilaisia toimintoja tai tuntea oskilloskoopin erilaisia säätimiä. Näitä ovat esimerkiksi tulostaminen, siirtyminen xy -tilasta $y(t)$ -tilaan, signaalin tallentaminen, poikkeutusherkkyyys, aikapyyhkäisy ja niin edelleen. Työohjeessa (liite 1) ei ohjeisteta kovin tarkkaan tai ollenkaan kyseisiä toimintoja. Esimerkiksi poikkeutusherkkyyden säätämistä ei ohjeisteta ollenkaan eikä kyseistä käsitettä määritellä.

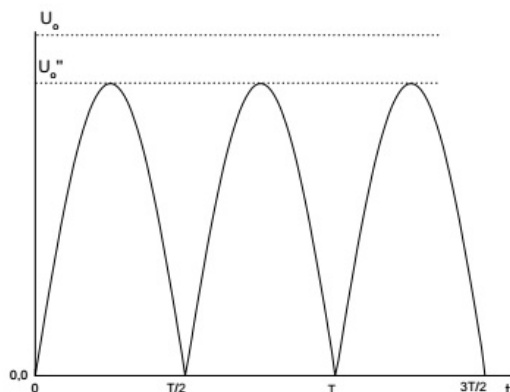
Edellä mainitut tilanteet altistavat keino-päämäärä-analyysille. Opiskelijat pyrkivät suorittamaan oskilloskoopilla toimenpiteen, heillä on päämäärä, mutta eivät tiedä keinoa suorittaa kyseistä toimenpidettä. Oskilloskoopilla tuntemattomien toimenpiteiden suorittaminen epäselvillä käsitteillä kuormittaa työmuistia. Tätä työmuistin kuormaa voidaan keventää määrittelemällä työohjeessa uudet käsitteet ja oskilloskoopin toimenpiteet, kun ne esitellään ensimmäistä kertaa. Lisäksi näistä käsitteistä ja toiminnoista voi kehittää erillisen liitteen, johon opiskelija voi turvautua tarkistamaan tietonsa. Kun tärkeimmät käsitteet ja toiminnot ovat omassa osiossaan, minimoidaan myös jakaantunut huomio, sillä käsitteitä ja toimintoja ei tarvitse etsiä työohjeesta sieltä, missä ne ensimmäistä kertaa tulivat esille.

5.1.3 Tavoitteettomuusvaikutus

Vanhassa työohjeessa (liite 1) on valmiita jännitteen kuvaajia ja koeosioita, joissa tarvitsee saada aikaiseksi ja analysoida vastaavanlainen jännitteen kuvaaja. Tällaisia jännitteen kuvaajia ovat esimerkiksi työohjeen kuvat 10 ja 11. Kuvassa 5 on esimerkki kuvaajasta, joka opiskelijan tulee saada aikaiseksi ja analysoida. Tällaisessa tehtävässä voi esiintyä keino-päämäärä-analyysiä, sillä opiskelija tietää halutun lopputuloksen ongelmanratkaisutilanteen alussa.

Tällaisissa tilanteissa voi hyödyntää tavoitteettomuusvaikutusta jättämällä jännitteiden kuvaajia pois. Näin opiskelijoilla ei ole päämäärää mihin verrata omaa

oskilloskoopilla mitattua signaaliaan. Tämä mahdollistaa opiskelijoiden vapaamman lähestymistavan ongelmanratkaisutehtävään ja työmuistin kuormittuminen keino-päämäärä-analyysin johdosta vältetään.



Kuva 5. Vanhan oskilloskooppityön (liite 1) kuvan 11 tasasuunnatun jännitteen kuvaaja.

5.1.4 Esimerkkiratkaisu ja täydennettävä esimerkki

Esimerkkiratkaisu

Vanhassa työohjeessa ei ole valmiiksi laskettuja esimerkkitehtäviä, joiden avulla opiskelijoiden tulisi laskea vastaavanlaisia tehtäviä. Työohjeen ongelmanratkaisutehtävien rinnalle lisättävät esimerkkiratkaisut muuttaisivat työohjeen rakennetta merkittävästi. Nämä muutokset eivät olisi linjassa harjoitustöiden yleisten ohjeiden kanssa. Näin ollen harjoitustyöohjeisiin ei voi lisätä esimerkkitehtäviä uusista ongelmanratkaisutilanteista.

Opiskelijoille voidaan tarjota kuitenkin erittäin pieniä esimerkkitehtäviä, jotka liittyvät oskilloskoopin käyttöön. Esimerkiksi vanhassa työohjeessa opiskelijoille kerrotaan, että oskilloskoopilla jännite lasketaan pisteen poikkeaman ja poikkeutusherkkyuden avulla (koe 1, liite 1). Tähän voisi lisätä esimerkin, miten jännite lasketaan kuten: ”esim. CH 1 500 mV tarkoittaa, että jokainen x-akselin ruutu vastaa 500 mV”.

Täydennettävä esimerkki

Vanha selostuspohja (liite 2) on itsessään täydennettävä esimerkki. Sen sijaan, että opiskelija tekee selostusraportin itse, on opiskelijalla käytössä valmis selostuspohja. Tämä alentaa merkittävästi työmuistin kuormitusta verrattuna tilanteeseen, jossa valmista pohjaa ei ole käytössä.

Vanhassa selostuspohjassa on kohtia, joissa on entuudestaan täydennettävä esimerkki, mutta niitä voisi täydentää lisää selvyiden vuoksi. Esimerkiksi selostuspohjan (liite 2) taulukkoa kohdassa ”Vaihtojännitteen mittausta 1.3” voidaan täydentää lisää. Opiskelijoiden tulee kirjata ylös vaihtojännitteen aiheuttamia poikkeutusherkyyksiä ja siirtymiä taulukkoon. Näistä opiskelijan tulee laskea tehollinen jännite. Tähän väliin voi lisätä sarakkeen, jossa opiskelijan tulee laskea hetkellinen jännite.

Toinen esimerkki on vanhan selostuspohjan (liite 2) kohdassa ”2.3 Kapasitanssin ja vaihe-eron määrittäminen”, jossa opiskelijan tulee määrittää saadusta signaalista sen taajuus. Taajuuden määrittämiseksi opiskelijan tulee määrittää jaksonaika T , mutta tälle ei ole omaa vastauskohtaa. Erillinen kohta jaksonajan määrittämisestä ennen taajuuden määrittämistä vähentää työmuistin kuormaa, koska tämä toimii täydennettävänä esimerkkinä ennen taajuuden laskemista.

Selostuspohjan kohdassa ”2.5 Kokoaaltoasasuuntaus” pyydetään selittämään kokoaaltoasasuuntaajan toiminta ja perustelemaan, miksi tarvitaan kaksi jännitettä U_a ja U_c . Suoriutuakseen tehtävästä opiskelijan tulee tarkastella kytkentäkuvausta ja hahmotella eri vaiheiden kulku. Kuten jo mainittu, kyseinen kytkentäkuvaaja on lukiotason sähköopin kursseihin nähden haastava. Tällaiseen haastavaan kytkentäkuvaan vaiheiden hahmottelu kuormittaa työmuistia.

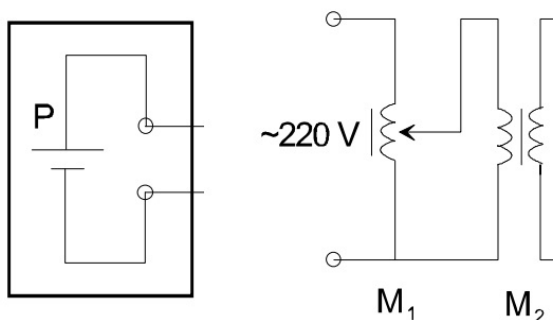
Työmuistin kuormaa voidaan vähentää tarjoamalla opiskelijoille valmiin jo edellä mainitun neljän diodin diodisillan asasuuntaamiseen. Tämä helpottaa kytkennän ymmärtämistä. Selostuspohjassa voi olla valmiina kyseinen diodisilta, johon opiske-

lijan tulee hahmotella sähkövirran kulku eri vaihtojännitteen vaiheilla. Työmuistin kuormitus vähenee, kun saadaan täydennetympi esimerkki.

5.1.5 Selvän epäolennaisen kuorman minimointi

Työohjeessa on useita kohtia, joissa esiintyy epäolennaista kuormaa, joita ei saada kategorisoitua edellä mainittuihin efekteihin tai keinoihin. Tällaisia ovat esimerkiksi epäselvät piirrosmerkinnät, matemaattisesti haastavat esitykset, selvitettävät suureet, joiden käyttö ei merkittävästi lisää oskilloskoopin käytön oppimista ja epäoleelliset suureet.

Kuvassa 6 on työohjeessa (liite 1) käytetyn tasavirtalähteen (paristo) ja vaihtojännitelähteen piirrosmerkinnät. Pariston piirrosmerkin ympärille on piirretty laatikko, joka kuvastaa harjoitustyössä käytettävää paristoa työpisteellä. Paristoa säilytetään akryylilaatikossa, jonka banaaniliittimiin voidaan suoraan kytkeä johtimet. Tämä ulkoinen kuori pariston piirrosmerkin ympärillä on epäolennaista tietoa ja se voidaan jättää pois.



Kuva 6. Vanhan työohjeen (liite 1) jännitelähteiden piirrosmerkkien kuvia, jotka kuormittavat työmuistia.

Kuvassa 6 esiintyy myös käytettävän vaihtojännitelähteen piirrosmerkintä. Oskilloskooppityössä käytettävä vaihtojännitelähde koostuu säädettävästä vaihtojännitelähteestä, jonka jännite muunnetaan toisella muuntajalla pienemmäksi. Tämä lopullinen työssä käytettävä jännite otetaan suoraan kyseisestä muuntajasta, joka

toimii lopullisena vaihtojännitelähteenä. Näin ollen näiden kahden muuntajan kytkentäkuvaaja on epäolennaista tietoa, koska opiskelija käyttää koko ajan yhtä ja samaa jännitelähdettä. Kyseisen piirrosmerkinnän voi korvata yleisesti käytetyllä vaihtojännitelähteen piirrosmerkillä. Tämä vähentää työmuistin kuormitusta kytkentäkaavioita analysoidessa.

Vanhassa työohjeessa on lukiolaiselle paljon haastavaa matematiikkaa, joiden lopputulokset pelkästään hyödynnetään. Esimerkiksi vanhassa työohjeessa esitellään tehollisen jännitteen kaavan johto, johon kuuluu haastavia integraaleja kuten:

$$U_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T U_0^2 \sin^2(2\pi ft) dt \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Lukion opetussuunnitelmaan kuuluu tehollisen jännitteen ja hetkellisen jännitteen relaatio [24]. Kyseisen kaavan johtaminen ei edesauta harjoitustyön suorittamista eikä oskilloskoopin käyttöön liittyviä oppimisprosesseja. Uusia mittalaitteita käytettäessä on tärkeää, että samaan aikaan ei opeteta uutta teoriaa. Uuden mittalaitteen käytön oppiminen uudessa ympäristössä itsessään aiheuttaa voimakasta työmuistin kuormitusta. Ylimääräinen teoria kuormittaa tällöin työmuistia yli sen kapasiteetin. Kaavojen johdot voi laittaa liitteisiin tai jättää työohjeesta kokonaan pois.

Oskilloskooppityössä esitetään uusi käsite, jännitteen keskiarvo (U_{av}) ja sen arvo ja tulee laskea. Jännitteen keskiarvon kaava johdetaan ja saatua kaavaa hyödynnetään selostuspohjassa. Kyseistä käsitettä ei käsitellä oppikirjassa [24] eikä jännitteen keskiarvoa käytetä yleisesti [3, 26]. Tämän vuoksi on turhaa esitellä kyseistä käsitettä, kun opiskelijoiden on tarkoitus oppia käyttämään oskilloskooppia. Ylimääräinen ja ei yleisesti käytetty teoria lisää epäolennaista kognitiivista kuormaa.

Selostuspohjassa (liite 2) on kohtia, joissa esiintyy jokin suure, mutta sen selitys ei välttämättä ole selvä. Esimerkiksi sivulla neljä ”Vaihtojännitteen mittausta 1.3” havainnot osiossa on taulukko, johon on merkitty suureen U_0 yksiköksi senttimetrit (cm), mutta sivun kaksi suureiden listauksessa merkitään suureen U_0 yksiköksi

voltit (V). Tarkoituksena on ollut, että opiskelija määrittää jännitteen hetkellisen arvon etäisyyden, laskee hetkellisen jännitteen poikkeutusherkkyyden avulla ja lopuksi ratkaisee tehollisen jännitteen. Tämä on monivaiheinen ja mahdollisesti epäselvä tehtävä.

Tämän voi korjata lisäämällä ylimääräisen sarakkeen, jossa tarkastellaan syntyneen signaalin amplitudia (cm) ja merkitään suureen U_0 yksiköksi voltti (V). Näin ollen ratkaisusta tulee porrasmaisempi ja helpommin seurattava. Kyseisessä taulukossa on myös virheellisesti merkitty *koe 1*, *koe 2*, *koe 3*, vaikka nyt tarkastellaan kokeita 4-6. Näiden kohtien korjaaminen on itsestään selvää.

5.2 Työohjeen ensimmäinen ja lopullinen versio

Työohjeen lopullinen versio on liitteenä 4 ja 5. Työohjeeseen on tehty edellä mainittuja korjausehdotuksia. Näitä ovat muun muassa tekstin jako kappaleisiin ja numerointi, kaikkien kuvien uusiminen sekä haastavien tehtävien vähentäminen. Isoimmat muutokset vanhaan työohjeeseen olivat puoliaaltosuuntauksen poisjättäminen kokonaan sekä kokoaaltosuuntauksen toteuttamisen muutokset. Harjoitustyöosastolle hankittiin uusia kondensaattoreita ja tasasuuntaussilta. Isommilla kondensaattoreilla ehkäistään vaihe-eron määrittämisessä syntyviä epäselviä kuvaajia ja tasasuuntaussillalla helpotetaan viimeisen kohdan kytkentää.

Vanhemmat opiskelijat vastasivat työohjeen ensimmäiseen versioon, joka eroaa hieman lopullisesta versiosta. Ensimmäisen ja lopullisen version erot ovat:

Ensimmäisessä työohjeen versiossa merkittiin vaihtojännitteen arvoa seuraavasti:

$$U_{AC} = 15 \text{ V.}$$

Lopullisella työohjeen versiossa vaihtojännitettä merkitään seuraavasti:

$$U_{AC} = 15 \text{ V}''$$

Lopullisen työohjeen merkintätapa kertoo opiskelijoille, että saatava vaihtojännite ei ole 15 V, vaikka mittauslaitteiston mukaan näin pitäisi olla. Tämän merkinnän

avulla opiskelijoita ei johdeta harhaan.

Lopullisessa työohjeessa on ensimmäisellä sivulla ”Osaamistavoitteet”, mutta ensimmäisessä versiossa käytettiin termiä ”Oppimistavoitteet”. Kuitenkaan kyselylomakkeeseen kyseistä kohtaa ei korjattu, jotta kysely pysyy samana vanhoille ja uusille opiskelijoille. Muutaman kirjoitusvirheen lisäksi kokeeseen 11 lisättiin seuraava kohta:

”1. Säädetään oskilloskoopin liipaisu (Trigger) jännitelähteelle sopivaksi:

Trigger Menu → Source → AC line”

Kyseisen korjauksen avulla saadaan tasasuunnattu aalto jännitelähteen aallon kanssa heti samaan vaiheeseen. Ensimmäisen version työohjeita noudatettaessa aaltojen päällekkäin saaminen saattoi joskus tarvita liipaisun säätämistä tai aaltojen liikuttamista säätimistä.

5.3 Ensimmäisen version opiskelijapalaute

Ensimmäisen version opiskelijapalaute esitellään kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa käsitellään Likert-asteikolla saatua palautetta ja toisessa osassa käsitellään avoimista kysymyksistä saatua palautetta. Avointen kysymyksien palautteen pohjalta työohjeesta muodostettiin lopullinen versio.

5.3.1 Likert-palaute

Taulukossa I on esitetty vanhoilta opiskelijoilta kerätty Likert-palaute. Kyselyn tehneet opiskelijat ovat opiskelleet 2-5 vuotta yliopistossa pääaineenaan fysiikka. Otoksen koko on 10 (N=10). Vanhat opiskelijat suorittivat harjoitustyön ensimmäisen version.

Vaihtoehtoa 1 vastaa väittämä *täysin eri mieltä*, vaihtoehtoa 2 vastaa väittämä *jokseenkin eri mieltä*, vaihtoehtoa 3 vastaa väittämä *ei samaa eikä eri mieltä*, vaihtoehtoa 4 vastaa väittämä *jokseenkin samaa mieltä*, vaihtoehtoa 5 vastaa väittämä

täysin samaa mieltä ja vaihtoehtoa 0 vastaa väittämä *en osaa sanoa*. Taulukkoon on laskettu vastausvaihtoehdon %-osuus.

Taulukko I. Vanhojen opiskelijoiden Likert-palautteet prosenttiosuuksina. Numero 1 vastaa täysin eri mieltä väittämää, numero 5 täysin samaa mieltä ja 0 en osaa sanoa.

N=10	Vastausvaihtoehdon %-osuus					
	1	2	3	4	5	0
Väittämä						
Saavutin työn oppimistavoitteet	10,0	0,0	0,0	30,0	60,0	0,0
Ennakkotehtävät auttoivat työn suorittamisessa	0,0	20,0	0,0	50,0	30,0	0,0
Koin työn haastavaksi	0,0	40,0	40,0	20,0	0,0	0,0
Työ lisäsi kiinnostusta sähköoppia kohtaan	0,0	0,0	30,0	60,0	10,0	0,0
Opin käyttämään oskilloskooppia	10,0	0,0	0,0	20,0	70,0	0,0
Työohjeet olivat selkeät	10,0	0,0	0,0	50,0	40,0	0,0

Taulukosta I nähdään, että suurin osa vanhoista opiskelijoista koki saavuttaneensa harjoitustyön oppimistavoitteet: *opiskelija osaa työn jälkeen käyttää yleismittaria ja käyttää oskilloskooppia sinimuotoisen jännitteen tutkimiseen*. Vanhoista opiskelijoista 30 % koki saavuttaneensa osittain oppimistavoitteet ja 60 % koki saavuttaneensa täysin oppimistavoitteet. Väitteen ”opin käyttämään oskilloskooppia” kanssa täysin samaa mieltä oli 70 %. Jokseenkin samaa mieltä väitteen kanssa oli 20 %. Tämä väittämä antaa samaa informaatiota kuin arvio oppimistavoitteisiin pääsemisestä. Opiskelijoiden mielestä he ovat onnistuneet harjoitustyön tavoitteissa ja ovat oppineet käyttämään oskilloskooppia.

Suurin osa vastaajista myös koki, että ennakkotehtävät auttoivat työn suorittamisessa. 50 % arvioi ennakkotehtävien auttaneen jonkin verran ja 30 % ovat täysin

samaa mieltä, että ennakkotehtävät auttoivat.

Lähes puolet (40 %) ei ollut samaa eikä eri mieltä väitteen ”koin työn haastavaksi” väitteen kanssa. Saman verran vastajia (40 %) oli jokseenkin eri mieltä väitteen kanssa. Vain 20 % oli jokseenkin samaa mieltä väitteen kanssa. Kukaan vastajista ei ollut täysin samaa tai eri mieltä. Tämä kertoo siitä, että harjoitustyö on sopivan haastava. Harjoitustyön olennainen kognitiivinen kuorma on melko suurta, joten tulos siitä, että kukaan ei koe harjoitustyötä liian vaikeaksi kertoo epäolennaisen kuorman vähäisyydestä. Samasta asiasta kertoo väite ”työohjeet olivat selkeät”. Vanhoista opiskelijoista 50 % oli täysin samaa mieltä kyseisen väitteen kanssa ja 40 % oli jokseenkin samaa mieltä.

5.3.2 Avoimet kysymykset

Käsitellään vanhempien opiskelijoiden jokainen palautekohta yksitellen lävitse.

Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?

Vanhempien opiskelijoiden vastauksissa korostuu käytännön tekeminen ja monipuolisuus. Esimerkiksi: ”*Yksinkertaiset esimerkkikokeetopettavat parhaiten ja perusteellisesti.*” ja ”*Tuli nähtyä monipuolinen valikoima erilaisia kytkentöjä- -*”. Toinen korostunut kohta on oskilloskoopin käyttö sekä sillä saatujen kuvaajien tulkinta. Esimerkiksi: ”*Kuvaajat ja oskilloskoopin näytöllä havainnollisesti sen näkeminen, mitä kytkennässä oikeasti tapahtuu.- -*”. Muutaman opiskelijan mielestä diodin ominaiskäyrän määrittäminen ja kokoaaltotasasuuntaus oli opettavaisinta.

Mikä oli helpointa?

Helpoimmaksi vanhemmat opiskelijat kokevat virtapiirikytkentöjen tekemisen ja yleismittarilla mittaamisen. Muita kohtia ei esiinny korostuneesti.

Mikä oli vaikeinta?

Vaikeimpina asioina pidettiin diodin kynnysjännitteen määrittämistä ja oskilloskoopin käyttöä. Esimerkiksi: ”*Pohdinta esimerkiksi kohdassa, jossa piti miettiä*

miksi diodin ominaiskäyrä on ylösalaisin.” ja ”*Oskilloskoopin käyttö*”. Myös vaihtojännitteen ja vaihe-eron tutkimista pidettiin vaikeimpina asioina.

Mitkä kohdat työohjeessa pitäisi esittää eri tavalla? Miten?

Suurin osa palautteesta koski yksittäisten lauseiden korjaamista ja kirjoitusvirheitä yleisellä tasolla. Näiden lisäksi diodin ominaiskäyrän määrittämiseen ja tasa-suuntaukseen toivottiin selvennyksiä.

Vapaa palaute:

Vapaassa palautteessa ensimmäinen työohjeen versio sai enimmäkseen positiivista palautetta ”*Selkeä ja opettavainen työ*”. Muutama opiskelija, joka oli suorittanut oskilloskooppityön alkuperäisen työohjeen mukaan, kertoi palautteessaan, että uusittu työohje on selkeämpi kuin vanha työohje: ”*On tämä selkeämpi työ kuin se vanha oskilloskooppityö*”.

Vastauslomakkeen lisäksi uudistetun työohjeen tekijät antoivat suullista palautetta. Ainoastaan yksi vanhemmista opiskelijoista kysyi työn suorituksen jälkeen, minkä takia mitatun tehollisen jännitteen tehollinen arvo ei vastannut muuntajassa olevaa arvoa (15 V). Tämä kertoo siitä, että oskilloskooppi on myös vanhemmille opiskelijoille niin uusi laite, että sen käyttämiseen keskittyttäessä ei keskitytä pohtimaan tuloksia ja niiden oikeellisuutta syvällisesti.

5.4 Lopullisen version opiskelijapalaute

5.4.1 Likert-palaute

Taulukkoon II on kerätty uusien opiskelijoiden Likert-palautteiden vastauksien prosenttiosuudet. Kyselyyn vastattiin 33 kertaa. Opiskelijat ovat pääsääntöisesti ensimmäisen vuoden fysiikan opiskelijoita tai fysiikan sivuaineopiskelijoita. He ovat suorittaneet harjoitustyön ja vastanneet kyselyyn pareittain.

Vaihtoehtoa 1 vastaa väittämä *täysin eri mieltä*, vaihtoehtoa 2 vastaa väittämä *jokseenkin eri mieltä*, vaihtoehtoa 3 vastaa väittämä *ei samaa eikä eri mieltä*, vaih-

toehtoa 4 vastaa väittämä *jokseenkin samaa mieltä*, vaihtoehtoa 5 vastaa väittämä *täysin samaa mieltä* ja vaihtoehtoa 0 vastaa väittämä *en osaa sanoa*.

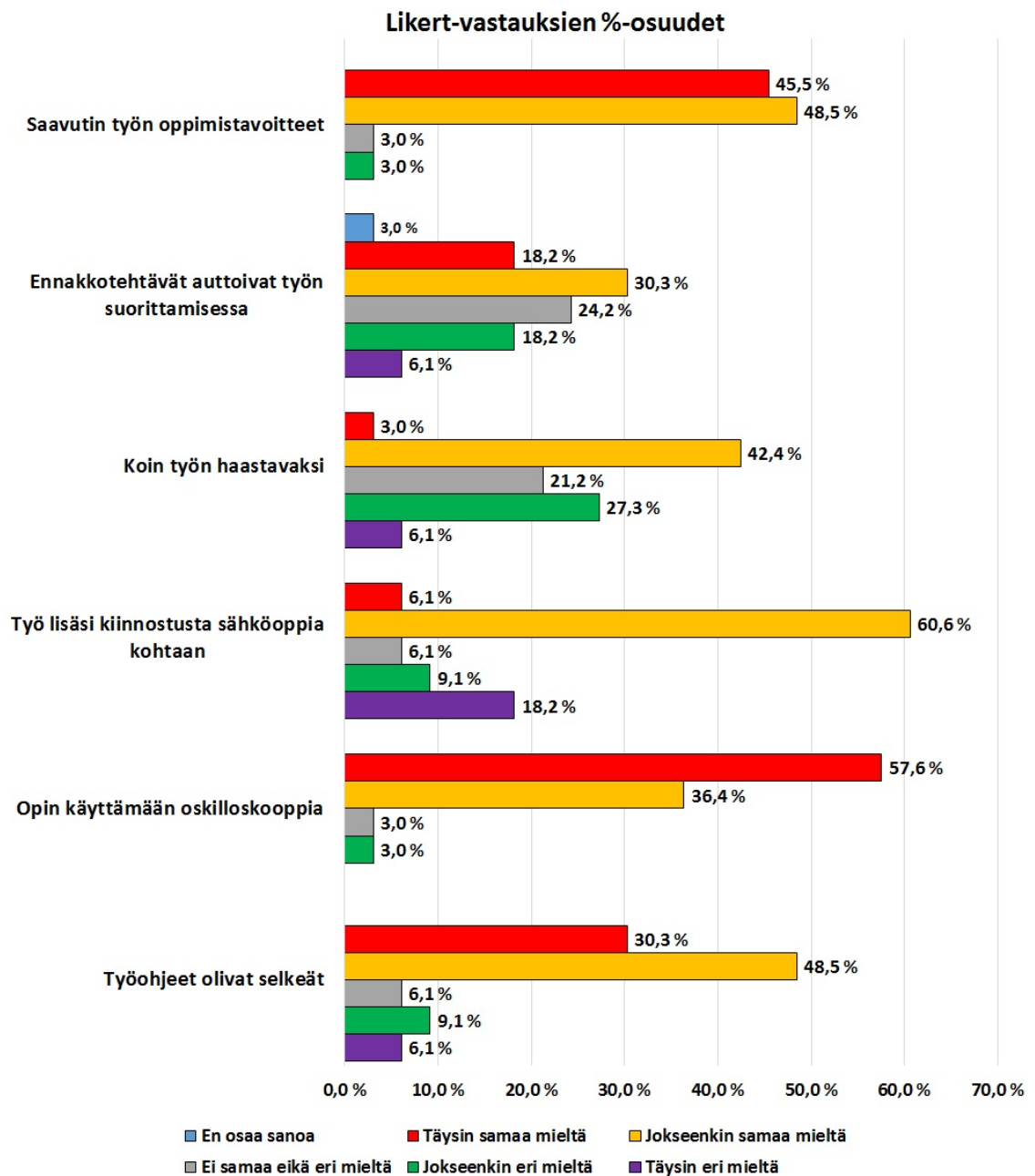
Vastauksien prosenttiosuudet on esitetty myös palkkikaaviona kuvassa 7. Palkkikaavioon ei ole merkitty vastausvaihtoehtoja, joiden prosenttiosuus on 0 %.

Taulukko II. Uusien opiskelijoiden Likert-palautteet prosenttiosuuksina. Numero 1 vastaa täysin eri mieltä väittämää, numero 5 täysin samaa mieltä ja 0 en osaa sanoa.

N=33	Vastausvaihtoehdon %-osuus					
	1	2	3	4	5	0
Saavutin työn oppimistavoitteet	0,0	3,0	3,0	48,5	45,5	0,0
Ennakkotehtävät auttoivat työn suorittamisessa	6,1	18,2	24,2	30,3	18,2	3,0
Koin työn haastavaksi	6,1	27,3	21,2	42,4	3,0	0,0
Työ lisäsi kiinnostusta sähköoppia kohtaan	18,2	9,1	6,1	60,6	6,1	0,0
Opin käyttämään oskilloskooppia	0,0	3,0	3,0	36,4	57,6	0,0
Työohjeet olivat selkeät	6,1	9,1	6,1	48,5	30,3	0,0

Taulukosta II nähdään, että suurin osa opiskelijoista kokee saavuttaneensa oppimistavoitteet. Vastanneista 48,5 % on jokseenkin samaa mieltä väittämän ”Saavutin työn oppimistavoitteet” kanssa ja 45,5 % on täysin samaa mieltä väitteen kanssa.

Väitteen ”Ennakkotehtävät auttoivat työn suorittamisessa” vastaukset jakautuvat tasaisesti. Vastaaajista 18,2 % on täysin samaa mieltä väitteen kanssa ja 30,3 % vastaaajista on jokseenkin samaa mieltä. Väitteen kanssa täysin eri mieltä on 6,1 % ja jokseenkin eri mieltä on 18,2 %. Vastaaajista 3,0 % on valinnut ”ei osaa sanoa” vaihtoehdon ja 24,2 % vastaaajista on valinnut ei samaa eikä eri mieltä vaihtoehdon. Ei voida sanoa, että ennakkotehtävät ovat opiskelijoiden mielestä olleet merkittävästi hyödyksi, vaikka jokseenkin samaa/samaa mieltä olevia on vähän enemmän kuin



Kuva 7. Uusien opiskelijoiden Likert-vastauksien prosenttiosuudet.

jokseenkin eri mieltä/täysin eri mieltä olevia.

Väitteen ”Koin työn haastavaksi” vastauksista suurin prosenttiosuus on vastauksella jokseenkin samaa mieltä 42,4 %. Väitteen kanssa täysin samaa mieltä on 3,0 %. Ei samaa eikä eri mieltä vaihtoehdon osuus on 21,1 %. Enemmistö on täten kokenut työn haastavaksi.

Vastaaajista 60,6 % on väitteen ”Työ lisäsi kiinnostusta sähköoppia kohtaan” kanssa jokseenkin samaa mieltä. Väitteen kanssa täysin samaa mieltä on 6,1 %. Suurin osa vastaaajista täten kokee kiinnostuksensa lisääntyneen sähköoppia kohtaan. Täysin eri mieltä väitteen kanssa on 18,2 % ja jokseenkin eri mieltä 9,1 %. Syy sille miksi melkein noin viides vastaaajista on täysin eri mieltä väittämän kanssa voi johtua turhautumisesta harjoitustyöhön. Suurin osa vastaaajista on kokenut työn haastavaksi ja työn haastavuus voi lisätä turhautuneisuuden tunnetta [20].

Yli puolet vastaaajista (57,6 %) on täysin samaa mieltä väittämän ”Opin käyttämään oskilloskooppia” kanssa. Lisäksi vastaaajista 36,4 % on jokseenkin samaa mieltä väitteen kanssa. Nämä vastaavat yli 90 % vastaaajista. Ottaen huomioon, että suurin osa vastaaajista kokee saavuttaneensa työn oppimistavoitteet, joihin kuuluu oskilloskoopin käyttö, on odotettavaa, että he myös kokevat osaavansa käyttää oskilloskooppia.

Väitteen ”Työohjeet olivat selkeät” kanssa 30,3 % on täysin samaa mieltä ja 48,5 % on jokseenkin samaa mieltä. Tämä vastaa selvää enemmistöä, eli opiskelijat kokevat yleisesti ottaen työohjeet selkeiksi.

5.4.2 Avointen kysymyksien vastausluokat

Avointen kysymyksien 2-4 (Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä, Mikä oli helpointa, Mikä oli vaikeinta) vastaukset luokitellaan yhteensä 17 erilaiseen vastausluokkaan. Vastausluokka kuvastaa sitä työnosaa tai mittaamiseen liittyvää asiaa, mitä palaute koski. Jokaiselle vastaukselle suoritetaan sisältöanalyysi, jonka mukaan vastaus luokitellaan yhteen vastausluokkaan, joka sopii sille parhaiten. Jos yksittäinen vastaus voi sisältönsä puolesta kuulua useampaan vastausluokkaan se luokitellaan sille parhaiten sopivaan vastausluokkaan. Vastausluokat ja niiden lyhyt kuvaus on esitetty taulukossa III.

Vastausluokat käsittävät harjoitustyössä käytettäviä välineitä, työohjeen kohtia

ja mittaamiseen liittyvä asioita kuten ohjaajan vaikutusta. Esimerkiksi vastausluokkiin *Oskilloskooppi*, *Virtapiirikytkenät* ja *Yleismittari* on luokiteltu ne vastaukset, joissa vastataan kysymykseen selvästi jollakin edellä mainituista asioista. Vastausluokat *Diodi*, *Vaihtojännite*, *Vaihe-ero* ja *Tasasuuntaus* koskevat harjoitustyön tiettyä työtä, jota palaute koski. Esimerkiksi vastausluokka *Tasasuuntaus* käsittää vastaukset, jotka koskevat työtä 2.3 Tasasuuntaus.

Vastausluokka *Kuvaajien käsittely & tulkinta* käsittää ne vastaukset, jotka koskevat oskilloskoopilla tulostamista, kuvaajien tulkintaa ja analysoimista. Vastausluokka *Oskilloskooppi ja virtapiirikytkenät* on luotava, sillä useamman opiskelijan vastauksessa esiintyi kummatkin luokat *Oskilloskooppi* ja *Virtapiirikytkenät* samanaikaisesti. Vastaavasti tehtäville on tehty kaksi vastausluokkaa *Tehtävät* ja *Ensimmäiset tehtävät*. *Tehtävät* luokkaan kuuluvat vastaukset, jotka koskevat tehtäviä tai laskuja niin yleisellä tasolla, että niitä ei voida luokitella tarkemmin tiettyyn työhönsaan.

Vastausluokat *Ei ehdotuksia*, *Epäselvä*, *Tyhjä* ja *Muut* käsittävät nimensä mukaisesti ne vastaukset, jotka eivät anna ehdotuksia, ovat tyhjiä tai ovat niin epäselviä, että niitä ei voi luokitella mihinkään luokkaan. Vastausluokka *Muut* käsittää yksittäisiä vastauksia, joille ei perustettu omia vastausluokkia.

Taulukko III. Uusien opiskelijoiden avointen kysymyksien (kysymykset 2-4) vastausluokat ja niiden kuvaus.

Vastausluokka	Kuvaus
Oskilloskooppi	Oskilloskoopin yleinen käyttö
Virtapiirikytkennät	Virtapiirikytkentöjen rakentaminen
Oskilloskooppi ja virtapiirikytkennät	Vastaus, joka soveltuu kumpaankin luokkaan oskilloskooppi ja virtapiirikytkennät
Yleismittari	Yleismittarin käyttö
Ohjaaja	Harjoitustyöosaston ohjaajan vaikutus
Kuvaajien käsittely & tulkinta	Oskilloskoopilla saatujen kuvaajien tulostus, piirtäminen ja analysointi
Diodi	Työohje työ 1.4 Puolijohdediodin kynnysjännitteen määrittäminen & diodit yleisesti
Vaihtojännite	Palaute, joka liittyy yleisesti vaihtojännitteeseen
Vaihe-ero	Työohje työ 2.2 RC-piirin vaihe-ero
Tasasuuntaus	Työohje työ 2.3 Tasasuuntaus
Työohje	Kommentti yleisellä tasolla työohjeesta
Tehtävät	Kommentti yleisellä tasolla tehtävistä ja laskuista
Ensimmäiset tehtävät	Kommentti ensimmäisiin tehtäviin
Ei ehdotuksia	Ei ehdotuksia kysymykseen
Epäselvä	Vastausta ei voida luokitella tai se ei vastaa kysymykseen
Tyhjä	Tyhjä vastaus
Muut	Yksittäiset vastaukset, joille ei perusteta omia vastausluokkia

5.4.3 Avoimet kysymykset

Avoimet kysymykset 2-4 luokitellaan edellä mainittuihin luokkiin. Näiden kysymysten vastausluokat ja niiden prosenttiosuudet ovat taulukossa IV. Viimeisten kysymysten vastaukset käydään yleisellä tasolla lävitse, jotta saadaan selville mahdolliset jatkokehitystoimenpiteet.

Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?

Palkkikaavio 8 esittää uusien opiskelijoiden palautteen vastausluokkien prosenttiosuudet kysymykseen ”Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?”.

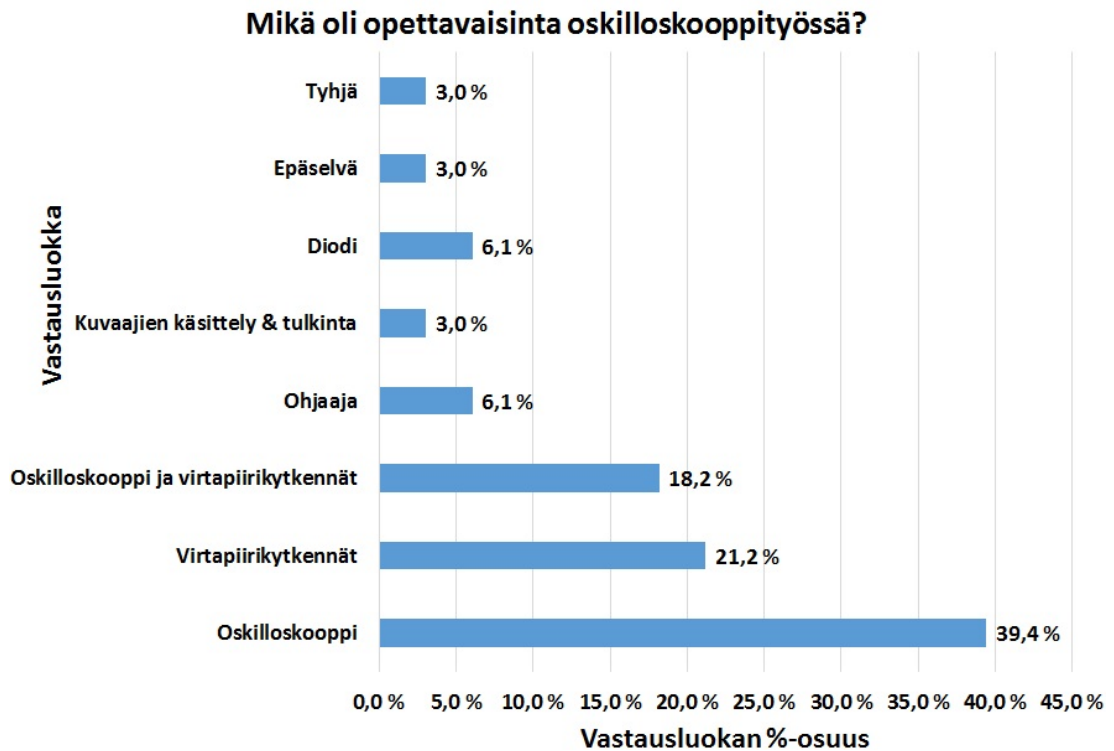
Vastausluokkaan *Oskilloskooppi* luokitellaan vastaukset, jotka selkeästi koskevat pelkästään oskilloskoopin käyttöä kuten esimerkiksi: ”*Oskilloskoopin asetusten valinta*” ja ”*Oskilloskoopin eri toimintojen hyödyntäminen*”. Vastaavasti vastausluokassa *Virtapiirikytkennät* on ne vastaukset, jotka selvästi koskevat pelkästään virtapiirikytkentöjen tekemistä ja niiden tulkitsemista: ”*kytkennät*” ja ”*Opettavisinta oli se, että pääsi toteuttamaan kytkentäkaavioita aidossa tilanteessa*”.

Suurin osa vastauksista on luokissa *Oskilloskooppi* (39,4 %), *Virtapiirikytkennät* (21,2 %) ja *Oskilloskooppi ja virtapiirikytkennät* (18,2 %). Opettavisinta on ollut uuden mittalaitteen eli oskilloskoopin käyttö sekä konkreettinen tekeminen kuten virtapiirien rakentaminen. Nämä vastaukset kertovat saman kuin aikaisempi Likertasteikko. Tuloksien mukaan enemmistö opiskelijoista kokee, että he ovat oppineet käyttämään oskilloskooppia ja ovat saavuttaneet työn oppimistavoitteet, joihin kuuluu oskilloskoopin käyttö.

Seuraavaksi suurimmat vastausluokat ovat *Diodi* ja *Ohjaaja*, joiden vastausluokan suuruus on kummallakin 6,1 %. Vastausluokassa *Diodi* on vastaukset, jotka koskevat diodeja yleisesti kuten esimerkiksi: ”*Diodit ja niiden ominaisuudet ja niiden hyödyntäminen*”. Vastausluokkaan *Ohjaaja* luokitellaan ne vastaukset, jotka koskevat harjoitustyöosaston ohjaajaa. Tällainen vastaus on esimerkiksi: *Ohjaajan neuvot/opetukset*. Laboratorion ohjaajalla ja hänen selityksillään on merkitystä opiske-

Taulukko IV. Uusien opiskelijoiden avointen kysymyksien (kysymykset 2-4) vastausluokat sekä niitä vastaavat prosenttiosuudet. N=33

N=33	Avoim kysymys ja sen vastausluokan %-osuus		
Vastausluokka	Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?	Mikä oli helpointa?	Mikä oli vaikeinta?
Oskilloskooppi	39,4	3,0	27,3
Virtapiirikytkennät	21,2	42,4	6,1
Oskilloskooppi ja virtapiirikytkennät	18,2	0,0	0,0
Yleismittari	0,0	15,2	0,0
Ohjaaja	6,1	0,0	0,0
Kuvaajien käsittely & tulkinta	3,0	12,1	9,1
Diodi	6,1	0,0	9,1
Vaihtojännite	0,0	0,0	3,0
Vaihe-ero	0,0	0,0	3,0
Tasasuuntaus	0,0	0,0	9,1
Työohje	0,0	0,0	9,1
Tehtävät	0,0	12,1	6,1
Ensimmäiset tehtävät	0,0	9,1	0,0
Ei ehdotuksia	0,0	0,0	9,1
Epäselvä	3,0	6,1	0,0
Tyhjä	3,0	0,0	3,0
Muut	0,0	0,0	6,1



Kuva 8. Avoimen kysymyksen ”Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä?” vastausluokkien prosenttiosuudet. N=33

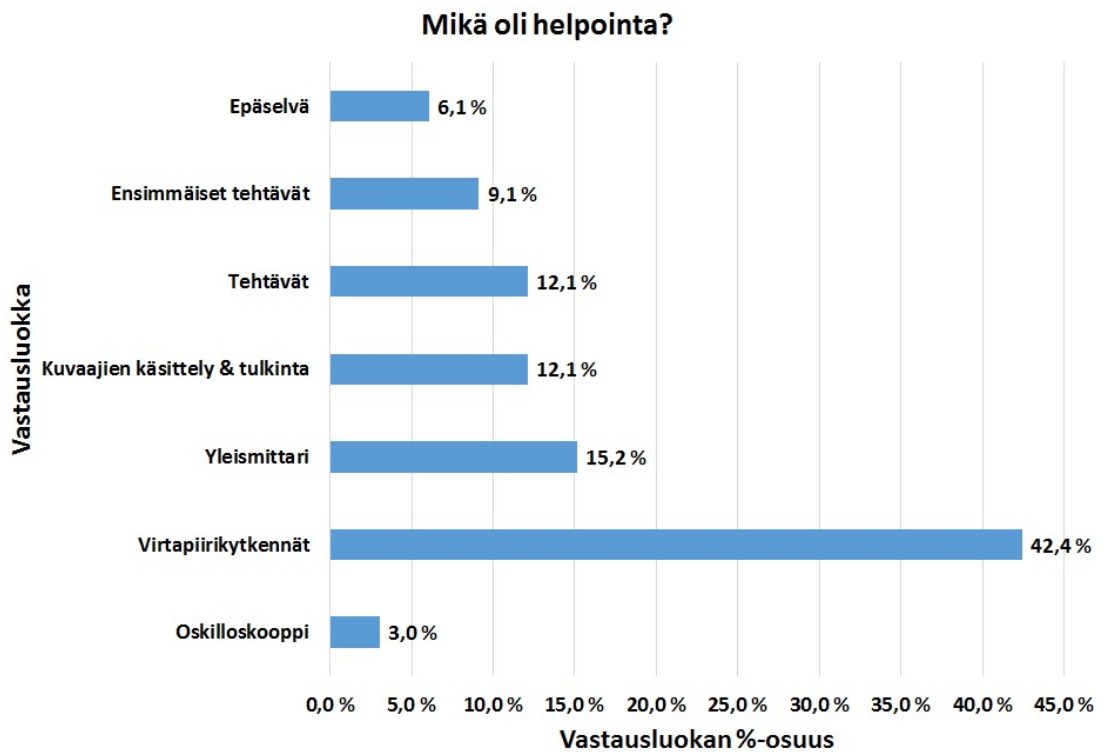
lijoiden kokemukseen laboratoriotyöskentelyyn, kuten aikaisemmin mainittiin [20].

Mikä oli helpointa?

Palkkikaavio 9 esittää uusien opiskelijoiden vastaluokkien prosenttiosuuksia kysymykseen ”Mikä oli helpointa?”. Vastaukset luokiteltiin seitsemään erilaiseen luokkaan.

Suurin vastausluokka on *Virtapiirikytkennät* 42,4 %-osuudella. Tällaisia vastauksia ovat esimerkiksi ”*kytkennät*” ja ”*Virtapiirien rakentaminen*”. Seuraavaksi suurin vastausluokka on *Yleismittari*, joka vastaa 15,2 %. Tässä luokassa ovat vastaukset, jotka koskivat yleismittarin käyttöä yleisellä tasolla. Esimerkiksi vastaus ”*Yleismittarin käyttö.*” kuuluu tähän luokkaan.

Suurimmat vastausluokat koostuvat asioista, joiden pitäisi olla tuttuja lukion fysiikan kurseista, eli konkreettinen virtapiirien rakentaminen ja virtapiiristä perussuureiden mittaaminen [22, 23]. Koska näitä asioita on harjoiteltu aikaisemmin,



Kuva 9. Avoimen kysymyksen ”Mikä oli helpointa?” vastausluokkien prosenttiosuudet. N=33

tuntuvat ne nyt myös helpolta. Näistä tuloksista nähdään sama asia, kuin Likert-kyselyssä. Suurin osa opiskelijoista kokee saavuttaneensa oppimistavoitteet, joihin kuuluu muun muassa yksinkertaisten virtapiirikytkentöjen rakentaminen sekä yleismittarin käyttö.

Vastausluokkaan *Kuvaajien käsittely & tulkinta* kuuluu 12,1 % vastauksista. Tähän luokkaan kuuluvat vastaukset, jotka koskevat oskilloskoopilla aikaansaatu- jen kuvaajien tulkintaa ja tulostamista. Tällaisia vastauksia ovat esimerkiksi ”*Kuvaajien lukeminen*” ja ”*Kuvaajien tulostaminen ja tulkinta*”.

Seuraavaksi suurimmat vastausluokat ovat *Tehtävät* (12,1 %) ja *Ensimmäiset tehtävät* (9,1 %). Vastausluokkaan *Tehtävät* kuuluvat vastaukset, jotka koskevat tehtäviä tai laskuja yleisesti, eikä niitä voi kategorisoida työohjeen tiettyyn osaan. Esimerkiksi vastaukset ”*Laskut*” ja ”*Laskut olivat helppoja verrattuna muihin harjoitustöihin*” kuuluvat tähän vastausluokkaan. Vastausluokkaan *Ensimmäiset tehtävät*

kuuluvat vastaukset, jotka koskevat työhöjään ensimmäisiä tehtäviä niin yleisellä tasolla, että niitä ei voi kategorisoida tarkemmin. Tällaisia vastauksia ovat esimerkiksi ”*ensimmäiset tehtävät*” ja ”*Kokeet liittyen kolmeen ensimmäiseen kytkentään.*”.

Laskutehtävät ovat tehtäviä, joissa voi esiintyä suurta kognitiivista kuormaa, joka vaikuttaa epäsuotuisasti tehtävän suorittamiseen ja siitä oppimiseen [2, 36]. Noin viidesosa vastaajista on ainakin jokseenkin sitä mieltä, että helpointa harjoitustyössä on ollut ainakin osa tehtävistä. Tämä kertoo siitä, että tehtävien olennainen tai epäolennainen kognitiivinen kuorma ei ole liian suuri. Tämä mahdollistaa suuremman mahdollisuuden oppia, kun työmuisti ei kuormitu liikaa [36].

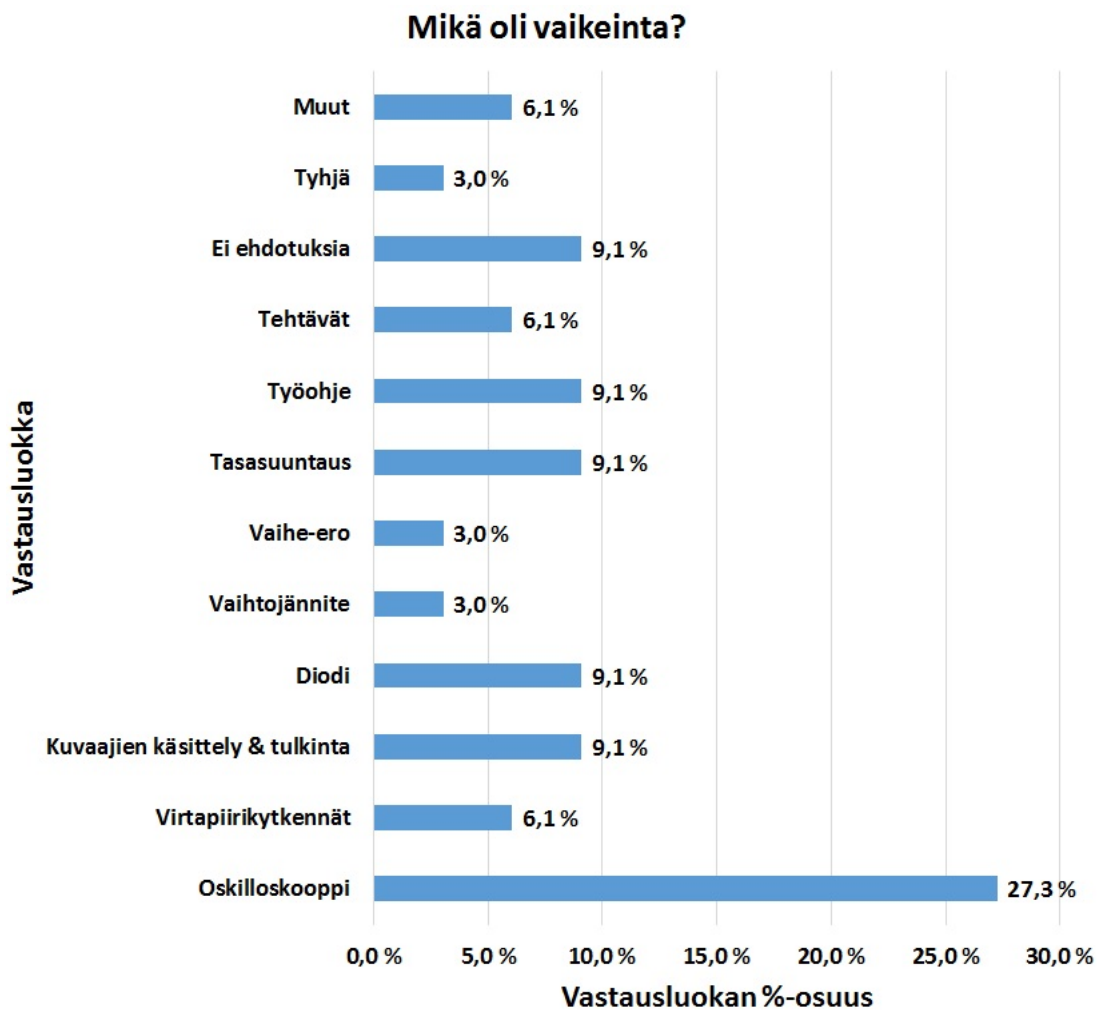
Ainoastaan 3,0 % vastauksista kuuluu vastausluokkaan *Oskilloskooppi*. Ottaen huomioon, että suurin osa opiskelijoista on ainakin jokseenkin samaa mieltä väitteen ”Opin käyttämään oskilloskooppia” kanssa, on tässä vastausluokassa vastauksia vähän. Tämä kertoo siitä, että oskilloskoopin käyttö ei ole ollut liian helppoa ja harjoitustyötä tehdessä kognitiivinen kuorma on pysynyt kohtuullisella tasolla. Tällöin työmuistissa on ollut tilaa asiaankuuluvalla kognitiiviselle kuormalle, jolloin tapahtuu erilaisia oppimisprosesseja.

Loput vastauksista (6,1 %) kuuluvat vastausluokkaan *Epäselvä*, johon kuuluvat vastaukset ”*Tehtävän hahmottaminen ja itse mittaaminen*” sekä ”*Koimme työn melko yksinkertaiseksi, koska työhöjeet olivat todella selkeät, eikä jäänyt paljon satuman varaa*”. Näistä vastauksista ei voi päätellä mikä tehtävä on kyseessä ja ”mittaaminen” on todella laaja yläkäsite. Jälkimmäinen vastaus ei vastaa kysymykseen suoraan.

Mikä oli vaikeinta?

Kuva 10 esittää vastausluokkien prosenttiosuuksia kysymykseen ”Mikä oli vaikeinta oskilloskooppityössä?”. Vastaukset on luokiteltu 12 erilaiseen vastausluokkaan.

Suurin vastausluokka on *Oskilloskooppi* 27,3 %. Harjoitustyö koostuu suurim-



Kuva 10. Avoin kysymyksen ”Mikä oli vaikeinta?” vastausluokkien prosenttiosuudet. N=33

maksi osaksi oskilloskoopin käytöstä ja sen soveltamisesta erilaisiin tilanteisiin. Koska oskilloskooppi on monelle opiskelijalle uusi mittalaite, on ymmärrettävää, että sen käyttö koetaan vaikeaksi. Kuitenkin yli 90 % Likert-kyselyn vastauksista ovat väittämän ”Opin käyttämään oskilloskooppia” kanssa jokseenkin tai täysin samaa mieltä. Vaikka oskilloskooppia pidetään vaikeimpana asiana harjoitustyössä, opiskelijat kokevat, että he ovat oppineet käyttämään oskilloskooppia. Tämä kertoo siitä, että olennainen kognitiivinen kuorma ei ole liian suuri. Opiskelijoiden työmuisti ei kuormitu liikaa ja oppimisprosessit eivät haittaannu [31].

Toiseksi suurimmat vastausluokat ovat *Työohje*, *Diodi*, *Kuvaajien käsittely* &

tulkinta, Tasasuuntaus ja *Ei ehdotuksia*, joista jokaisen osuus on 9,1 %. Vastausluokkaan *Työohje* kuuluvat vastaukset, jotka koskevat yleisellä tasolla työohjetta. Näitä vastauksia ei voi luokitella mihinkään työn tiettyyn kokeeseen. Tällaisia vastauksia on esimerkiksi ”*Työohjeen tulkitseminen*”. Myös vastausluokan *Kuvaajien käsittely & ja tulkinta* kaikki vastaukset ovat erittäin yleisiä, eikä niistä voi päätellä tarkempaa työohjeen kohtaa. Tällaisia vastauksia ovat esimerkiksi: ”*kuvaajien tulkitseminen*”. Vastausluokan *Ei ehdotuksia* vastaukset koostuvat niistä palautteista, joiden mukaan mikään asia ei korostuneesti ollut vaikein. Esimerkiksi vastaus ”*ei mikään*” kuuluu tähän vastausluokkaan. Näiden vastausluokkien vastaukset eivät anna hyödyllistä informaatiota jatkotoimenpiteitä varten.

Vastausluokan *Diodi* vastauksista kaksi koski työselostuksen kysymystä ”Minkä takia tulostettu kuvaaja on ylösalaisin?” ja yksi vastaus kynnysjännitteen määrittämistä. Esimerkkivastaus tästä luokasta on ”- *miksi kuvaaja oli väärinpäin kokeessa-*”. Saadusta palautteesta eri työn vaiheista tämä kohta on korostunein. Jotta opiskelija voi ymmärtää, miksi kuvaaja on väärinpäin kokeessa, hänen tulee olla ymmärtänyt potentiaalilin käsite syvällisesti sekä oskilloskoopin mittausperiaate. Koska opiskelijalle voi olla ensimmäinen kerta, kun hän käyttää oskilloskooppia, on jälkimmäisen kohdan ymmärtäminen haastavaa, mikä vaikeuttaa kysymykseen vastaamista.

Vastausluokkaan *Tasasuuntaus* kuuluvat ne vastaukset, jotka koskevat tasasuuntausta. Tällaisia vastauksia ovat esimerkiksi ”*tasasuuntaussilta*” ja ”*Tasasuuntauksen toiminnan ymmärrys tasasuuntaajassa*”. Näiden vastauksien perusteella haastava kohta kyseisessä osassa on tasasuuntaussillan toiminnan ymmärtäminen. Voi olla, että haastavinta tässä osiossa on hahmotella sähkövirran kulku tasasuuntaussillan lävitse, sillä muuten kyseinen työosa on samankaltainen kuin aikaisemmat. Opiskelijoiden tarvitsee tehdä kytkentä, noudattaa ohjeita, tulkita kuvaajaa ja vastata kysymyksiin. Sähkövirran kulun hahmotteleminen neljän diodin lävitse kuitenkin vaatii vaihtovirran ymmärtämistä ja sen soveltamista potentiaalilin käsitteeseen [3].

Vastauksista 6,1 % kuuluvat luokkiin *Muut* ja *Tehtävät*. Luokkaan *Muut* kuuluvat vastaukset, jotka eivät sopineet muihin vastausluokkiin. Tällainen vastaus on esimerkiksi ”*teoria*”. Vastausluokkiin *Vaihe-ero* ja *Vaihtojännite* kuuluu kumpaankin yksi vastaus, eli 3,0 %. Näihin luokitellut vastaukset ovat annettu erittäin yleisellä tasolla.

Mitkä kohdat työohjeessa tai selostuspohjassa pitäisi esittää eri tavalla?

Miten?

Vastaaajista 27,3 % eivät antaneet muutosehdotuksia. Tällaisia palautteita ovat esimerkiksi ”*työ oli hyvä*” ja ”*Ei tule mitään mieleen, kaikki oli suht.koht. selkeästi ja helposti ymmärrettävissä.*”. Nämä vastaajat ovat tyytyväisiä työohjeeseen. Kuitenkin 6,1 % vastaajista on sitä mieltä, että työohje kaipaa parannusta yleisellä tasolla. Tällainen palaute on esimerkiksi ”*Yleisesti tarkemmin ja selkeämmin*”.

Eniten muutosehdotuksia saivat työohjeen kokeet 4 ja 7 sekä diodin kynnysjännitteen määrittäminen (9,1 %). Ensimmäisen kohdan palautteen antajien mukaan työohjeeseen tulee lisätä erikseen kohta, jossa mainitaan, että maadoitusjohdon tulee olla kytkettynä: ”*Ohjeesta puuttui kokeiden 4 ja 7 kohdalla tieto, että maadoitusjohto pidetään koko ajan kytkettynä.*”.

Diodin kynnysjännitteen määrittämiseen opiskelijat kaipaavat täsmällisempää ohjeistusta. Tähän liittyviä palautteita ovat esimerkiksi ”*Diodin kynnysjännitettä määritettäessä pitäisi mainita, ettei nollakohtaa saisi muuttaa*” sekä ”*Työohjeessa ei selitetty kynnysjännitteen määrittämisestä (ja sen epämääräisyyttä).*”. Työohjeessa kynnysjännitteen määrittämistä varten on annettu kuva, jonka avulla pitäisi pystyä määrittelemään kynnysjännite. Tämä on myös selitetty sanallisesti välittömästi kuvan alapuolella ”*Jännitteen arvoa, jolla sähkövirta alkaa kulkemaan diodin lävitse, kutsutaan kynnysjännitteeksi U_f* ”. Kynnysjännitteen lukeminen saadusta kuvaajasta voi olla haastavaa, koska se jännitteen arvo, jolla diodi alkaa johtamaan sähkövirtaa, voidaan tulkita useammasta kohtaa kuvaajaa.

Yksittäiset palautteet koskevat seuraavia asioita: Vaihe-eroon halutaan esimerkiksi, yleismittarin käyttöön täsmällisemmät ohjeet, täsmällisyyttä käsitteissä (tasasuuntaussilta vs. kokoaaltosuuntaaja) ja selkeytystä ensimmäisiin työohjeen sivuihin. Lisäksi muutaman opiskelijan palautteessa toivotaan, että työohjeen ja selostuspohjan otsikkojen numeroinnit vastaisivat täysin toisiaan.

Vapaa palaute

Viimeisen avoimen kysymyksen vastauksista 42,4 % ovat positiivisia. Positiiviset palautteet koskevat työohjeen selkeyttä, monipuolista tekemistä sekä työn sopivaa haastavuutta: ”*Työ oli pääosin selkeä, ja täytti asetetut tavoitteet*” ja ”*Olisi hyvä jos muidenkin harjoitustöiden ohjeet olisivat yhtä selkeitä,*”. Positiivinen palaute voi johtua siitä, että työohjeiden selvyys on eräs asia, jonka opiskelijat toivovat olevan kunnossa [20].

Lopuista vastauksista korostuu myös se, että opiskelijat pitävät harjoitustyötä työläänä tai pitkänä (18,2 %). Työn pituus vaikuttaa turhauttavan osaa opiskelijoista: ”*Työ on turhan pitkä*”. Vastauksissa korostuu myös se, että opiskelijoita turhauttaa virtapiirikytkentöjen tarkistuttaminen ”*ihan rento työ, huono vaan sen takia, että aikaa kului odotellessa kytkennän varmistamista. Jos työkerralla monta tekijää niin joutuu odottamaan paljon.*”.

Vaikka yksittäisen kokeen aiheuttama kognitiivinen kuorma ei ole suuri, niiden suuren lukumäärän vuoksi oppimisprosessi voi olla raskas [32]. Eräs tapa vähentää harjoitustyön työläyttä olisi vähentää kokeiden lukumäärää harjoitustyössä. Jos samaan aikaan työskentelee useita muita opiskelijoita, voi odottelua olla enemmän, sillä harjoitustyöosastolla on aina vain yksi ohjaaja paikalla.

5.5 Opiskelijoiden kokemuksien vertailua

Likert-asteikon mukaan uusille ja vanhoille opiskelijoille yhteistä on se, että vastaajista yli puolet ainakin osittain kokee saavuttaneensa harjoitustyön tavoitteet, työn

lisänneen kiinnostusta sähköoppia kohtaan, oppineensa käyttämään oskilloskooppia sekä työohjeiden olleen selkeitä. Avoimessa palautteessa korostuu se, että opiskelijat pitävät siitä, kun he pääsevät tekemään useita erilaisia virtapiirikytkentöjä. Yhteistä on myös se, että opiskelijat pitävät helpoimpana harjoitustyössä virtapiirikytkentöjen tekemistä sekä yleismittarilla mittaamista, mikä selittyy opetussuunnitelman tavoitteista ja keskeisistä sisällöistä [23]. Opiskelijat ovat aikaisemmin tutkineet yksinkertaisia virtapiirejä ja mitanneet niitä.

Vanhoista opiskelijoista enemmistö kokee ennakkotehtävien ainakin osittain auttaneen harjoitustyön suorittamisessa, kun taas uusien opiskelijoiden kohdalla näiden vastauksien osuus on vähän alle puolet (48,5 %). Vanhoilla opiskelijoilla ja uusilla opiskelijoilla on ollut erilaiset ennakkotehtävät. Vanhat opiskelijat ovat vastanneet ainoastaan työohjeen ennakkotehtäviin. Uudet opiskelijat ovat vastanneet työohjeen ennakkotehtäviin sekä lisäksi ViLLE-oppimisympäristössä oleviin ennakkokysymyksiin, jotka olivat monivalintoja. Näillä monivalintakysymyksillä näyttää olevan negatiivinen vaikutus opiskelijoiden kokemuksiin ennakkotehtävien hyödyllisyydestä.

Uusista opiskelijoista yhteensä 45,5 % kokee työn ainakin jokseenkin haastavaksi, kun taas vanhoista opiskelijoista 20 % kokee harjoitustyön jokseenkin haastavaksi. Erot voivat johtua siitä, että vanhemmat opiskelijat ovat tottuneet ja tehneet enemmän harjoitustöitä. Heidän työmuistinsa ei kuormitu uudesta työskentelyympäristöstä ja heillä on enemmän tietotaitoa kuin uusilla opiskelijoilla. Tämän lisäksi he ovat mahdollisesti suorittaneet muita fysiikan harjoitustöitä, joissa käsitellään oskilloskooppia eli heidän kuulukin tietää enemmän sen käytöstä. Harjoitustyön suorittaminen on ongelmanratkaisua ja noviisien työmuisti kuormittuu enemmän ongelmanratkaisussa kuin eksperttien [31].

Avoimen palautteen mukaan eniten vaikeuksia ja epäselvyyksiä aiheuttaa työn osa 1.4 Puolijohdediodin kynnysjännitteen määrittäminen. Sekä vanhemmat, että nuoremmat opiskelijat pitävät kysymystä ”Minkä takia tulostettu kuvaaja on ylös-

alaisin?” haastavimpana. Jotta kyseiseen kysymykseen voi vastata, opiskelijoiden tulee ymmärtää miten oskilloskoopin eri kanavien paikat ja maadoituspistoke vaikuttavat syntyvään kuvaajaan. Lisäksi tulee ymmärtää potentiaalın käsite. Vanhemmat opiskelijat ovat todennäköisesti käyttäneet oskilloskooppia enemmän kuin nuoremmat opiskelijat ja opiskelleet enemmän fysiikkaa. Kuitenkin heilläkin on ongelmia kyseisen tehtävän kanssa, mikä kertoo siitä, että kyseisen tehtävän voi tehdä vielä selvemmäksi.

6 Pohdinnat

Tässä tutkielmassa on sovellettu kognitiivista kuormitusteoriaa Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksen harjoitustyöhön, jossa harjoitellaan oskilloskoopin käyttöä. Vanhan harjoitustyön epäolennaista kognitiivista kuormaa vähennettiin useilla teorian ehdottamilla tavoilla kuten hajaantuneen tarkkaavaisuuden minimoinnilla ja keino-päämäärä-analyysin vähentämisellä. Uusitusta harjoitustyöstä kerättiin palautetta vanhoilta ja uusilta opiskelijoilta tarkoituksena selvittää minkälaiseksi he kokivat uudistetun harjoitustyön ja verrata uusien opiskelijoiden kokemuksia harjoitustyöstä vanhojen opiskelijoiden kokemuksiin.

Ensimmäisen version mukaisen harjoitustyön suorittivat vanhemmat fysiikan opiskelijat ja heidän palautteensa pohjalta kehitettiin oskilloskooppityön lopullinen versio. Harjoitustyöhöhen lopullinen versio otettiin käyttöön 2018 syksyllä Turun yliopiston fysiikan ja tähtitieteen laitoksella. Ensimmäisen vuoden opiskelijat antoivat palautetta uudistetusta harjoitustyöstä samalla lomakkeella kuin vanhat opiskelijat. Uusien opiskelijoiden palaute analysoitiin ja luokiteltiin erilaisiin vastausluokkiin.

Vanhassa harjoitustyössä oli paljon epäolennaista kognitiivista kuormaa ja eniten esiintyi jakaantunutta huomioita. Uudessa työohjeessa tekstiä jaettiin kappaleisiin, uusittiin kuvat, numeroitiin eri tehtävien vaiheet, jätettiin pois puoliaalto-suuntaus sekä uudistettiin kokoaaltosuuntaus vanhaan työhön verrattuna. Näiden

lisäksi haastavien ongelmanratkaisutehtävien lukumäärää vähennettiin ja jo olemassa oleviin tehtäviin lisättiin välivaiheita sekä yksityiskohtaisempia ohjeita. Kaikkea epäolennaista kognitiivista kuormaa ei voi välttää, sillä se on välttämätöntä harjoitustyön suorittamiselle. Esimerkiksi harjoitustyöohjeen ja oskilloskoopin seuraaminen yhtäaikaisesti lisää hajaantunutta tarkkaavaisuutta, mutta ilman sitä harjoitustyötä ei voi suorittaa.

Enemmistö vanhoista ja uusista opiskelijoista koki saavuttaneensa uudistetun työn oppimistavoitteet ja pitivät työohjetta selkeänä. He myös kokivat oppineensa käyttämään oskilloskooppia sekä kiinnostuksensa lisääntyneen sähköoppia kohtaan harjoitustyön myötä. Vaikka uudet opiskelijat pitivät oskilloskooppia harjoitustyön vaikeimpana asiana, he kokivat oppineensa siitä eniten. Harjoitustyön epäolennainen kognitiivinen kuorma ei voi täten olla kovin suuri. Työmuisti ei kuormitu liikaa, jolloin erilaisille oppimisprosesseille jää tilaa. Toisaalta tässä tutkielmassa ei tutkittu mitä on opittu vaan mitä opiskelijat itse kokevat.

Uudet sekä vanhat opiskelijat pitivät helpoimpana osiona harjoitustyössä erilaisen virtapiirikytkentöjen tekemistä sekä yleismittarin käyttöä. Avoimesta palautteesta kävi ilmi, että opiskelijat tykkäävät tehdä useita pienempiä kytkentöjä ohjeiden mukaan. Edellä mainittuja osioita harjoitellaan jo lukiossa, joten on ymmärrettävää, miksi ne koetaan helpoimmaksi.

Vanhat opiskelijat kokivat ennakkotehtävien auttaneen enemmän harjoitustyön tekemistä kuin nuoret opiskelijat. Syy tähän voi johtua siitä, että uusilla opiskelijoilla oli harjoitustyön selostuspohjan ennakkotehtävien lisäksi ViLLE-järjestelmän ennakkokysymyksiä. Nämä kysymykset voivat olla sekoittavia tai liian haastavia harjoitustyön suorittamisen kannalta. Toinen syy voi olla, että vanhemmat opiskelijat pystyvät sisäistämään ennakkotehtävien informaation paremmin kuin uudet opiskelijat johtuen vanhojen opiskelijoiden aikaisemmista kokemuksista harjoitustöissä.

Muutaman uuden opiskelijan mukaan opettavaisinta harjoitustyössä oli paikalla

olleen ohjaajan selitykset. Harjoitustyölle on varattu neljä tuntia aikaa. Jos opiskelijoiden mielestä opettavaisinta tänä aikana on vuorovaikutus ohjaajan kanssa, korostaa se sitä, että ohjaajalla voi olla suuri merkitys oppimiskokemukseen. Tämä on samassa linjassa aikaisempien tutkimuksien kanssa.

Haastavin tehtävä työohjeessa oli puolijohdediodin kynnysjännitteen määrittäminen sekä sen kuvaajan tulkitseminen niin vanhojen kuin uusien opiskelijoiden mukaan. Vaikka kynnysjännitteen määrittäminen esitellään lukion ensimmäisellä sähköopin kurssilla, on kyseinen kohta opiskelijoille haastava. Diodi mainitaan lukion opetussuunnitelmassa, mutta sen kynnysjännitettä ei. Voi olla, että tämän vuoksi kyseistä käsitettä ei käydä kunnolla lukiossa lävitse, minkä takia sen ymmärtäminen harjoitustyössä on haastavaa. Oikea tulkinta kuvaajalle kyseisessä työssä vaatii potentiaalikäsitteen sekä oskilloskoopin mittausperiaatteiden ymmärtämistä. Vanhat opiskelijat ovat suorittaneet useita fysiikan kursseja sekä käyttäneet useammin oskilloskooppia. Jos heillä on vaikeuksia tehtävän kanssa, voi olla, että tehtävän kognitiivinen kuorma on vieläkin liian suuri.

Vanhemmille opiskelijoille pitäisi olla kehittynyt fyysikolle soveltuvia taitoja, kuten mittaustuloksien analysointia ja niiden kriittistä käsittelyä. Kuitenkin heistä vain yksi huomasi työn suorittamisen aikana, että harjoitustyössä mitatut teholliset jännitteet poikkesivat jännitelähteiden ilmoittamista arvoista merkittävästi. Tämä kertoo siitä, että oskilloskoopin peruskäyttö kuormittaa työmuistia sen verran, että tuloksia ei pohdita kriittisesti.

Monen opiskelijan mielestä harjoitustyö on työläs ja se vei paljon aikaa. Osaa heistä turhautti odottelu, että ohjaaja tarkistaa kytkennät. Vaikka yksittäisten töiden kognitiivinen kuorma on alhainen, voi silti opiskeltavan asian suuri määrä tehdä opiskelusta työlään. Kuitenkin melkein puolet uusista opiskelijoista antoi harjoitustyölle positiivista palautetta ja korosti harjoitustyöohjeiden selkeyttä vapaassa palautteessa. Uudistettu työohje ei sisällä merkittävästi epäolennaista kognitiivista kuormaa.

7 Korjauskehoitukset ja jatkotutkimusehdotukset

Saadun palautteen mukaan työohjeeseen tulee lisätä kokeisiin 4 ja 7 maininta, että maadoituspistokkeen tulee edelleen olla kytkettynä. Myös puolijohdediodin kynnysjännitteen määrittämistä tulee selventää. Tähän osioon voisi lisätä tarkemman selityksen siitä, miten kynnysjännitteen arvo määritetään saadusta käyrästä ja viitataan työohjeen kuvaan, jossa kynnysjännitteen paikka esitetään. Tätä ennen olisi hyvä mainita, että kynnysjännitteen määrittäminen kuvaaajasta ei ole yksiselitteistä.

Kognitiivista kuormitusteoriaa voi soveltaa myös muihin harjoitustöihin. Kyseinen teoria antaa selviä ohjeita siitä, minkälainen työohjeen tulee olla ja mitä pitää pyrkiä välttämään. Epäolennaisen kognitiivisen kuorman minimointi edesauttaa oppimista, mikä on harjoitustöiden eräs tavoite.

Tässä tutkielmassa työohje uudistettiin kognitiivisen kuormitusteorian perusteella ja kysyttiin opiskelijoiden kokemuksia muun muassa oppimisestaan. Jatkotutkimuksissa tulee selvittää, kuinka paljon opiskelijat ovat oikeasti oppineet oskilloskoopin käytöstä. Eräs tapa olisi verrata vanhan ja uuden työohjeen tehneitä opiskelijoita keskenään. Tämä voi olla haasteellista, sillä fysiikan ja tähtitieteen laitoksella on käytössä vain yksi työohje harjoitustyötä kohden. Harjoitustyökurssi, jossa olisi vanhoja ja uusia työohjeita tarjolla, voisi olla sekoittava opiskelijoita ja henkilökuntaa kohtaan.

Otoksien koot olivat tässä tutkielmassa melko pieniä. Tarkempaa analyysia varten otoksen kokoa voisi kasvattaa ja kerätä palautetta ympäri vuoden. Myös kyselylomaketta tulee muokata. Moni sanallinen palaute oli annettu niin yleisellä tasolla, ettei tällaista vastausta voinut luokitella mihinkään työohjeen kohtaan. Kun harjoitustyöstä kerätään palautetta avoimin kysymyksin, kysymyksien tulee olla yksiselitteisempiä kuten ”Mikä työohjeen työ oli kaikkein vaikein? Anna perusteltu yksi vastaus”.

Uudet ja vanhat opiskelijat ovat opiskelleet vanhan opetussuunnitelman mu-

kaisesti. Tulevina vuosina fysiikan ja tähtitieteen laitoksella opiskelunsa aloittavista yhä isompi osa on opiskellut uuden opetussuunnitelman mukaisesti. Vanhassa opetussuunnitelmassa on enemmän vaihtojännitteeseen ja oskilloskooppiin liittyvää teoriaa kuin uudessa opetussuunnitelmassa. Tulevina vuosina kyselyn voi toistaa ja selvittää, miten opetussuunnitelman vaihtuminen on vaikuttanut opiskelijoiden kokemuksiin oskilloskooppityöstä.

Viitteet

- [1] T. de Jong, *Instructional Science* **38**, 105 (2010).
- [2] J. Sweller, P. Ayres ja S. Kalyuga, *Cognitive Load Theory* (Springer Science+Business Media New York, 2011).
- [3] H. D. Young ja R. A. Freedman, *University Physics with Modern Physics*, 13th ed. (Pearson/Addison Wesley San Francisco, CA, 2013), pp. 1–2.
- [4] American Association of Physics Teachers, *AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum* (2014).
- [5] *Teaching Physics in Europe: Activities, Outcomes and Recommendations of the STEPS TWO Project*, toimittanut L. Tugulea, G. Jones ja J. Naudts (Ars Docendi Publishing House - University of Bucharest Bucharest, Romania, 2011), pp. 1–131.
- [6] Fysiikan harjoitustyöt IA, Opinto-opas [Viitattu 13.2.2019]
<https://opas.peppi.utu.fi/fi/opintojakso/FFYS5016/2382>.
- [7] Fysiikan harjoitustyöt, intranet [Viitattu 13.2.2019]
<https://intranet.utu.fi/fi/yksikot/sci/yksikot/fysiikka/opiskelu/harjoitustyot/Sivut/home.aspx>.
- [8] Fysikaalisten tieteiden tutkinto-ohjelma, Ajoituskaavio [Viitattu 13.2.2019]
<https://opas.peppi.utu.fi/fi/tutkinto-ohjelma/1640>.
- [9] D. C. Philips, *American Educational Research Association* **24**, 5 (1995).
- [10] B. J. Watkins ja E. Mazur, *Journal of College Teaching* (2013).
- [11] S. Nikolic, T. F. Suesse, T. J. McCarthy ja T. L. Goldfinch, *European Journal of Engineering Education* **42**, 1277 (2017).

- [12] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt ja M. P. Wenderoth, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**, 8410 (2014).
- [13] L. Springer, M. E. Stanne ja S. S. Donovan, *Review of Educational Research* **69**, 21 (1999).
- [14] S. Pulé, *International Journal of Electrical Engineering Education* **49**, 419 (2012).
- [15] T. Fuhrmann, R. Mandl ja M. Shamonin, *International Journal of Electrical Engineering Education* **52**, 287 (2015).
- [16] K. Pyatt ja R. Sims, *Journal of Science Education and Technology* **21**, 133 (2012).
- [17] P. Coppens, J. Van Den Bossche ja M. De Cock, *International Journal of Electrical Engineering Education* **53**, 124 (2016).
- [18] D. Hu, B. M. Zwickl, B. R. Wilcox ja H. J. Lewandowski, *Physical Review Physics Education Research* **13**, 1 (2017).
- [19] C. B. Russell ja G. Weaver, *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning* **2**, (2008).
- [20] C. Deacon ja A. Hajek, *International Journal of Science Education* **33**, 943 (2011).
- [21] Tilastokeskus, Suomen virallinen tilasto (SVT): Koulutukseen hakeutuminen 2017 [Viitattu 13.2.2019] https://www.stat.fi/til/khak/2017/khak_2017_2018-12-13_tie_001_fi.html.
- [22] Opetushallitus, *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015* (Opetushallitus, 2015), p. 279.

- [23] Opetushallitus, *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003* (Opetushallitus, 2003).
- [24] H. Lehto, J. Maalampi, R. Havukainen ja J. Leskinen, *Fysiikka 6 Sähkömagnetismi*, 10. ed. (Sanoma Pro Oy, Helsinki, 2017).
- [25] H. Lehto, J. Maalampi, R. Havukainen ja J. Leskinen, *Fysiikka 3 Sähkö*, 10.-12. ed. (Sanoma Pro Oy, Helsinki, 2017).
- [26] S. J. Hatakka Jukka, Saarni Heikki, *Physica 7 Sähkömagnetismi*, 4th ed. (Sanoma Pro Oy, 2013), p. 184.
- [27] J. Bernhard, Tools to see with - Investigating the role of experimental technologies for student learning in the laboratory, 2014.
- [28] J. Bernhard, A tool to see with or just something to manipulate? Investigating engineering students' use of oscilloscopes in the laboratory, 2015.
- [29] H. E. Tattje ja H. Vos, IEEE Transactions on Education **38**, 17 (1995).
- [30] P. Coppens, J. Van Den Bossche ja M. De Cock, Physical Review Physics Education Research **12**, 1 (2016).
- [31] J. Sweller, J. J. G. van Merriënboer ja F. G. W. C. Paas, Educational Psychology Review **10**, 251 (1998).
- [32] J. Sweller ja P. Chandler, Cognition and Instruction **12**, 185 (1994).
- [33] P. A. Kirschner ja K. Paul A, Learning and Instruction **12**, 1 (2002).
- [34] P. A. Kirschner, P. Ayres ja P. Chandler, Computers in Human Behavior **27**, 99 (2011).
- [35] S. Kalyuga ja A. M. Singh, Educational Psychology Review **28**, 831 (2016).

- [36] J. Sweller, *Cognitive Science* **12**, 257 (1988).
- [37] J. Sweller, *Learning and Instruction* **4**, 295 (1994).
- [38] D. F. Feldon, *Educational Psychologist* **42**, 123 (2007).
- [39] A. Korbach, R. Brünken ja B. Park, *Educational Psychology Review* **30**, 503 (2018).
- [40] B. Park, A. Korbach ja R. Bru, 515 (2017).
- [41] H. H. Choi, J. J. van Merriënboer ja F. Paas, *Educational Psychology Review* **26**, 225 (2014).
- [42] M. Florax ja R. Ploetzner, *Learning and Instruction* **20**, 216 (2010).
- [43] T. van Gog, L. Kester ja F. Paas, *Contemporary Educational Psychology* **36**, 212 (2011).
- [44] R. Moreno, *Learning and Instruction* **16**, 170 (2006).
- [45] T. Seufert, F. Wagner ja J. Westphal, *Instructional Science* **45**, 221 (2017).
- [46] R. E. Mayer, *Theory Into Practice* **41**, 226 (2002).

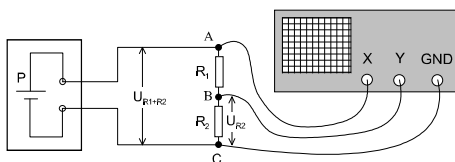
Liite 1: Vanha työohje

OSKILLOSKOOPPITYÖ

Oskilloskooppi on jännitettä mittaava laite. Työn ensimmäisessä osassa tutustutaan oskilloskoopin käyttöön xy-piirturina. Tällöin kytketään sekä vaaka- että pystypoikkeutuskanaviin jännite, joka jo sinänsä on tutkittava suure. Sopivia muunnoskomponentteja käyttäen saadaan monet ilmiöt muutettua jännitteiksi ja siten oskilloskoopilla näkyvään muotoon. Yksinkertaisin ja usein esiintyvä muunnoskomponentti on ohminen vastus. Sen avulla voidaan suorittaa jännite-virtamuunnos. Työn jälkimmäisessä osassa tutkitaan oskilloskoopilla aikapyyhkäisyä käyttäen ajan funktiona muuttuvaa signaalia - sinimuotoista jännitettä.

1 Oskilloskoopin xy-piirturina

1.1 Tasajännitteen (dc voltage) mittaustaus



Kuva 1: Kytkeä tasajännitteiden mittaamiseksi. P = paristo (1,5 V), R_1 = vastus (10 k Ω) ja R_2 = vastus (10 k Ω).

Tasajännitteen mittaustaus suoritetaan kuvan 1 osoittaman kytkennän avulla. Ennen jokaisesta mittaustaus origo asetetaan sopivaan kohtaan. Näytöllä näkyvä piste vastaa origoa silloin, kun kumpaankaan poikkeutuskanavaan ei tuoda jännitettä. Nollakohdan asettaminen suoritetaan säätimillä X-POSITION (tai \leftrightarrow) ja Y-POSITION (tai \updownarrow). Edellä olevia säätimiä kiertämällä huomataan, että nollapiste voidaan asettaa mihin kohtaan näytölle tahansa. Mitattaessa positiivisia jännitteitä sijoitetaan nollapiste alas vasemmalle. Negatiivisia jännitteitä mitattaessa se sijoitetaan ylös oikealle. Vaihtojännitteitä mitattaessa nollapiste sijoitetaan keskelle. Laitteen nollapistettä asetettaessa tulee poikkeutusjännitteiden arvon olla 0 V. Tämä toteutetaan irrottamalla johtimet oskilloskoopin tuloliittimis-

tä. Merkintä "GND" viittaa maapotentiaaliin, jonka voidaan ajatella olevan myös nollapotentiaali. Kaikissa mittauksissa kannattaa käyttää hyväksi koko näytön ala. Tarkempi herkkyyssäätö saadaan ottamalla näkyviin valikko CH1/CH2 ja muuttamalla Volts/Div: coarse \rightarrow fine. On syytä huomata, että johdinten resistanssi arvioidaan nolaksi laskuissa.

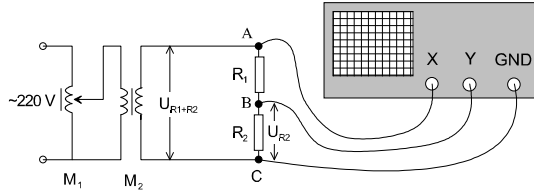
Koe 1. Yhdistetään piste A oskilloskoopin x-kanavaan (vaakapoikkeutuslevyille) ja C oskilloskoopin runkoon (maatospistokkeeseen). Tällöin on kyseessä pisteiden A ja C välisen potentiaalieron eli jännitteen (jännitehäviö vastuksissa $R_1 + R_2$) mittaustaus. Havaitaan pisteen siirtymä kuvapinnalla. Paikan herkkyyssäätimelle tulee valita sellainen asento, että pisteen poikkeama on mahdollisimman suuri. Lopullinen jännite $U_{R_1+R_2}$ saadaan selville poikkeaman ja poikkeutusherkkyyden avulla.

Koe 2. Irrotetaan piste A oskilloskoopista ja yhdistetään piste B y-kanavaan (C edelleen maattettu). Tällöin mitataan jännitettä pisteiden B ja C välillä eli jännitehäviötä vastuksissa R_2 . Jännitteen U_{R_2} arvo lasketaan pisteen siirtymän ja poikkeutusherkkyyden avulla.

Koe 3. Yhdistetään A x-kanavaan ja B y-kanavaan (C edelleen maattettu). Havaitaan pisteen siirtymäkohta. Piirretään saatu pisteen paikka koordinaatistoon.

1.2 Vaihtojännitteen (ac voltage) mittaustaus

Vaihtojännitteen mittaustaus suoritetaan kuvan 2 kytkentää käyttäen.



Kuva 2: Kytkentä vaihtojännitteiden mittaamiseksi. M_1 = säätömuuntaja (ulostulojännite 70 V), M_2 = muuntaja (70 V / 15 V), R_1 = vastus ja R_2 = vastus.

Vaihtelevaa vaihtojännitteen arvoa kutsutaan hetkellisarvoksi. Kun jännite tuodaan vain x- tai y-kanavalle, saadaan kuvapinnalle tietyn pituinen viiva, jonka päätepisteet vastaavat mitattavan signaalin positiivista ja negatiivista huippuarvoa. Vaihtojännitteen huippuarvo (maksimiarvo, amplitudi) vastaa positiivista huippuarvoa. Sinimuotoiselle vaihtojännitteelle pätee yhtälö:

$$U_0 = \sqrt{2}U, \quad (1)$$

missä U_0 on jännitteen huippuarvo ja U jännitteen tehollisarvo.

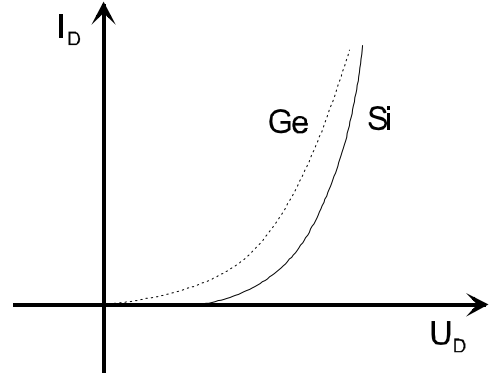
Koe 4. Yhdistetään piste A oskilloskoopin x-kanavaan ja C oskilloskoopin runkoon. Mitataan jännite pisteiden A ja C välillä eli jännitehäviö vastuksissa $R_1 + R_2$. Jännitteen tehollisarvo $U_{R_1+R_2}$ lasketaan kaavasta (1).

Koe 5. Irrotetaan A ja yhdistetään piste B y-kanavaan (C edelleen maatettu). Mitataan jännitehäviö vastuksessa R_2 . Lasketaan vaihtojännitteen tehollisarvo U_{R_2} .

Koe 6. Yhdistetään piste A x-kanavaan ja B y-kanavaan (C edelleen maatettu). Havaitaan saatu suora viiva, joka piirretään koordinaatistoon.

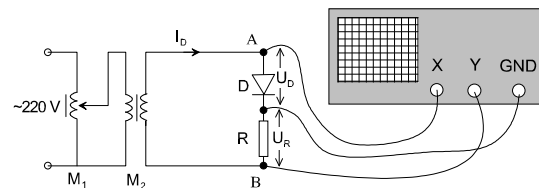
1.3 Puolijohdediodin ominaiskäyrä

Puolijohdediodin ominaiskäyrä määritetään kuvan 4 kytkennän avulla. Sen puolijakson ai-



Kuva 3: Pii- ja germaniumdiodien ominaiskäyrät.

kana, jolloin piste A on positiivinen pisteen B suhteen (A on korkeammassa potentiaalissa kuin B), kulkee diodin D ja vastuksen R kautta virta I_D . Diodin vastus on erilainen päästö- ja estosuunnassa, positiivisella jännitteellä vastus on pieni, kun taas negatiivisella jännitteellä suuri. Diodissa D syntyy jännitehäviö U_D , joka poikkeuttaa oskilloskoopin kuvapistettä oikealle eli vaakasuunnassa. Vastuksen R aiheuttama jännitehäviö $U_R = I_D R$ on verrannollinen virtaan I_D ja poikkeutus tapahtuu pystysuunnassa. Siten virran I_D kasvaessa jännitteen funktiona kuvapiste poikkeutuu oikealle ja alaspäin. Oskilloskoopin kuvapinnalle syntyy tavallisen diodin tapauksessa kuvan 3 mukainen käyrä. Tässä harjoitustyössä kuva on ylösalaisin (I_D -akseli osoittaa alaspäin). Origo vastaa näytöllä näkyvää pistettä, kun kumpikin poikkeutusjännite on 0.



Kuva 4: Kytkentä puolijohdediodin ominaiskäyrän määrittämiseksi.

Koe 7. Valitse sopivat poikkeutusherkkyydet. Tulosta printterillä yhden piidiodin ja yhden germaniumdiodin ominaiskäyrät. Muodosta virta-asteikko pystypoikkeutusherkkyyssluke-

man sekä vastuksen R resistanssin avulla ($U_R = I_D R \Rightarrow I_D = U_R/R$). Huomaa, että tulostusta varten on valittava oskilloskoopin DISPLAY -valikosta Persist 1 sec.

2 Oskilloskoopin aikapyyhkäisyn käyttöä

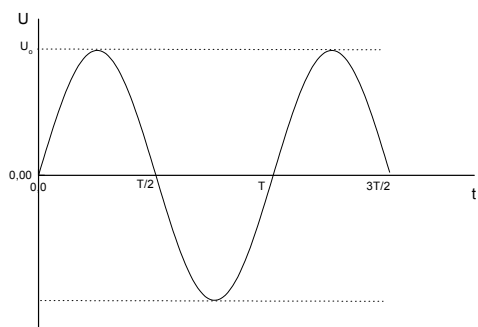
Seuraavassa tarkastellaan oskilloskoopilla jaksollisia ilmiöitä. Tällainen ilmiö on esim. generaattorin synnyttämä vaihtojännite.

2.1 Sinijännite

Tavallinen vaihtojännite on ajan sinimuotoinen funktio

$$U(t) = U_0 \sin(2\pi ft), \quad (2)$$

missä U_0 on U :n maksimiarvo ja f frekvenssi eli taajuus, joka on kääntäen verrannollinen jakson kesto-aikaan T . Kulmanopeuden ω ja frekvenssin f välillä on yhteys $\omega = 2\pi f$. Kun t kasvaa nolasta arvoon T , niin $2\pi ft$ kasvaa 2π :n verran. Tämä verrannollisuus on havaittavissa kuvassa 5, missä U on esitetty ajan t funktiona.



Kuva 5: Sinimuotoinen vaihtojännite.

Vaihtojännitteen suuruutta voidaan kuvata amplitudilla U_0 , mutta yleisempi tapa on ilmaista se rms-jännitteenä (rms = root mean square), ts. tehollisena jännitteenä (vrt. 1.2-kohdan vaihtojännitemittaus). Syy, miksi tällaiseen ilmaisutapaan on päädytty, on seuraava. Kuvan 6 piirissä olevassa vastuksessa R

hetkellinen jännite U aiheuttaa hetkellisen virran I ja tällöin syntyy hetkellinen tehohäviö P , joka on

$$P = UI = \frac{U^2}{R}. \quad (3)$$

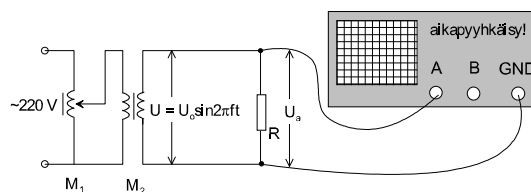
Kun jännite muuttuu ajan mukana, keskimääräinen teho P_{av} (= average power) on verrannollinen U^2 :n keskiarvoon U_{rms}^2 .

$$U_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt. \quad (4)$$

Kun jännite U on muotoa $U = U_0 \sin 2\pi ft$, niin saamme

$$U_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T U_0^2 \sin^2(2\pi ft) dt \right)^{1/2} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Koe 8. Kuvan 6 kytkentää apuna käyttäen havaitaan piirissä vaikuttava jännite. Poikkeutusherkyys valitaan sopivasti. Samoin pyyhkäisy nopeus esimerkiksi siten, että yksi jakso oskilloskoopilla on 10 cm. Tulosta sinijännite.



Kuva 6: Kytkentä sinimuotoisen vaihtojännitteen havaitsemiseksi.

Huom. Lähtöjännite pidetään samana kaikissa 2-osan mittauksissa.

2.2 Vaihe-ero

Tarkastellaan kuvan 7 mukaista kytkentää, jossa vaihtojännitelähteen lähtönapoihin on kytketty sarjaan vastus R ja kondensaattori C . Kondensaattorin vaihtojännite U_C , jonka maksimiarvo on U_{C0} ja taajuus f , on sinimuotoista. Siten

$$U_C(t) = U_{C0} \sin(2\pi ft). \quad (6)$$

Kondensaattorin ajasta riippuva varaus Q esitetään muodossa

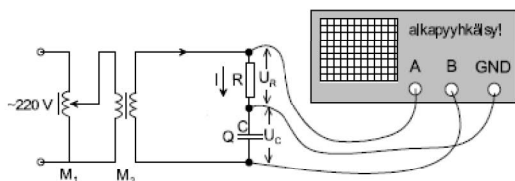
$$Q(t) = CU_{C0} \sin(2\pi ft), \quad (7)$$

missä C on kondensaattorin kapasitanssi.

Sähkövirta I piirissä on muotoa

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = 2\pi fCU_{C0} \cos(2\pi ft). \quad (8)$$

Kondensaattorin jännitteellä ja sähkövirralla on vaihe-ero, mikä nähdään siitä, että niiden aikariippuvuudet ovat erilaiset. Valitun matemaattisen esityksen vuoksi aika-akselin origo vastaa vastuksen jännitteen (ja siten sähkövirran) maksimiarvoa. Kuvan 7 kytkennällä näyttöltä määritetyn vaihe-eron etumerkki vaihdetaan halutun vaihe-eron määrittämiseksi.



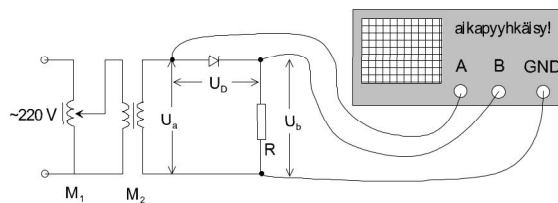
Kuva 7: Kytkentä vaihe-eron määrittämiseksi.

Koe 9. Kuvan 7 kytkennällä määritetään tuntemattoman kondensaattorin kapasitanssi. Ohjaaja määrää käytettävän vastuksen ja kondensaattorin. Tulosta vastuksen ja kondensaattorin jännitteet samassa kuvassa. Sähkövirta voidaan esittää vastuksen jännitteen avulla.

2.3 Tasasuuntaus

Puolijohdediodin ominaiskäyrästä (kohta 1.3) havaitaan, että diodi johtaa A:n ollessa positiivinen B:n suhteen. Tätä diodin ominaisuutta käytetään mm. vaihtojännitteen tasasuuntaukseen.

Kuvassa 8 on ns. puoliaaltotasasuuntauskytkentä. Sen puolijakson aikana, jolloin U_a on suurempi kuin U_b , diodi johtaa. Tällöin $U_b =$



Kuva 8: Puoliaaltotasasuuntauskytkentä.

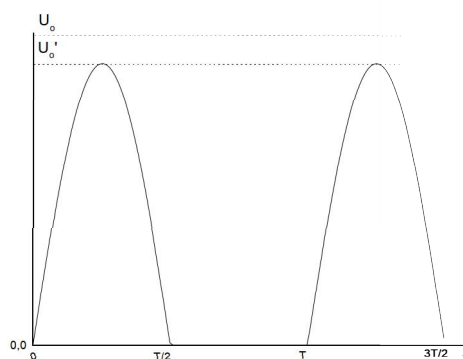
$U_a - U_D$, jossa U_D on diodin päästöjännite virralla U_b/R . Seuraavan puolijakson aikana tasasuuntauspiirissä kulkee diodin estosuuntainen vuotovirta, joka päästövirtaan verrattuna on mitättömän pieni. Koska virta on likimain 0, niin myös $U_b \approx 0$. Diodin jälkeen saatava jännite on kuvan 9 muotoista.

Piiristä saatavan jännitteen keskiarvo ei ole nolla, koska negatiivinen puolijakso on eliminoitu. Keskimääräinen arvo jännitteen positiiviselle osalle on

$$U_{av} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} U'_0 \sin 2\pi ft \, dt = \frac{2}{\pi} U'_0. \quad (9)$$

Negatiiviselle osalle se on nolla. Tällöin koko jaksolle on voimassa

$$U_{av} = \frac{U'_0}{\pi} = 0,318U'_0. \quad (10)$$

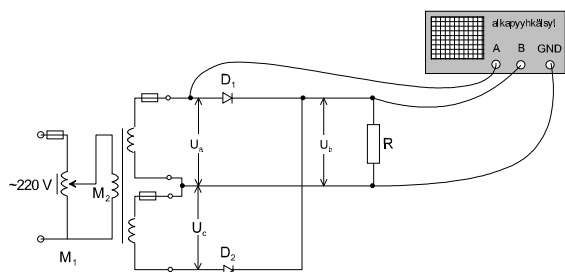


Kuva 9: Puoliaaltotasasuunnattu jännite.

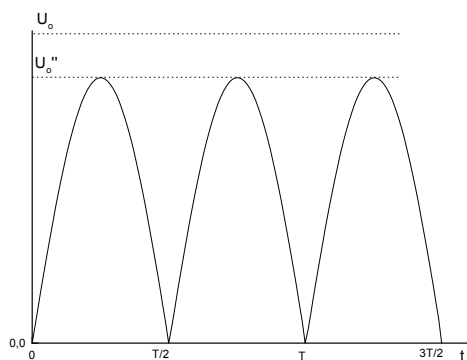
Koe 10. Sinikäyrä ja puoliaaltotasasuunnattu käyrä saadaan näkyviin samanaikaisesti. Tulosta jännitteet U_a ja U_b ajan funktiona samassa kuvassa. Laske U_{av} . Valitse poikkeutusherkkyys ja pyyhkäisy nopeus sopivasti. Lähtöjännite on sama kuin kokeessa 9.

Edellisen kohdan kytkentää täydennetään lisäämällä siihen toinen tulojännite ja toinen tasasuuntausdiodi. Tällöin saadaan kokoaaltotasasuuntauskytkentä (kuva 10). Kokoaaltotasasuuntaukseen voidaan käyttää kahdesta puoliaaltotasasuuntauspiiristä yhdistettyä kytkentää. Työssä havaitaan ensiksi jännitteet U_a ja U_b ja toiseksi U_a ja U_c , jota varten kytkentää muutetaan. Muutoksen jälkeen kytkentä on esitettävä uudelleen ohjaajalle. Tuloksena saadaan tasasuunnattu jännite, joka on esitetty kuvassa 11. Kokoaaltotasasuuntauksesta saatava keskimääräinen jännite on

$$U_{av} = \frac{2}{\pi} U_0'' \approx 0,637 U_0'' \quad (11)$$



Kuva 10: Kokoaaltotasasuuntauskytkentä.



Kuva 11: Kokoaaltotasasuunnattu jännite.

Koe 11. Tulosta jännitteet U_a , U_b ja U_c ajan funktiona samassa kuvassa. Saadaksesi U_b samanaikaisesti kuvaan U_a :n ja U_c :n kanssa, käytä oskilloskoopin SAVE/RECALL -valikosta kanavan 2 (jossa U_b on) tallennusta. Laske U_{av} .

Liite 2: Vanha selostuspohja

Nimi: _____

Tehty: ____ . ____ .20 ____

Fysiikan harjoitustyöt I/PK 1

Ohjaaja: _____

Oskilloskooppityö

Tässä työssä tutustuttiin oskilloskoopin käyttöön ja tavallisimpiin sillä tehtäviin mittaauksiin. Työn alkuosassa käytettiin oskilloskooppia XY-piirturina ja toisessa osassa tarkasteltiin aikapyyhkäisyä käyttäen ajan funktiona muuttuvaa signaalia.

Mikä oskilloskooppi on?

Miten mittaat virtaa oskilloskoopilla?

Mikä on diodin tärkein ominaisuus?

1 Oskilloskooppi XY-piirturina

Tässä osassa tutustuttiin tasajännitteen, vaihtojännitteen sekä vaihtovirran mittaamiseen oskilloskoopin XY-piirturimoodissa.

1.1 Kaavat ja suureet

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Taulukko 1: Työssä käytetyt suureet ja niiden yksiköt

Suure	Selitys	Yksikkö
U	tasajännite/vaihtojännitteen tehollisarvo	[V]
U_0	vaihtojännitteen amplitudi	[V]
I	sähkövirta	[A]
R	resistanssi	[Ω]

1.2 Tasajännitteen mittausta

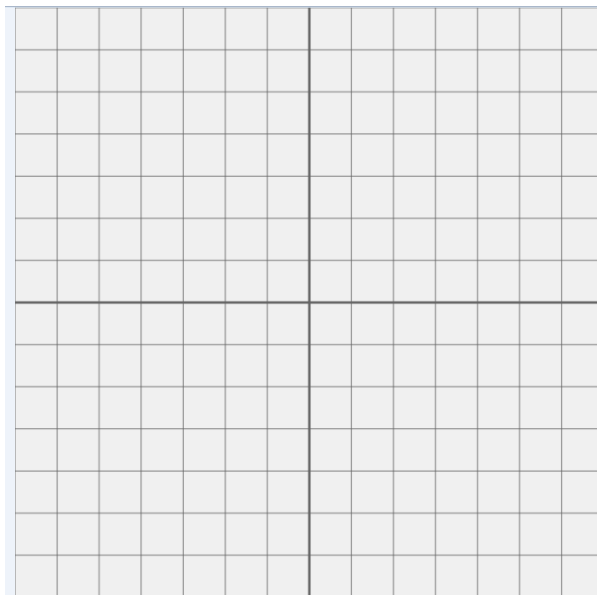
Kytkeä:

Havainnot:

	X-poikkeutus-herkkyys [V/cm]	Y-poikkeutus-herkkyys [V/cm]	Pisteen siirtymä [cm]	U [V]
Koe 1		_____		
Koe 2	_____			
Koe 3			_____	_____

Laskuesimerkki:

Kokeen 3 kuvaaja:



$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

1.3 Vaihtojännitteen mittaus

KytKentä:

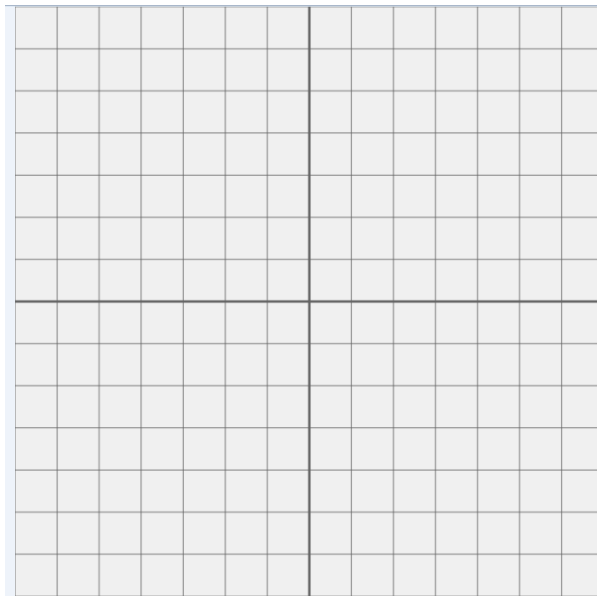
Miten mittaukset suoritettiin?

Havainnot:

	X-poikkeutus-herkkyys [V/cm]	Y-poikkeutus-herkkyys [V/cm]	U_0 [cm]	U [V]
Koe 1		_____		
Koe 2	_____			
Koe 3			_____	_____

Laskuesimerkki:

Kokeen 6 kuvaaja:



$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

1.4 Puolijohdediodin ominaiskäyrä

KytKentä:

Virta-asteikkojen muodostaminen:

Aseta alla pystypoikkeutusherkkyiden arvo kohtaan " $U[V/cm]$ ".

Si-diodi: $I=U[V/cm]/R[\Omega]=$ _____

Ge-diodi: $I=U[V/cm]/R[\Omega]=$ _____

Kuvaajasta arvioituna Si-diodissa virta alkaa kasvaa eksponentiaalisesti noin _____
voltage päästösuuntaisella jännitteellä ja Ge-diodissa noin _____ voltage jännitteellä.
Tulosta saamasi kuvaajat työselostuksen liitteiksi.

Si – diodi : _____

Ge – diodi : = _____

$R =$ _____

2 Oskilloskoopin aikapyyhkäisyn käytöstä

2.1 Kaavat ja suuret

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$I = 2\pi f C U_{C0} \cos(2\pi ft) \quad (3)$$

$$U_{av} = \frac{U'_0}{\pi} = 0,318U'_0 \quad (4)$$

$$U_{av} = \frac{2U''_0}{\pi} = 0,637U''_0 \quad (5)$$

Taulukko 2: Työssä käytetyt suuret ja niiden yksiköt

Suure	Selitys	Yksikkö
t	aika	[s]
U	tasajännite/vaihtojännite	[V]
U_0	vaihtojännitteen amplitudi	[V]
U'	puoliaaltotasasuunnattu jännite	[V]
U''	kokoaaltotasasuunnattu jännite	[V]
U_{av}	vaihtojännitteen keskiarvo	[V]
I	sähkövirta	[A]
f	taajuus	[Hz]
T	jaksonaika	[s]
ϕ	vaihe-ero	[rad]
R	resistanssi	[Ω]
C	kapasitanssi	[F]

2.2 Sinijännite

KytKentä:

Tulosta kuvaaja jännitteestä $U(t)$ ja merkitse siihen U_0 .

Pystypoikkeutusherkkyyys: _____ V/cm, pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

U_0 : _____ V.

R = _____ Ω .

2.3 Kapasitanssin ja vaihe-eron määrittäminen

Kytkeä:

Tulosta vastuksen ja kondensaattorin jännitteet samassa kuvassa.

Pystypoikkeutusherkkyys: _____ V/cm, pyyhkäisy nopeus: _____ ms/cm.

Taajuus f = _____.

Kondensaattorin _____ kapasitanssi:

$$I(t) = 2\pi f C U_{C0} \cos(2\pi f t)$$

$$U_{C0} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad R = \underline{\hspace{2cm}}$$
$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

Mikä on sähkövirran arvo silloin, kun kondensaattorin jännitteellä on maksimi- tai minimiarvo?:

Sähkövirta voidaan esittää muodossa

$$I(t) = 2\pi f C U_{C0} \sin(2\pi f t + \phi) = 2\pi f C U_{C0} \sin(2\pi f t + \frac{2\pi t t_v}{T})$$

missä t_v on aika, joka erottaa kondensaattorin jännitteen ja sähkövirran samat vaiheet (esim. vastaten maksimeja).

Mikä on vaihe-eron ϕ arvo?

Mikä on lähdejännitteen arvo silloin, kun kondensaattorin jännitteellä on maksimiarvo U_{C0} ?

2.4 Puoliaaltotasasuuntaus

KytKentä:

Tulosta kuvaaja jännitteistä U_a ja U_b ajan funktiona. Merkitse siihen U_0 ja U'_0 .

Pystypoikkeutusherkkyys: _____ V/cm, pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

$U'_0 =$ _____ V, $U_{av} =$ _____ V.

2.5 Kokoaaltotasasuuntaus

KytKentä:

Tulosta kuvaaja jännitteistä U_a , U_b ja U_c ajan funktiona. Merkitse kuvaajaan U_0 ja U_0'' .

Pystypoikkeutusherkkyyys: _____ V/cm, pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

$U_0'' =$ _____ V, $U_{av} =$ _____ V.

Toteutuuko $U_b = U_a$ kunkin puolijakson aikana? Jos ei, niin mistä tämä johtuu?

Selitä lyhyesti kokoaaltotasasuuntaajan toiminta. Miksi tarvitaan kaksi jännitettä U_a ja U_c ?

3 Omat havainnot ja päätelmät

Liite 3: Palautelomake

* Pakollinen

1. Valitse alla olevista väittämistä se, joka parhaiten kuvaa kokemuksiasi oskilloskooppityöstä. *

	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä	En osaa sanoa
Saavutin työn oppimistavoitteet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ennakkotehtävät auttoivat työn suorittamisessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Koin työn haastavaksi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työ lisäsi kiinnostusta sähköoppia kohtaan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Opin käyttämään oskilloskooppia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työohjeet olivat selkeät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Mikä oli opettavaisinta oskilloskooppityössä? *

Kirjoita vastaus

3. Mikä oli helpointa? *

Kirjoita vastaus

4. Mikä oli vaikeinta? *

Kirjoita vastaus

5. Mitkä kohdat työohjeessa tai selostuspohjassa pitäisi esittää eri tavalla? Miten? *

Kirjoita vastaus

6. Vapaa palaute: *

Kirjoita vastaus

Lähetä

Liite 4: Uusi työohje

Oskilloskooppityö

Työn kuvaus:

Tässä työssä tutustuaan oskilloskoopin ja yleismittarin käyttöön. Oskilloskooppi on jännitettä mittaava laite ja yleismittarilla voidaan mitata sähkövirtaa, jännitettä, kapasitanssia ja resistanssia. Työn ensimmäisessä osassa palautellaan mieleen yleismittarilla mittaaminen ja tutustutaan oskilloskoopin käyttöön xy-piirturina. Työn jälkimmäisessä osassa oskilloskoopilla tutkitaan vaihtovirtaa, eli ajan funktiona muuttuvaa jännitettä. Ennen harjoitustyöosastolle tuloa opiskelija tekee valmiista selostuspohjasta löytyvät ennakkotehtävät.

Osaamistavoitteet:

Opiskelija osaa työn jälkeen käyttää yleismittaria jännitteen, resistanssin ja kapasitanssin määrittämiseen. Hän osaa käyttää oskilloskooppia tasajännitteen ja sinimuotoisen vaihtojännitteen tutkimiseen. Hän osaa määrittää jännitteen amplitudin avulla jännitteen tehollisen arvon, sekä laskea sinimuotoisten signaalien vaihe-eron kuvaajasta. Lisäksi hän osaa muodostaa erilaisia yksinkertaisia virtapiirikytkentöjä ja analysoida sähkövirran kulkua virtapiiriissä.

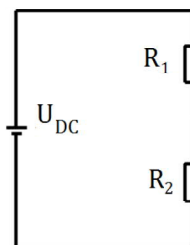
1 Tasajännitteen (dc voltage) mittaaminen

Ennen oskilloskoopin käyttöä palautetaan mieleen yleismittarin käyttö.

1.1 Tasajännitteen mittaaminen yleismittarilla

Yleismittarilla voidaan mitata jännitettä, sähkövirtaa ja resistanssia. Jännitettä mitattaessa valitaan jännitealue. Johdot kytketään yleismittarin COM-napaan (common, kytketään yleensä maahan tai negatiiviseen napaan) ja V-napaan. Jännitemittari vertaa pisteiden välistä potentiaaliero. Resistanssia mitattaessa yleismittarista valitaan vastusalue.

Jännitettä, resistanssia ja kapasitanssia mitattaessa yleismittari kytketään komponentin kanssa rinnan.



Kuva 1: KytKentä tasajännitteiden mittaamiseksi. U_{DC} = Paristo (1,5 V), R_1 = vastus (10 k Ω) ja R_2 = vastus (10 k Ω).

Koe 1.

1. Rakenna kuvan 1 mukainen virtapiiri.
2. Mittaa vastuksen R_1 yli vaikuttava jännite eli potentiaaliero.
3. Mittaa vastuksen R_2 yli vaikuttava jännite.
4. Mittaa vastuksien R_1 ja R_2 yli vaikuttava jännite.
5. Mittaa vastuksien R_1 ja R_2 resistanssit.

Oskilloskooppi

Oskilloskooppi on laite, jolla voidaan mitata jännitettä. Se muuttaa sähköisen signaalin havaittavaksi ilmiöksi.

Oskilloskooppi voi rikkoutua ainoastaan ylisuuria jännitteitä mitattaessa. Näin ollen oskilloskoopin erilaisia säätimiä voi vapaasti kokeilla. Jännitteen nollakohta, eli ruudulla näkyvä piste/viiva, voidaan asettaa miten halutaan, kun oskilloskooppia ei ole kytketty mihinkään.

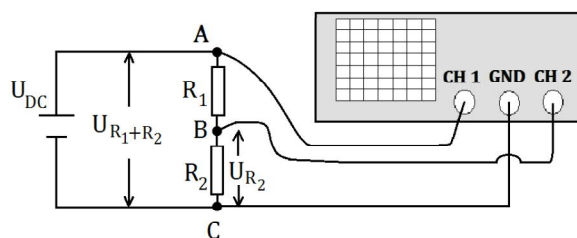
Oskilloskooppiin liittyviä tärkeitä käsitteitä ja vinkkejä löytyy liitteestä A.

Oskilloskooppi xy-piirturina

Seuraavaksi mitataan virtapiirejä oskilloskoopilla käyttäen xy-piirturitilaa. Tällöin oskilloskooppi piirtää x-akselille kanavan CH 1 ja maadoituspistokkeen (GND) välisen jännitteen. y-akselille piirtyy kanavan CH 2 jännitteen ja maadoituspistokkeen (GND) välinen jännite.

Säädä oskilloskooppi xy-tilaan DISPLAY-valikon Format nappulalla.

1.2 Tasajännitteen mittaus oskilloskoopilla XY-piirturitilassa



Kuva 2: KytKentä tasajännitteiden mittaamiseksi oskilloskoopilla. U_{DC} = Paristo (1,5 V), R_1 = vastus (10 k Ω) ja R_2 = vastus (10 k Ω).

Tasajännitteen mittaus suoritetaan kuvan 2 osoittaman kytkennän avulla. Ennen jokaista mittausta origo asetetaan sopivaan kohtaan. Näytöllä näkyvä piste vastaa origoa silloin, kun kumpaankaan poikkeutuskanavaan (CH 1, CH 2) ei ole kytketty mitään.

Nollakohtien asettaminen suoritetaan VERTICAL (\downarrow Position) säätimillä. Nollakohta voidaan asettaa mihin kohtaan näytölle tahansa. Mitattaessa positiivisia jännitteitä sijoitetaan nollakohta alas vasemmalle. Negatiivisia jännitteitä mitattaessa nollakohta sijoitetaan ylös oikealle.

Merkintä "GND" viittaa maapotentiaaliin, jonka voidaan ajatella olevan myös nollapotentiaali. Oskilloskooppi vertaa kanavien CH 1 ja CH 2 potentiaalia GND:n potentiaaliin.

Kaikissa mittauksissa kannattaa käyttää hyväksi koko näytön ala, jota säädetään VOLTS/DIV säätimestä.

Koe 2.

1. Yhdistetään piste A oskilloskoopin x-kanavaan (CH 1) ja C oskilloskoopin maadoituspistokkeeseen (GND). Tällöin mitataan pisteiden A ja C välillä olevaa jännitettä, eli jännitehäviötä vastuksissa $R_1 + R_2$.

2. Havaitaan pisteen siirtymä kuvapinnalla. Herkkyyssäätimelle (VOLTS/DIV) tulee valita sellainen asento, että pisteen siirtymä on mahdollisimman suuri.

3. Lopullinen jännite $U_{R_1+R_2}$ saadaan selvälle poikkeaman ja poikkeutusherkkyyden avulla. Poikkeutusherkkyyys luetaan oskilloskoopin vasemmasta alareunasta (esim. CH1 500 mV tarkoittaa, että jokainen x-akselin ruutu vastaa 500 mV)

Koe 3.

1. Irrotetaan piste A oskilloskoopista ja yhdistetään piste B y-kanavaan (CH 2). Tällöin mitataan jännitettä pisteiden B ja C välillä eli jännitehäviötä vastuksessa R_2 .

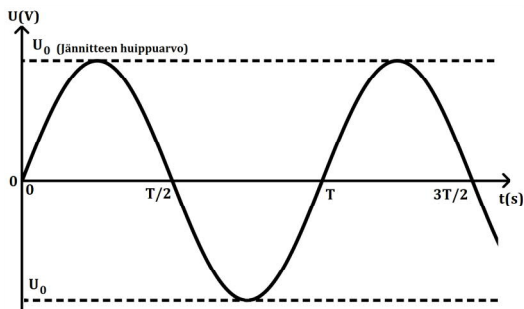
2. Laske jännitteen U_{R_2} arvo pisteen siirtymän ja poikkeutusherkkyyden avulla.

Koe 4.

1. Yhdistetään piste A x-kanavaan (CH 1) ja B y-kanavaan (CH 2).

2. Piirretään saatu pisteen paikka koordinaatistoon.

1.3 Vaihtojännitteen (ac voltage) mitaus XY-piirturtilassa



Kuva 3: Sinimuotoinen vaihtojännite, missä U_0 kuvaa jännitteen huippuarvoa.

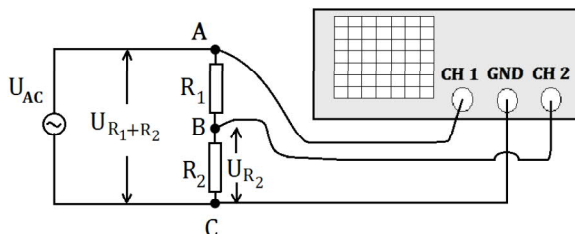
Kuva 3 esittää tavallista vaihtojännitettä eli ajan sinimuotoista funktiota. Vaihtelevaa vaihtojännitteen arvoa kutsutaan hetkellisarvoksi.

Kun vaihtojännitettä tuodaan vain CH 1- tai CH 2-kanavalle xy-piirturtilassa, saadaan kuvapinnalle tietyn pituinen **viiva**. Päätepisteet vastaavat mitattavan signaalin positiivista ja negatiivista huippuarvoa. Vaihtojännitteen huippuarvo (maksimiarvo, amplitudi) vastaa positiivista huippuarvoa. Sinimuotoiselle vaihtojännitteelle pätee yhtälö:

$$U_0 = \sqrt{2}U, \quad (1)$$

missä U_0 on jännitteen huippuarvo ja U jännitteen tehollisarvo. Esimerkiksi Suomessa käytettävän verkkojännitteen tehollinen arvo on 230 V.

Vaihtojännitteen mitaus suoritetaan kuvan 4 kytkentää käyttäen. Vaihtojännitteitä mitattaessa nollassa sijaitetaan keskelle.



Kuva 4: Kytkentä vaihtojännitteiden mittaamiseksi. U_{AC} = Vaihtojännitelähde ("15 V"), R_1 = vastus (10 k Ω) ja R_2 = vastus (10 k Ω).

Koe 5.

1. Mitataan jännite pisteiden A ja C välillä eli jännitehäviö vastuksissa $R_1 + R_2$. Yhdistetään piste A oskilloskoopin x-kanavaan (CH 1) ja C oskilloskoopin maadoituspistokkeeseen (GND).

2. Lasketaan jännitteen huippuarvo poikkeutusherkkyyden ja viivan amplitudin avulla.

3. Lasketaan jännitteen tehollisarvo $U_{R_1+R_2}$ kaavasta (1).

Koe 6.

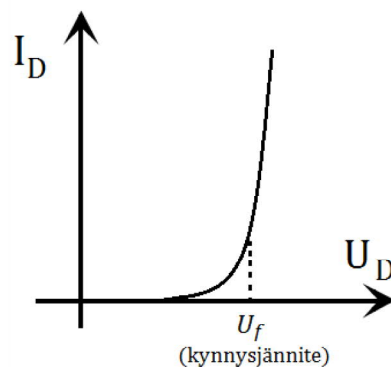
1. Mitataan jännitehäviö vastuksessa R_2 . Irrotetaan A ja yhdistetään piste B y-kanavaan (CH 2).

2. Lasketaan vaihtojännitteen huippuarvo ja tehollisarvo U_{R_2} .

Koe 7.

1. Yhdistetään piste A x-kanavaan ja B y-kanavaan. Piirretään havaittu signaali koordinaatistoon.

1.4 Puolijohdediodin kynnsjännitteen määrittäminen

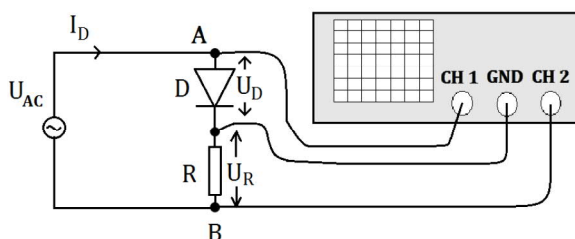


Kuva 5: Diodin kynnsjännitteen (U_f) määrittäminen.

Diodin vastus on erilainen päästö- ja estosuunnassa. Positiivisella jännitteellä vastus on pieni, kun taas negatiivisella jännitteellä suuri. Jännitteen arvoa, jolla sähkövirta alkaa kulkemaan diodin lävitse, kutsutaan kynnsjännitteeksi U_f .

Puolijohdediodin kynnyksjännite määritetään kuvan 6 kytkennän avulla. Diodin D kautta kulkee sähkövirta I_D pisteestä A pisteeseen B . Diodissa D syntyy jännitehäviö U_D , joka poikkeuttaa oskilloskoopin kuvapistettä **vaakasuunnassa**. Vastuksen R aiheuttama jännitehäviö U_R poikkeuttaa kuvapistettä **pystysuunnassa**.

Sähkövirta I_D on suoraan verrannollinen vastuksen jännitehäviöön U_R . Oskilloskoopin kuvapinnalle syntyy diodin tapauksessa kuvan 5 mukainen käyrä. Tässä harjoitustyössä kuva on ylösalaisin (U_R -akseli osoittaa alaspäin).



Kuva 6: Kytkentä puolijohdediodin kynnyksjännitteen määrittämiseksi. $U_{AC} = 15 \text{ V}$. Ohjaaja määrää diodin D , $R = 1 \text{ k}\Omega$.

Koe 8.

1. Rakenna kuvan 6 kytkentä diodin kynnyksjännitteen määrittämiseksi. Ohjaaja määrää käytettävän diodin.
2. Tulosta muodostettu käyrä. Oskilloskoopilla tulostus tapahtuu seuraavasti: Valitse DISPLAY -valikosta Persist 1 sec. Paina tämän jälkeen HARDCOPY nappulaa.
3. Määritä tulostetusta käyrästä diodin kynnyksjännite U_f .

2 Oskilloskooppi aikapyyhkäisytilassa

Seuraavassa tarkastellaan oskilloskoopilla jaksollisia ilmiöitä. Tällainen ilmiö on esimerkiksi generaattorin synnyttämä vaihtojännite. Tätä varten oskilloskooppi asetetaan aikapyyhkäisytilaan, joka on yleisemmin käytössä kuin xy-piirturitila. Tällöin oskilloskooppi mittaa jännitettä ajan funktiona.

Vaihda oskilloskooppi aikapyyhkäisytilaan (YT) DISPLAY-valikon Format nappulalla. Pyyhkäisy nopeudella skaalataan vaaka-akseli. Pyyhkäisy nopeutta säädetään SEC/DIV säätimestä.

2.1 Sinijännite

Tavallinen vaihtojännite on ajan sinimuotoinen funktio

$$U(t) = U_0 \sin(2\pi ft), \quad (2)$$

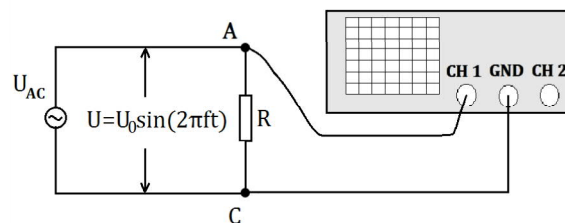
missä U_0 on U :n maksimiarvo ja f frekvenssi eli taajuus, joka on kääntäen verrannollinen jakson kesto-aikaan T .

Kun t kasvaa nolasta arvoon T , niin $2\pi ft$ kasvaa 2π :n verran. Tämä verrannollisuus havaittavissa kuvassa 3, missä U on esitetty ajan t funktiona.

Vaihtojännitteen suuruutta voidaan kuvata amplitudilla U_0 , mutta yleisempi tapa on ilmaista se tehollisena jännitteenä U (vrt. kohta 1.3, kaava (1)). Tehollisen jännitteen kaavan johto on liitteessä B.

Koe 9.

1. Varmista, että oskilloskooppi on aikapyyhkäisytilassa.
2. Rakenna kuvan 7 kytkentä.
3. Säädä pyyhkäisy nopeus (SEC/DIV) siten, että yksi jakso oskilloskoopilla on noin 8 cm.
4. Tulosta jännitteen kuvaaja. Saadusta kuvaajasta määritetään jännitteen huippuarvo, tehollinen arvo ja taajuus.



Kuva 7: Kytkentä sinimuotoisen vaihtojännitteen mittaamiseksi. $U_{AC} = 15 \text{ V}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$

2.2 RC-piirin vaihe-ero

Oskilloskoopilla voidaan tarkastella samaan aikaan useampaa ajasta riippuvaa signaalia. Tarkastellaan kuvan 8 mukaista kytkentää, jossa vaihtojännitelähteen lähtönapoihin on kytketty sarjaan vastus R ja kondensaattori C .

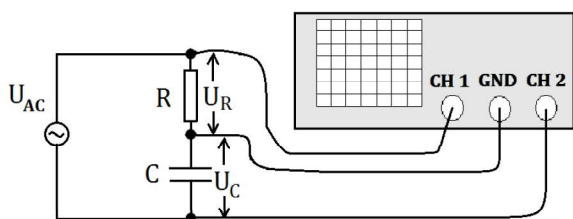
Kondensaattori varautuu ja purkautuu jaksollisesti. Kondensaattorin vaihtojännitteelle U_C , jonka maksimiarvo on U_{C0} pätee:

$$U_C(t) = U_{C0} \sin(2\pi ft). \quad (3)$$

Sähkövirta I piirissä on muotoa

$$I(t) = 2\pi f C U_{C0} \cos(2\pi ft). \quad (4)$$

Kondensaattorin jännitteellä ja sähkövirralla on vaihe-ero, eli ne eivät ole samassa vaiheessa. Kanavaan 1 piiryy vastuksen U_R yli vaikuttava jännite, joka on samassa vaiheessa sähkövirran kanssa. Kanavaan 2 piiryy kondensaattorin C yli vaikuttava jännite U_C .



Kuva 8: Kytkentä vaihe-eron määrittämiseksi. $U_{AC} = 15 \text{ V}$, ohjaaja määrää vastuksen ja kondensaattorin.

Toisen signaalin saa näkyviin ja pois näkyvistä oskilloskoopin CH 1 MENU ja CH 2 MENU nappuloista.

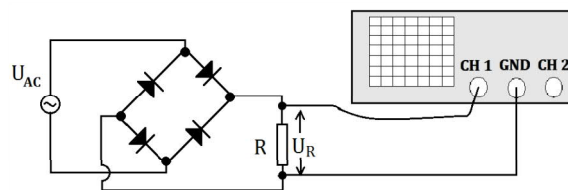
Koe 10. Määritetään sähkövirran ja kondensaattorin jännitteen välinen vaihe-ero.

1. Mittaa annetun kondensaattorin kapasitanssi ja vastuksen resistanssi yleismittarilla.
2. Rakenna kuvan 8 virtapiiri.
3. Tulosta vastuksen ja kondensaattorin jännitteet samassa kuvassa. Muista järjkevä skaalaus.
4. Määritä sähkövirran ja kondensaattorin jännitteen välinen vaihe-ero.

2.3 Tasasuuntaus

Puolijohdediodi johtaa sähkövirtaa vain toiseen suuntaan. Tätä ominaisuutta käytetään mm. vaihtojännitteen tasasuuntaamiseen.

Kuvassa 9 on neljän diodin muodostama kytkentä, jota kutsutaan tasasuuntaussillaksi. Seuraavaksi verrataan tasasuunnatun kytkennän signaalia jännitelähteen signaaliin. Tätä varten tutustutaan oskilloskoopin ominaisuuksien tallentaa signaali.



Kuva 9: Tasasuuntaussilta. $U_{AC} = 15 \text{ V}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$

Koe 11.

1. Säädetään oskilloskoopin liipaisu (Trigger) jännitelähteelle sopivaksi:

Trigger Menu \rightarrow Source \rightarrow AC line

2. Yhdistä oskilloskooppi suoraan jännitelähteeseen. Jännitelähteen signaali tallennetaan seuraavasti:

Save-Recall \rightarrow Waveforms \rightarrow Source CH 1 \rightarrow Ref A/B \rightarrow Save

3. Tee kuvan 9 kytkentä.

4. Hae samaan kuvaan jännitelähteen tallennettu signaali:

Save-Recall \rightarrow Waveforms \rightarrow Ref A/B \rightarrow Ref A/B On

5. Tulosta saadut jännitteet samassa kuvassa (muista järjkevä skaalaus).

6. Merkitse kuvaajaan jännitteiden huippuarvot (tasasuunnatulle U'_0 , jännitelähteelle U_0). Laske jännitteiden teholliset arvot.

Liite A

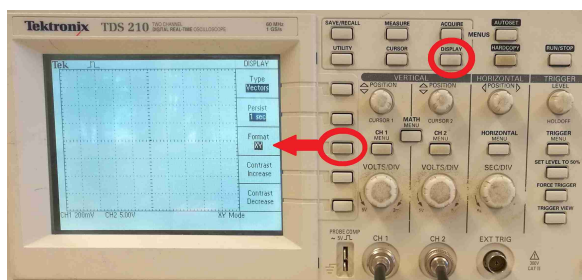
Oskilloskooppi on laite, jolla voidaan mitata jännitettä. Se muuttaa sähköisen signaalin visuaaliseksi käyräksi. Oskilloskoopilla on suuri sisäinen impedanssi eli oskilloskooppi voi rikkoutua ainoastaan ylisuuria jännitteitä mitattaessa. Näin ollen oskilloskoopin erilaisia säätimiä voi vapaasti kokeilla.

Jännitteen nollakohta, eli ruudulla näkyvä piste/viiva, voidaan asettaa miten halutaan, kun oskilloskooppia ei ole kytketty mihinkään.

XY-piirturitila

XY-piirturitilassa oskilloskooppi piirtää x-akselille kanavan CH 1 jännitteen ja y-akselille kanavan CH 2 jännitteen.

Oskilloskooppi säädetään XY-tilaan DISPLAY-valikosta Format nappulalla.

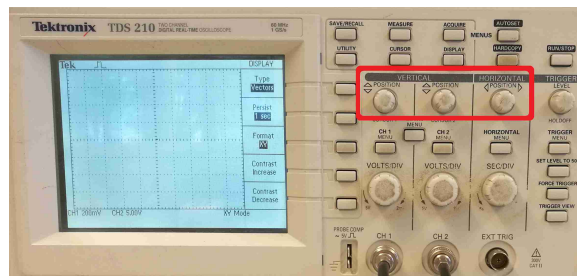


Kuva 10: XY-moodi asetus on päällä.

Oskilloskoopin nollakohdan asettaminen ja signaalin liikuttaminen

Jännitteen nollakohta, eli ruudulla näkyvä piste/viiva, voidaan asettaa miten halutaan, kun oskilloskooppia ei ole kytketty mihinkään.

Nollakohdan asettaminen suoritetaan säätimellä VERTICAL (\leftrightarrow). Nollakohtaa säädettäessä oskilloskoopin ei pidä olla kytkettynä mihinkään. Signaalin liikuttaminen YT-tilassa tapahtuu säätimillä VERTICAL (\leftrightarrow) ja HORIZONTAL (\updownarrow).

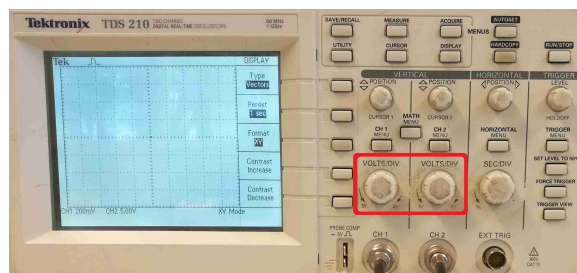


Kuva 11: Oskilloskoopin nollakohdan asettamisen ja signaalin liikuttamisen säätimet.

Herkkyyssäätö ja poikkeutusherkkyyys.

Oskilloskoopin mittaustarkkuutta eli herkkyyttä säädetään VOLTS/DIV säätimestä. Tällöin oskilloskoopin skaalaus muuttuu. Vasemmassa alareunassa ilmoitetaan kyseisen kanavan skaalaus.

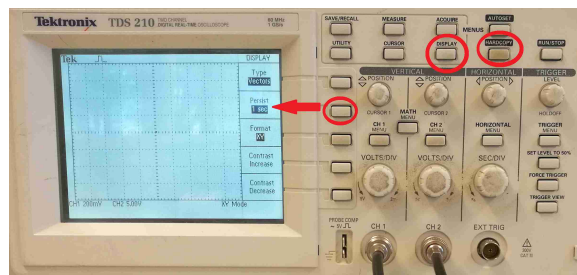
Esimerkiksi merkintä CH1 200 mV tarkoittaa, että jokainen ruutu x-akselin suunnassa vastaa 200 mV. Toisin sanottuna poikkeutusherkkyyys vaakasuunnassa on 200 mV/cm.



Kuva 12: Oskilloskoopin poikkeutusherkkyyden säätäminen.

Tulostaminen

1. DISPLAY-valikko
2. Persist 1 sec
3. HARDCOPY

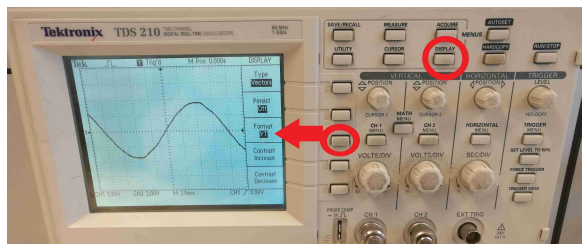


Kuva 13: Oskilloskoopilla tulostaminen.

Aikapyyhkäisytila

Aikapyyhkäisytilassa oskilloskooppi vertaa kanavan (CH 1 ja/tai CH 2) jännitettä maadoituspisteen (GND) jännitteeseen. Oskilloskooppi piirtää jännitteen ajan funktiona.

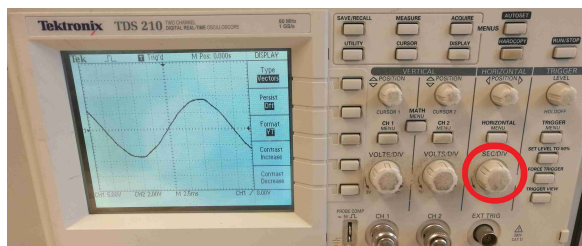
Vaihda oskilloskooppi aikapyyhkäisytilaan seuraavasti: Valitse DISPLAY-valikko ja paina FORMAT nappulaa. Nyt oskilloskooppi mittaa jännitettä ajan funktiona.



Kuva 14: Aikapyyhkäisytilan asettaminen.

Pyyhkäisynopeus

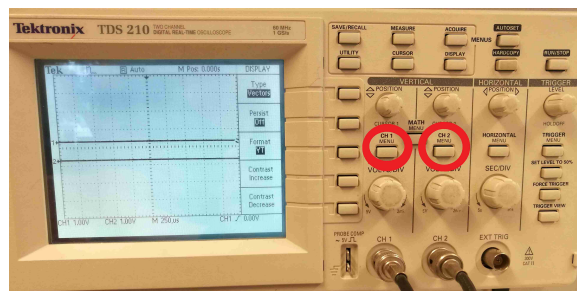
Pyyhkäisynopeus skaalaa vaaka-akselia SEC/DIV nappulasta. Vaaka-akselin yksikkö on ms.



Kuva 15: Pyyhkäisynopeuden säätäminen aikapyyhkäisytilassa.

Signaalin näkyviin saaminen

Kanavan CH 1 ja CH 2 signaalin saa näkyviin painamalla CH 1 MENU tai CH 2 MENU nappulaa.



Kuva 16: Signaalin saaminen näkyville.

Signaalin tallentaminen ja hakeminen

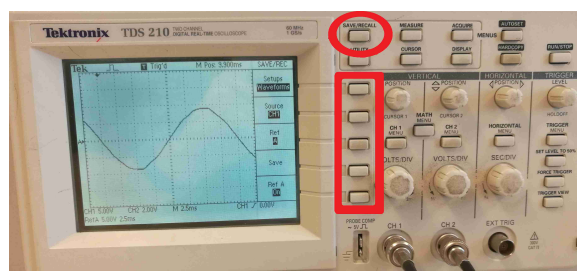
Oskilloskoopilla voidaan tallentaa signaali muistiin (ns. kertapyyhkäisy) ja tarkastella sitä myöhemmin.

Signaalin tallentaminen tapahtuu seuraavasti: Save-Recall → Waveforms → Valitse Source → Ref A/B → Save

Tallennetun signaalin hakeminen:

Save-Recall → Waveforms → Ref A/B → Ref A/B On

Ruudulla näkyvä ylimääräinen signaali voi johtua tallennetusta signaalista.



Kuva 17: Signaalin tallentaminen ja hakeminen oskilloskoopilla.

Trigger (liipaisin) ja AUTOSET

Liipaisemalla säädetään kohta josta oskilloskooppi alkaa piirtämään signaalia. Väärin asetetun liipaisun huomaa siitä, että sama kuvaaja ei asetu päällekkäin. Tällöin kuvaaja näyttää liikkuvan ruudulla. Oskilloskooppi säätää liipaisun automaattisesti AUTOSET-nappulasta.

Liite B

Tehollinen jännite

Kuvan 7 piirissä olevassa vastuksessa R hetkellinen jännite U aiheuttaa hetkellisen virran I ja tällöin syntyy hetkellinen tehohäviö P , joka on

$$P = UI = \frac{U^2}{R}. \quad (5)$$

Kun jännite muuttuu ajan mukana, keskimääräinen teho P_{av} (= average power) on verrannollinen U^2 :n keskiarvoon U_{rms}^2 .

$$U_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt. \quad (6)$$

Kun jännite U on muotoa $U = U_0 \sin 2\pi ft$, niin saamme

$$U_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T U_0^2 \sin^2(2\pi ft) dt \right)^{1/2} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (7)$$

Liite 5: Uusi selostuspohja

Nimi: _____

Tehty: ____ . ____ .20 ____

Fysiikan harjoitustyöt IA

Ohjaaja: _____

Oskilloskooppityö

Tässä työssä tutustuttiin yleismittarin ja oskilloskoopin käyttöön ja tavallisimpiin niillä tehtäviin mittauksiin. Työn alkuosassa käytettiin yleismittaria ja oskillooppia XY-piirturina mitattaessa tasajännitettä. Toisessa osassa tarkasteltiin oskilloskoopin aikapyyhkäisyä käyttäen ajan funktiona muuttuvaa signaalia.

Ennakkotehtävät

Mikä oskilloskooppi on?

Mikä on oskilloskoopin maadoituspistokkeen merkitys?

Mikä on diodin tärkein ominaisuus? Miten diodin kynnysjännite määritetään?

Miten kahden aallon välinen vaihe-ero määritetään?

1 Tasajännitteen mittaaminen

Tässä osassa palauteltiin mieleen yleismittarin käyttöä ja tutustuttiin oskilloskoopin käyttöön XY-piirturimoodissa.

1.1 Kaavat ja suureet

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Taulukko 1: Työssä käytetyt suureet ja niiden yksiköt

Suure	Selitys	Yksikkö
U	tasajännite/vaihtojännitteen tehollisarvo	[V]
U_0	vaihtojännitteen amplitudi	[V]
U_f	diodin kynnyksjännite	[V]
I	sähkövirta	[A]
R	resistanssi	[Ω]

1.2 Tasajännitteen mittaaminen yleismittarilla

Kytkennät:

Mitatut jännitteet ja resistanssit :

$$U_{R_1} =$$

$$U_{R_2} =$$

$$U_{R_1+R_2} =$$

$$R_1 =$$

$$R_2 =$$

1.3 Tasajännitteen mittaus oskilloskoopilla

KytKentä:

Havainnot:

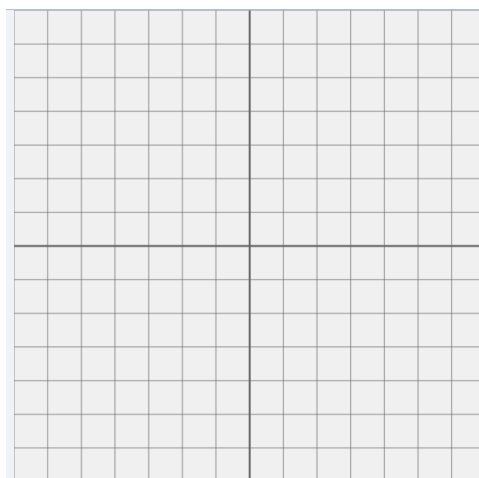
$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

	X-poikkeutus-herkkyys (CH 1) [V/cm]	Y-poikkeutus-herkkyys (CH 2) [V/cm]	Pisteen siirtymä [cm]	U [V]
Koe 2		$\underline{\hspace{2cm}}$		
Koe 3	$\underline{\hspace{2cm}}$			
Koe 4			$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$

Laskuesimerkki jännitteen laskemisesta:

Kokeen 4 kuvaaja:



1.4 Vaihtojännitteen mittaus

KytKentä:

Havainnot:

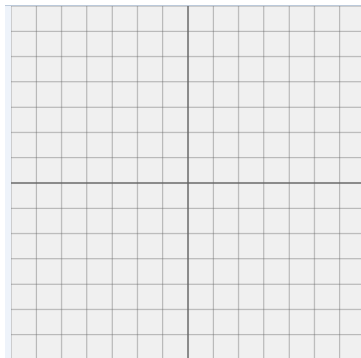
$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

	X-poikkeutus-herkkyys (CH 1) [V/cm]	Y-poikkeutus-herkkyys (CH 2) [V/cm]	Viivan amplitudi [cm]	U_0 [V]	U [V]
Koe 5		$\underline{\hspace{2cm}}$			
Koe 6	$\underline{\hspace{2cm}}$				
Koe 7			$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$

Laskuesimerkki hetkellisen ja tehollisen jännitteen laskemisesta:

Kokeen 7 kuvaaja:



Selitä lyhyesti, miksi saatu kuvaaja on tässä asennossa.

1.5 Puolijohdediodin ominaiskäyrä

KytKentä:

Ohjajaan määräämä diodi: _____ Vastus: $R =$ _____

Minkä takia tulostettu kuvaaja on ylösalaisin?

Miten diodin sähkövirta riippuu jännitteestä?

Diodin kynnysjännite $U_f =$ _____

2 Oskilloskoopin aikapyyhkäisyn käytöstä

2.1 Kaavat ja suureet

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$I = 2\pi f C U_{C0} \cos(2\pi ft) \quad (3)$$

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Taulukko 2: Työssä käytetyt suureet ja niiden yksiköt

Suure	Selitys	Yksikkö
t	aika	[s]
U	tasajännite/vaihtojännite	[V]
U_0	vaihtojännitteen amplitudi	[V]
U'_0	kokoaaltotasasuunnatun jännitteen amplitudi	[V]
I	sähkövirta	[A]
f	taajuus	[Hz]
T	jaksonaika	[s]
ϕ	vaihe-ero	[rad]
R	resistanssi	[Ω]
C	kapasitanssi	[F]

2.2 Sinijännite

KytKentä:

Tulosta kuvaaja jännitteestä $U(t)$ ja merkitse siihen U_0 .

Pystypoikkeutusherkyys: _____ V/cm, pyyhkäisy nopeus: _____ ms/cm.

$$R = \text{_____} \Omega.$$

$$f = \text{_____} \text{ Hz.}$$

$$U_0 = \text{_____} \text{ V.}$$

$$U = \text{_____} \text{ V.}$$

2.3 Vaihe-eron määrittäminen RC-piirissä

KytKentä:

CH 1 Pystypoikkeutusherakkyys: _____ V/cm

CH 2 Pystypoikkeutusherakkyys: _____ V/cm

Pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

Jaksonaika $T = \text{_____}$. Taajuus $f = \text{_____}$.

Kondensaattorin _____ kapasitanssi: _____

Vastuksen _____ resistanssi: _____

Sähkövirta voidaan esittää muodossa

$$I(t) = 2\pi f C U_{C0} \sin(2\pi f t + \phi) = 2\pi f C U_{C0} \sin(2\pi f t + \frac{2\pi t_v}{T})$$

missä t_v on aika, kondensaattorin jännitteen ja sähkövirran saman vaiheen välillä (esim.maksimien).

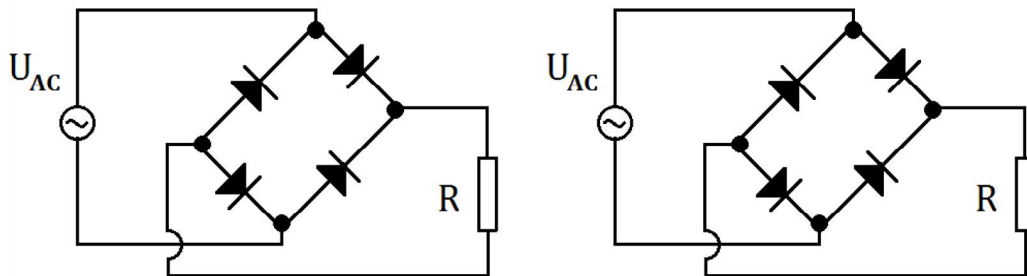
Mikä on vaihe-eron ϕ arvo?

2.4 Kokoaaltotasasuuntaus

KytKentä:

Selitä lyhyesti kokoaaltotasasuuntaajan toimintaperiaate.

Hahmottele kytkentäkuvaan sähkövirran kulku eri vaihtojännitteen vaiheilla.



Tulosta jännitelähteen ja tasasuunnatun jännitteen kuvaajat samassa kuvassa. Merkitse kuvaajiin jännitteiden huippuarvot (tasasuunnatulle U'_0 , jännitelähteelle U_0).

Laske jännitelähteen jännitteen tehollinen arvo:

Pystypoikkeutusherkkkyys: _____ V/cm, pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

$U_0 =$ _____ V, $U =$ _____ V.

Laske tasasuunnatun jännitteen tehollinen arvo:

Pystypoikkeutusherkkkyys: _____ V/cm, pyyhkäisynopeus: _____ ms/cm.

$U'_0 =$ _____ V, $U =$ _____ V.

Mitä eroja kuvaajilla on? Mistä tämä johtuu?

2.4.1 Virhetarkastelu

Mitä virhelähteitä esiintyy tässä työsiossa? Mikä on suurin virhelähde?

3 Omat havainnot ja päätelmät