

**Lukion sähköopin ja sähkömagnetismin opetusmateriaalien tietorakenteiden
kartoittaminen ja kehitysehdotusten etsiminen**

Anna Huuskonen

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos

12.6.2011

Ohjaaja: Juha Merikoski

Kiitokset Artolle kaikesta nykyisestä, tulevasta ja menneestä,
Otsolle ja Jaakolle ulkona vietetyistä päiväunihetkistä,
vanhemmilleni tuesta ja lastenhoitoavusta,
sekä ohjaajalleni kehittävästä palautteesta.

Tiivistelmä

Sähköopin ja sähkömagnetismin aihekokonaisuudet ovat lukion kurssien tuntimääriin nähden raskaita ja tietoa on hyvin paljon. Työn tavoitteena oli selvittää voisiko lukion sähköopin ja sähkömagnetismin tietorakenteita ja samalla koko aihekokonaisuuksia keventää.

Työssä tarkastellaan käsitekarttoja käyttäen huomattavan laajoja aihekokonaisuuksia, tarkoituksena luoda pohjaa opintokokonaisuuksien edelleenkehittämiselle. Kokonaisuutena työ tarjoaa yksittäiselle opettajalle ideoita oman opetuksensa päivittämiseen ja laajemmin mahdollisuuksia oppimateriaalien kehittämiseksi. Työn laaja tarkastelupohja lisää tulosten soveltamismahdollisuuksia.

Tietorakenteita pyrittiin kartoittamaan koottujen käsitekarttojen avulla. Työssä käytetyt käsitekartat koottiin CmapTool ohjelman avulla, joka on graafinen työkalu käsitekarttojen tekemistä varten. Pohjamateriaalina käytettiin lukioissa paljon käytettyjä kirjasarjoja sekä yhtä ammattiopiston ja yhtä yliopiston kurssimateriaalia, jotta aiheesta saatiin laajempi näkökulma, lisää vertailupohjaa ja hyödyntämismahdollisuuksia.

Koottujen käsitekarttojen yhteydet jaettiin kokeellisiin ja kirjan tekstissä esiintyneisiin yhteyksiin. Käsitteestä lähtevien yhteyksien määrä ja laatu kertovat kuinka hyvin käsite on kytkeytynyt muuhun tietorakenteeseen. Laajaa materiaalia pystyttiin käsittelemään kattavasti yhteyksien muodostumista tutkimalla. Lisäksi perehdyttiin opetussuunnitelmiin, sähköopin ja sähkömagnetismin teoriaan hieman syvällisemmin sekä näiden aiheiden opetukseen liittyviin haasteisiin, jotta saatiin kattava kokonaiskuva muutosehdotusten tueksi.

Kokeellisuus on lukiossa tärkeää kuten myös peruskäsitteiden hyvä hallinta. Monia pieniä parannusehdotuksia löytyi. Suurempana keskustelua kaipaavana huomiona on vaihtovirtapiirien ja puolijohteiden tarpeellisuuden kyseenalaistaminen lukio-opinnoissa. Niiden käsittely ei ole välttämätöntä myöhempiä lukiokursseja eikä edes yliopiston perusopintoja ajatellen. Vaihtovirtapiirit jäivät heikosti kytketyiksi kummankin tarkastellun kirjasarjan käsitekarttoissa. Käsitekarttoja tarkastelemalla tehtiin myös huomio tarpeesta yhdenmukaistaa käsitteiden käyttöä. Vaikka käsitteiden käyttöä ei saataisi yhdenmukaiseksi koko lukiojärjestelmän osalta, tulisi jokaisen opettajan kiinnittää huomiota omiin esitystapoihinsa.

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Lähtökohdat.....	2
2.1	Opetussuunnitelmista	2
2.1.1	Lukion opetussuunnitelma	2
2.1.2	Ammattiopiston opetussuunnitelma.....	3
2.1.3	Jyväskylän yliopiston fysiikanlaitoksen opetussuunnitelma.....	4
2.1.4	Ajankäyttö opetuksessa.....	5
2.2	Teoreettinen tausta	6
2.2.1	Sähköoppi.....	6
2.2.2	Sähkömagnetismi	10
3	Oppikirja-analyysi	14
3.1	Käsitarkoista.....	14
3.2	Kirjasarjoista	18
3.2.1	Fysiikka-kirjasarja.....	18
3.2.2	Physica-kirjasarja	18
3.2.3	Ammattiopiston oppikirja	19
3.2.4	Jyväskylän yliopiston materiaali	19
4	Opetuksen haasteita.....	20
5	Ratkaisuja opetusmateriaaleissa.....	23
5.1	Käsitarktojen analyysiä	23
5.2	Yleisiä havaintoja.....	25
6	Päätelmät	29
6.1	Ehdotuksia opetukseen.....	29
6.2	Havaintoja työn tekemisestä	31
	Kirjallisuus	34
	Liite A: Fysiikka 6, Sähkö	36
	Liite B: Fysiikka 7, Sähkömagnetismi	41
	Liite C: Physica 6, Sähkö	46
	Liite D: Physica 7, Sähkömagnetismi	51
	Liite E: Ammattiopiston materiaali	56
	Liite F: Yliopiston materiaali	59
	Liite G: Sanasto.....	63

1 Johdanto

Sähköoppi ja sähkömagnetismi ovat yksi fysiikan tärkeimmistä osa-alueista. Sähkön keksiminen ja käyttöönotto on ollut yhtä merkittävää ihmiskunnan kehitykselle kuin tulen keksiminen. Sähköopin lait määrittävät ympäristöämme yhtä merkittävästi kuin vaikkapa gravitaatiolaki. Sähköön liittyvät ilmiöt ovat kuitenkin usein havaittavissa ja selitettävissä ainoastaan mikrotasolla. Tämä tekee sähköopin ja sähkömagnetismin opettamisesta haastavaa. Ajattelukyvyyn täytyy siirtyä uudelle tasolle sähköön liittyviä ilmiöitä käsiteltäessä. [1]

Lukion sähköoppi ja sähkömagnetismi ovat opetussuunnitelman mukaan kaksi eri kurssia. Kurssien sisällöt ovat kuitenkin laajoja. Heräsikin kysymys, voisiko materiaalia supistaa luopumalla jonkin aihealueen käsittelystä. Työssä tarkastellaan lähinnä juuri lukion sähköoppia ja sähkömagnetismia, mutta rinnalle on nostettu myös ammattiopiston ja yliopiston opetusmateriaaleja samasta aiheesta. Tarkoituksena on löytää oppimateriaaleista eroja tai samankaltaisuuksia, joiden avulla voitaisiin päätellä jonkin aiheen olevan erityisen tärkeä tai mahdollisesti muun rakenteen kannalta vähemmän merkityksellinen. Näiden löytöjen perusteella pyritään saamaan näkemys siitä, voiko lukion kurssivaatimuksista jättää jotain pois ja voisiko kurssien sisältöä muuten keventää jollakin tavalla vaikkapa jättämällä pois turhan pitkälle menevää materiaalia. Tarkoituksena on luoda pohjaa opetuskokonaisuuksien ja -materiaalien edelleenkehittämiselle.

Jotta oppiminen olisi merkityksellistä, käytettävän materiaalin tulee olla käsitteellisesti selkeää. Tästä syystä opetusmateriaalien analysointivälineeksi on valittu käsitekartta. Käsitekarttojen avulla pyritään löytämään tärkeimmät yhteydet käsitteiden välillä, ja hahmottamaan millä tavalla käsitteet kussakin materiaalissa otetaan käyttöön. Käytetty materiaali on laaja ja tästä syystä sen hahmottamisen helpottamiseksi päätettiin käyttää käsitekarttoja. [2]

Käsitekarttojen ajankohtaisuudesta tutkimusvälineenä kertoo esimerkiksi uusien tietokonekäyttöisten työkalujen kehittyminen. Käsitekarttoja voi rakentaa käsin kynällä ja paperilla, liitutaululle, älytaululle tai käyttöön suunnitellun ohjelman avulla. Tässä työssä käsitekartat on koottu CmapTools ohjelman avulla. Ohjelmassa on monenlaisia hyödyntämismahdollisuuksia. Se on myös saatavilla ilmaiseksi internetistä. Kun ohjelmaa oppii käyttämään, sen hyödyntäminen on sujuvaa ja monipuolista. [3]

2 Lähtökohdat

2.1 Opetussuunnitelmista

Tarkoituksena on päästä vertaamaan niin lukion, ammattiopiston kuin yliopiston perusopintojen opetussuunnitelmaa ja kurssisisältöjä sähköopin osalta. Vertailussa on käytetty opetushallituksen sivuilta löytyviä valtakunnallisia opetussuunnitelmia. Kurssimateriaalit on valittu yleisesti käytössä olevien lukion oppikirjojen joukosta sekä Jyväskylän ammattiopiston ja Jyväskylän yliopiston opetusmateriaaleista.

2.1.1 Lukion opetussuunnitelma

Lukio on yleissivistävä toisen asteen oppilaitos, jonka tarkoituksena on tarjota laaja-alaista jatko-opintokelpoisuuden takaavaa yleissivistystä ja kasvatusta. Opiskelijat laativat itse omat opiskelusuunnitelmansa, mikä tarkoittaa sitä, että pakollisten kurssien lisäksi he itse valitsevat, mihin aineisiin haluavat panosta. Näin ollen opiskelija saattaa opiskella fysiikka vain yhden pakollisen kurssin verran. [4]

Opetussuunnitelman mukaan opiskelijalle on tarjottava monipuolisia oppimis-tilanteita, joissa hän voi soveltaa erilaisia oppimisstrategioita. Oppiminen on opiskelijan aktiivista toimintaa, joka voi olla itsenäistä tai niin sanottua yhteistoiminnallista oppimista. Opettaja toimii oppimisen ohjaajana ja tukijana. Fysiikan kohdalla tämä velvoittaa opettajaa käyttämään kokeellista työskentelyä opetuksen osana. Näin opiskelijat oppivat myös soveltamaan oppimaansa käytännön tilanteisiin. [4]

Yksittäisten kurssisisältöjen lisäksi opetussuunnitelma määrittää yleisiä lukiokoulutusta viitoittavia aihekokonaisuuksia. Näiden aihekokonaisuuksien pitäisi kulkea koko ajan mukana eri kursseilla ja eri oppiaineissa. Tällaisia aihekokonaisuuksia ovat

- aktiivinen kansalaisuus ja yrittäjyys
- hyvinvointi ja turvallisuus
- kestävä kehitys
- kulttuuri-identiteetti ja kulttuurin tuntemus
- teknologia ja yhteiskunta
- viestintä- ja mediaosaaminen.

Aihekokonaisuuksien tulisi siis näkyä lukio-opetuksessa. Suurin osa sopii myös hyvin fysiikkaan, eikä niitä näin ollen saisi sivuuttaa opetuksessa. Opetuksessa ja kurssien sisällöissä ei siis pidä jämähtää liikaa teorian tietojen harjoitteluun. Nämä

aihekokonaisuudet tähtäävät tiedollisen taidon kehittymisen lisäksi vahvasti opiskelijoiden kasvamiseen yhteiskunnan täysipainoisiksi jäseniksi. [4]

Opetussuunnitelmassa fysiikkaa luonnehditaan empiiriseksi luonnontieteeksi, jossa ilmiöille pyritään löytämään lainalaisuuksia ja niitä kuvaavia matemaattisia malleja. Kokemusperäisyys ja kokeellisuus voivat opetuksessa olla opiskelijoiden itse tekemien laboratoriotöiden lisäksi opettajan demonstraatioita, videoita, vierailuja tai kerronnan kautta tapahtuvaan toimintaa koulun tarjoaminen mahdollisuuksien mukaan. [4]

Tiivistettynä lukion fysiikan opetuksen tavoitteena on kannustaa opiskelijoita tutkimaan, tulkitsemaan ja selittämään ympäristöään ja sen ilmiöitä. Opiskelijoiden tulee myös oppia yhdistämään kokeet ja teoria. Tiedon hankinta- ja käsittelytaidot ovat tärkeitä. Lisäksi harjoitellaan yhteistyötaitoja ja opetellaan suunnittelemaan ja tekemään ohjeen mukaan yksinkertaisia mittauksia sekä tulkitsemaan ja arvioimaan mittausten tuloksia. Arvioinnissa pääpaino on edelleen matemaattisten mallien käyttämisessä, mutta myös kokeellinen työskentely, tietojenkäsittelytaidot ja muut opiskelua tukevat taidot vaikuttavat arviointiin. [4]

Sähköopin asioita käsitellään fysiikan kursseissa 6 ja 7. Nämä molemmat ovat syventäviä valinnaisia kursseja.

Kurssin FY6 eli Sähkö tavoitteena on, että opiskelija tutustuu sähköön peruskäsitteisiin ja mittaustekniikkaan. Valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa selkeästi esiin nostettuja aiheita ovat sähköpari, jännitteen ja sähkövirran mittaaminen, vastukset, Ohmin, Joulen, Coulombin ja Kirchhoffin lait, homogeeninen sähkökenttä, kondensaattorit ja puolijohteet. [4]

Kurssin FY7 eli Sähkömagnetismi tavoitteena on tutustua sähkömagnetismiin ja sähköturvallisuuteen. Asiasisältöjä ovat magneettinen voima, magneettikenttä, aine magneettikentässä, varattu hiukkanen homogeenisessa sähkö- ja magneettikentässä, induktiolaki, Lenzin laki, induktioilmiöt, värähtelypiiri, energian siirto sähkövirran avulla ja energiateollisuus. [4]

2.1.2 Ammattiopiston opetussuunnitelma

Ammattiopistoissa tarjotaan toisen asteen koulutusta, jonka päämääränä on antaa opiskelijoille ammatilliset valmiudet työelämää varten. Opiskelijat voivat vaikuttaa itse paljon opintojensa rakentumiseen. [5]

Ammattiopistoissa oppimista arvioidaan kirjallisten tuotosten lisäksi ammattiosaamisen näyttöjen avulla. Koska koulutus painottaa käytännön taitojen oppimista, myös arviointi suoritetaan tarkkailemalla opiskelijan toimintaa erilaisissa työtilanteissa. Koko tutkinto voidaan suorittaa näyttötutkintona tai oppilaitoksessa järjestettävänä ammatillisena peruskoulutuksena. [5]

Opiskelijoiden itsenäisellä suoriutumisella on ammattiopistoissa suuri paino. Aluksi tukea ja ohjausta tarjotaan runsaammin, mutta kun työt ja vastuun kantaminen alkavat sujua, opiskelijoita kannustetaan itsenäisempään työskentelyyn. Tavoitteena on kouluttaa työelämän pelisäännöt osaavia, itsenäisiä, vastuullisia ja oman alansa tuntevia työntekijöitä. [5]

Ammatilliseen perustutkintoon kuuluu kaikille pakollisia osia, suuntautumisesta riippuvia pakollisia osia ja kaikille valinnaisia opintoja. Fysiikkaa ja kemiaa kuuluu kaikille pakollisena kaksi opintoviikkoa, josta siis fysiikan osaksi jää yksi opintoviikko eli noin 40 tuntia työskentelyä. Tällä kurssilla keskitytään ammattitaidon kannalta oleellisten fysiikan ilmiöiden tulkitsemiseen ja hyödyntämiseen. Aiheina ovat mm. ympäristöongelmat, lämpöoppi ja mekaniikka. [5]

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelman pakollisiin osiin kuuluvat mm. sähkötekniikan ja elektroniikan perusosaaminen. Opiskelijoiden tulee tuntea sähköiset perussuureet, niiden fysikaaliset perusteet ja riippuvuussuhteet (esim. Ohmin ja Kirchhoffin lait), osata virtojen ja jännitteiden mittaukset erilaisista kytkennöistä mittareita käyttäen, hallita perussuureisiin liittyvät laskut, ymmärtää tasa- ja vaihtovirtapiiriin toimintaa, ymmärtää magnetismin osuus sähkölaitteiden toimintaan ja osata tulkita ja käyttää piirikaavioita. Listaa voisi jatkaa pitkään. Ammatillisen osaamisen vaatimuksiin on kirjattu myös paljon käytännön taitojen hallintaa, kuten oikeiden työkalujen ja -menetelmien valinta, kytkentöjen piirtäminen, mittausten tekeminen ja tulosten hyödyntäminen sekä sähköturvallisuus. [5]

Ammatillisen osaamisen arvioinnin osa-alueita ovat työprosessin hallinta, työmenetelmien, välineiden ja materiaalin hallinta, työn perustana olevan tiedon hallinta ja elinikäisen oppimisen avaintaidot. Nämä jaetaan vielä tarkempiin alaryhmiin. Sanalliset arviointikriteerit on kirjattu sähkö- ja automaatiotekniikan opetussuunnitelmaan tarkasti. Osa-alueet arvioidaan arvosanoilla tyydyttävä/hyvä/kiitettävä. Ammatillisen osaamisen näyttöä annetaan tekemällä alan perustöitä esim. työmaalla niin, että ammattitaidon vaatimusten voidaan katsoa täyttyneen. [5] [6]

2.1.3 Jyväskylän yliopiston fysiikanlaitoksen opetussuunnitelma

Yliopistossa suoritettavat maisteriopinnot jakaantuvat kahteen osaan: kandidaatin tutkintoon ja maisterin tutkintoon. Lukion pitäisi tarjota ponnistus pohja kandidaatintutkinnon aloittamiseen. Kandidaatin tutkinnon tarkoituksena on kehittää opiskelijoiden matemaattisia, kokeellisia ja tietoteknisiä ongelmaratkaisutaitoja. Myös tiedonhankinnan, yhteistyötaitojen ja tulosten esittämisen harjoittelu on tärkeää.

Kaikille fysiikan opiskelijoille pakollisiin perusopintoihin kuuluvat kurssit FYSP104 Sähköopin perusteet ja FYSP105 Sähkömagnetismi. Kumpikin kurssi on 5 op laajuinen. Kurssi FYSP104 pitää sisällään sähköisen vuorovaikutuksen, sähkökentän ja sähköstaattisen potentiaalin. Lisäksi perehdytään sähkökentän vuohon, Gaussin lakiin,

kapasitanssiin ja kondensaattoreihin sekä sähkökentän energiaan. Myös sähkövirta, vastus, sähkömotorinen voima, virran teho, tasavirtapiirit ja Kirchhoffin lait kuuluvat kurssin sisältöihin. Kurssiin FYSP105 kuuluvat magneettinen vuorovaikutus, magneetikenttä, varatun hiukkasen liike sähkö- ja magneetikentissä, Ampéren, Faradayn ja Lens'in lait sekä sähkömagneettinen induktio. Myös induktanssi, magneetikentän energia, värähtelypiirit, vaihtovirtapiirit, impedanssi, vaihtovirran teho ja muuntaja käydään läpi. Maxwellin yhtälöt, sähkömagneettiset aallot, aaltojen energia ja liikemäärä sisältyvät myös kurssiin. [7]

Kurssien arvostelu perustuu kirjalliseen kokeeseen, laboratoriotöihin ja kurssiin kuuluviin laskuharjoituksiin. Painotus näiden osa-alueiden välillä voi vaihdella hieman kurssista riippuen, mutta huomattavaa on, että kurssin arvosteluun kuuluu aina myös kokeellista ja itsenäistä työskentelyä luento-osuuksien ja loppuentin lisäksi. [7]

2.1.4 Ajankäyttö opetuksessa

Lukiossa yksi kurssi vastaa opetussuunnitelman mukaan 38 tuntia opetusta. Tähän tuntimäärään päästään harvoin ja esimerkiksi pidettävä loppukoe sisältyy tuntimäärään. Samoin mahdolliset vierailut tai muu poikkeava ohjelma on sisällytettävä kurssin tuntikehykseen. Kurssikirjat eivät anna valmiita suosituksia ajankäytöstä. Aiheesta riippuen aikaa käytetään tunneilla eri tavoin. Opettaja joutuu tekemään valintoja kurssisuunnitelmaa laatiessaan ja päättämään mihin osa-alueeseen käytetään enemmän aikaa ja mikä taas käydään nopeammin läpi. Lukiossa ainakin osa tunneista on kaksoistunteja. Järkevä ajankäyttö ja tuntien suunnittelu jää opettajan vastuulle. [4]

Yliopistossa viiden opintopisteen kurssit sähköopista ja sähkömagnetismista sisältävät 24 tuntia luentoja, 12 tuntia laskuharjoituksia ja laboratoriotyöt. Tuntimäärät menevät melko lähelle lukiokurssin tuntimääriä. Näin ollen yliopistokurssilla on käytettävissä saman verran aikaa kuin lukiokurssilla, mikä tarkoittaa sitä, että luennoitsija pitää pystyä luottamaan lukiossa opittuihin taitoihin, koska aiheeseen pitää pystyä paneutumaan yliopistokurssilla jo syvemmin. Luennoitsijan ja laskuharjoitusten sekä laboratoriotöiden ohjaajien pätevyydestä ja innokkuudesta riippuen opiskelu voi olla hyvin ohjattua tai itsenäistä ja opiskelijasta itsestään riippuvaista. [7]

Esimerkkinä ajankäytöstä voidaan pitää Knightin kirjassaan tekemiä ehdotuksia. Esimerkiksi varauskäsitteen, Coulombin lain ja alustavaan sähkökentän tutustumiseen tarvittaisiin vähintään kolme päivää. Kolme päivää tarkoittaa tuntimäärällisesti noin 6-8 tuntia luentoja ja saman verran laboratoriotyöskentelyä. Karkeasti ajateltuna Knightin ehdotuksen mukaan kuhunkin aiheeseen käytettäisiin kaksi tuntia luentoaikaa ja kaksi tuntia laboratoriotyöskentelyaikaa. Siis yhteensä käytettäisiin neljä tuntia esimerkiksi varauskäsitteen opiskeluun. [8]

Fysiikka 6 -kirjassa on yhteensä neljä lukua ja 19 kappaletta. Yksi kappale käsittelee sähkövarausta, yksi Coulombin lakia ja yhdessä aloitetaan sähkökentän käsittely, jota

jatketaan myöhemmissä kappaleissa. Physica 6 -kirjassa taas on kahdeksan lukua ja 24 kappaletta. Jälleen yhdessä kappaleessa käsitellään sähkövarausta, seuraavassa Coulombin lakia ja yhdessä sähkökenttää. Nämä aiheet tulevat kummassakin kirjassa vastaan noin kirjan puolivälin paikkeilla. Ei siis ole realistista ajatella opettajan käyttävän näihin kolmeen aiheeseen yhteensä noin kolmasosaa kurssista, kuten Knight kirjassaan ehdottaa. Varsinkin aloitteleva ja aiheeseen tarkemmin perehtymätön opettaja ei näin radikaalia ratkaisua tuntijaon suhteen tee. Toki toiset aiheet painottuvat enemmän ajan käyttöä suunniteltaessa sen mukaan, mitä opettaja pitää tärkeänä ja kuinka kurssi opiskelijoista riippuen etenee. Jos tunnit jaettaisiin tasan kappaleiden kesken, Fysiikka 6 -kirjaa käytettäessä kappaletta kohden jäisi käytettäväksi kaksi tuntia ja Physica 6 -kirjaa käytettäessä noin puolitoista tuntia.

2.2 Teoreettinen tausta

Tarkoituksena on kerrata sähköoppiin ja sähkömagnetismiin liittyviä käsitteitä ja teoriaa lyhyesti. Käsitteily on lukiokurssien jaon mukainen. Tärkeimmät yksittäiset käsitteet löytyvät liitteenä G olevasta sanastosta.

2.2.1 Sähköoppi

Sähköopin opetuksessa yleisesti käytössä olevia komponentteja ovat paristot, akut, säädettävät jännitelähteet, vastukset, diodit ja kondensaattorit. Mittaamisessa käytetään paljon yleismittareita, mutta myös analogiset jännite- ja virtamittarit ovat käytössä. Näiden komponenttien ja laitteiden toimintaan ei paneuduta nyt enempää, vaan palautetaan mieleen opetussuunnitelman sisältämien sähköopin lakien ja keskeisten käsitteiden merkitys.

Lukion opetussuunnitelmassa nimeltä mainittuja lakeja ovat Ohmin laki, Joulen laki, Kirchhoffin lait ja Coulombin laki. Näiden lakien esityksiä ja sisältöjä tarkkaillaan seuraavaksi. Jos esitystavat lukiossa ja yliopistossa poikkeavat toisistaan, erot pyritään tuomaan esille. Maol -taulukot ovat yleisesti käytössä lukioissa, ja oppikirjojen merkinnät vastaavat taulukossa esitettyjä, joten taulukkokirjaa on pidetty lukioesitysten mallina. Taulukkokirjan käyttö on sallittu myös ylioppilaskokeessa. [9]

Ohmin laki kuvaa jännitteen, virran ja resistanssin välistä yhteyttä. Laki pätee vain ohmisille aineille, joiden resistiivisuus ja sen seurauksena myös sähköisten komponenttien resistanssi on vakio. Tämä vaatimus esitetään lukiokirjoissa siten, ettei johtimen lämpötila saa muuttua virran kasvaessa. Lukiossa laki esitetään muodossa

$$U = RI, \quad (2.1)$$

jossa U on potentiaaliero, R resistanssi ja I virta. Toisaalta Young & Fredman esittävät kaavan muodossa

$$V = IR. \quad (2.2)$$

Tässä V vastaa kaavan (1.1) U :ta eli jännitettä. Tämä on yleinen tieteellinen esitystapa. Resistanssin arvo saadaan laskettua kaavasta

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (2.3)$$

jossa ρ on aineen resistiivisyys, L johtimen pituus ja A poikkipinta-ala. [10, s.951] [9, s.124]

Joulen lain avulla esitetään piirissä olevan vastuksen sähköteho. Lukiokirjoissa laki annetaan muodossa

$$P = UI, \quad (2.4)$$

jossa P on sähköteho. Young & Fredman esittävät saman asian muodossa

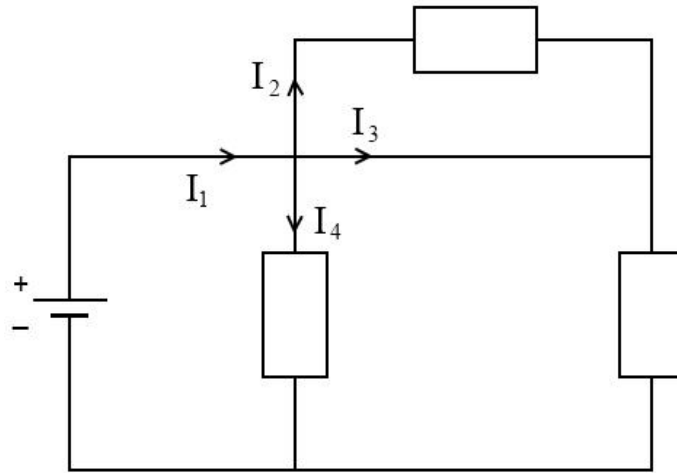
$$P = V_{ab}I = I^2R = \frac{V_{ab}^2}{R}, \quad (2.5)$$

jossa V_{ab} on potentiaaliero piirin kahden pisteen välillä. Vastuksille potentiaaliero määritellään kaavan (1.2) avulla. [10, s.962] [9, s.124]

Kirchhoffin lait perustuvat energian ja sähkövarauksen säilymiseen. Kirchhoffin 1. lain mukaan virtapiirissä solmukohtaan tulevien virtojen summa on sama kuin siitä lähtevien virtojen summa. Tämä on esitetty myös kuvan 1 avulla. Laki perustuu solmukohtaan tulevien varausten säilymiseen. Laki voidaan esittää muodossa

$$\sum I = 0. \quad (2.6)$$

Toisin sanoen, mihin tahansa pisteeseen saapuvien ja lähtevien virtojen algebralinen summa on nolla. Tätä esitystapaa ei käytetä vielä lukiossa, vaikka peruslaskuja lasketaankin käytännössä sen avulla. [10, s.980, 986]

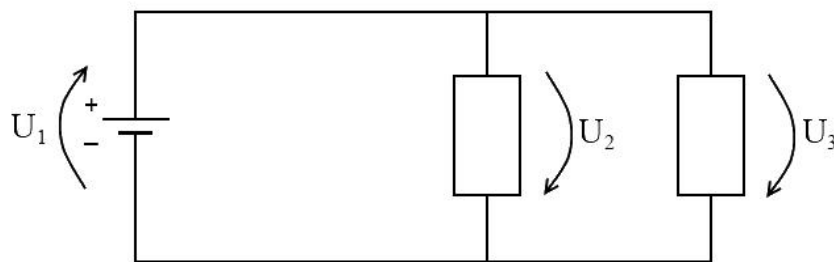


Kuva 1. Kirchhoffin 1. laki. Summakaava voidaan kirjoittaa auki muodossa $I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$, missä valittuun pisteeseen saapuvat virrat saavat plus-etumerkin ja lähtevät miinus-etumerkin.

Kirchhoffin 2. lain mukaan suljetussa virtapiirissä lähdejännitteiden summa on yhtä suuri kuin jännitehäviöiden summa. Tämä laki perustuu piirin kiertävän varauksen energian säilymiseen ja se voidaan esittää muodossa

$$\sum V = 0 \quad (2.7)$$

Tämä pätee suljetuille virtapiireille ja tarkoittaa sitä, että virtapiirin potentiaalierojen summan on oltava nolla. Lakia on kuvattu myös kuvan 2 avulla. [10, s.980, 987]



Kuva 2. Kirchoffin 2. laki. Summakaava voidaan kirjoittaa auki muodossa $U_1 + U_2 = 0$ ja $U_1 + U_3 = 0$. Kirchoffin lain perusteella voidaan kirjoittaa myös lauseke $U_2 - U_3 = 0$, joka on myös käyttökelpoinen. Potentiaaliero on negatiivinen kuljettaessa vastuksen läpi virran suuntaan tai jännitelähteen läpi virtaa vastaan ja päinvastoin. [g, s. 987]

Coulombin laki kuvaa kahden pistevarauksen välistä voimaa. Lain mukaan voiman suuruus on suoraan verrannollinen pistevarausten varauksien tuloon ja kääntäen verrannollinen niiden etäisyyden neliöön. Lukiokirjoissa kaava esitetään muodossa

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}, \quad (2.8)$$

kun taas Young & Fredman esittävät sen muodossa

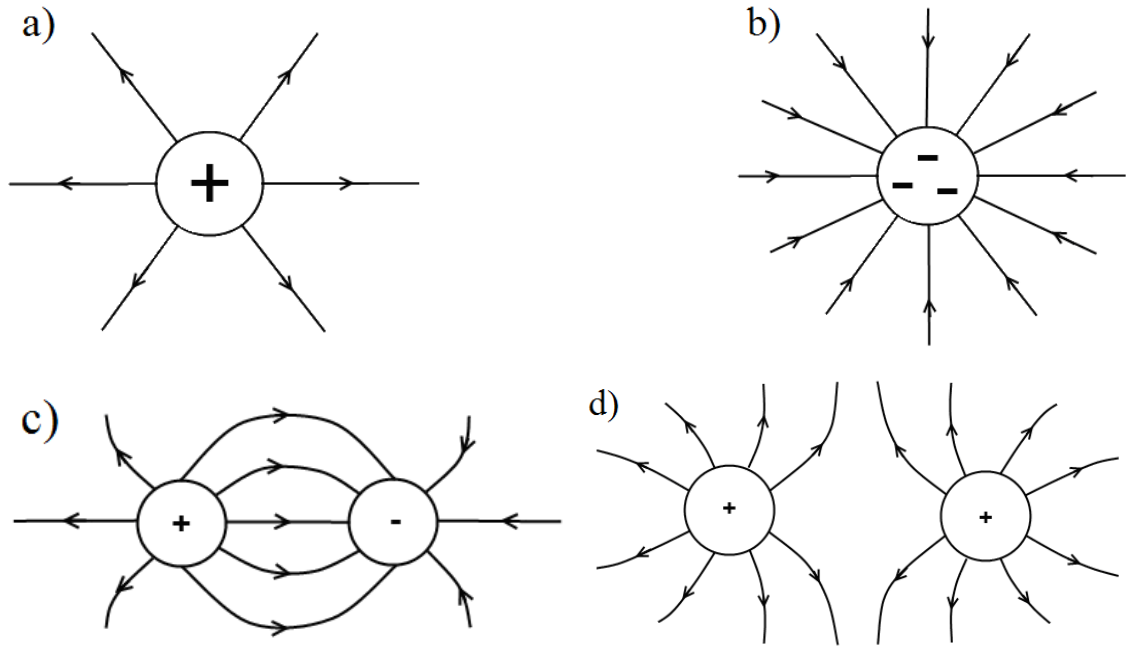
$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}, \quad (2.9)$$

joissa F on varausten välinen voima, Q_i ja q_i varausten suuruus ja k on suhteellisuusvakio, jonka numeerinen arvo riippuu käytettävistä yksiköistä. Suhteellisuusvakio k määritellään kaavalla

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad (2.10)$$

missä ϵ_0 on tyhjiön permeabilitetti ja niin ikään vakio. Suhteellisuusvakion saa SI-järjestelmän yksiköitä käytettäessä arvon $8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. [10, s.800-801] [9, s.123]

Sähkövarausten keskinäinen vuorovaikutus voidaan helpoimmin ymmärtää sähkökentän avulla. Sähkövaraukset kohdistavat toisiinsa Coulombin laissa (2.9) määritellyn suuruisen voiman, jonka välittyminen selitetään sähkökentän avulla. Sähkökenttä määritellään tietyssä avaruuden pisteessä varaukseen kohdistuvan sähköisen voiman avulla ja sen suuruus riippuu tarkasteltavasta avaruuden pisteestä, sekä sen varauksen suuruudesta, johon sähköinen voima vaikuttaa. Sähkökenttää voidaan havainnollistaa kenttäviivoilla kuvan 3 mukaisesti tai kenttävektoreilla, mikä on Knightin mukaan suositeltavaa. [10, s.805-807] [8]

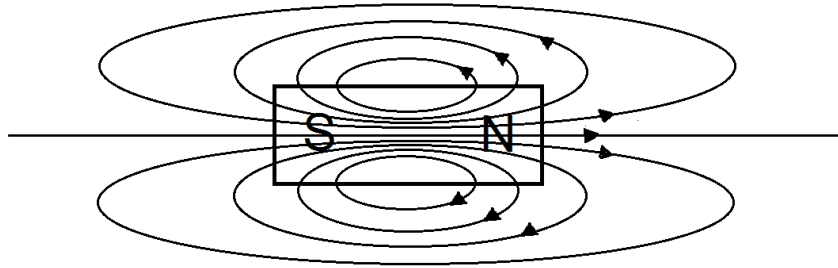


Kuva 3. Sähkökentän kuvaaminen kenttäviivoilla. On sovittu, että sähkökenttä suuntautuu positiivisesta varauksesta poispäin. Kenttäviivojen tiheys kuvaa kentän voimakkuutta. Nämä asiat näkyvät kuvista 3a ja 3b. Kuvien 3c ja 3d perusteella voidaan havainnollistaa sitä, kuinka erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa, kun taas samanmerkkiset hylkivät toisiaan.

2.2.2 Sähkömagnetismi

Lukion opetussuunnitelmassa nostetaan erikseen esille sähkömagnetismin käsitteistä esimerkiksi magneettikenttä, magneettinen voima, induktiolaki, Lenzin laki ja induktioilmiö. Näiden käsitteiden ymmärtäminen on keskeistä kurssin sisällön kannalta.

Liikkuvat varaukset synnyttävät ympärilleen sähkökentän lisäksi magneettikentän. Paikallaan olevat varaukset eivät muodosta magneettikenttää eikä magneettikenttä vaikuta paikallaan oleviin varauksiin. Magneettikentän suuruus riippuu sen synnyttäneen varauksen suuruudesta ja nopeudesta. Magneettikenttää voidaan kuvata kenttäviivojen avulla sähkökentän tapaan kuvassa 4 esitetyllä tavalla. [10, s.1019, 1064-1066]

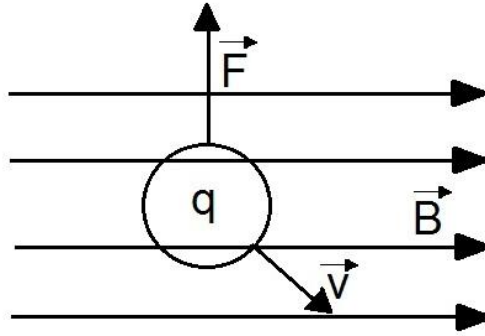


Kuva 4. Magneettikenttä voi muodostua esimerkiksi virtasilmukan, käämin tai kuten kuvassa kestopagneetin ympärille. Kuvassa magneettikenttä on kuvattu kenttäviivoilla.

Magneettinen voima aiheutuu liikkuvien varausten vuorovaikutuksesta ja se voidaan kuvata kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa liikkuva varaus tai sähkövirta synnyttää magneettikentän ympäröivään avaruuteen. Toisessa vaiheessa magneettikenttä kohdistaa magneettisen voiman mihin tahansa kentässä liikkuvaan varaukseen tai sähkövirtaan. Magneettisen voiman suuruus riippuu kolmesta tekijästä: magneettikentässä liikkuvan varauksen suuruudesta, sen nopeudesta ja magneettikentän voimakkuudesta. Magneettinen voima voidaan helpoimmin laskea ja ymmärtää vektorimuodossa

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}, \quad (2.11)$$

jossa \vec{F} on magneettinen voima vektorimuodossa, q varauksen suuruus skalaarimuodossa, \vec{v} varauksen nopeus vektorimuodossa ja \vec{B} magneettikenttä vektorimuodossa. Magneettinen voima on aina kohtisuorassa varauksen liikettä ja magneettikenttää vastaan kuvassa 5 esitetyllä tavalla. Lukiossa vektoriesityksiä ei varsinaisesti käydä läpi, vaikka ne saatetaankin mainita. Voiman suunta selvitetään oikean käden säännön avulla, kun sen suuruus on laskettu kaavasta $F = qvB$. [10, s.1019, 1022-1023][11, s.38][12, s.30]



Kuva 5. Magneettikentän, magneettisen voiman ja varauksen liikkeen suunnat toisiinsa verrattuna. Jos kahden vektorin suunnat tiedetään, saadaan kolmannen suunta selville oikean käden säännön avulla. Jotta \vec{F} olisi kuten kuvassa, pitää \vec{v} :n olla kohtisuorassa paperin kanssa.

Magneettikentän vuo kuvaa magneettikentän voimakkuutta tietyn pinnan läpi. Magneettikentän vuon muuttuessa magneettikentässä olevaan johdinsilmukkaan indusoituu sähkömotorinen voima ja virta. Sähkömotorinen voima ei ole todellisuudessa voima, vaan sillä kuvataan ilmiötä, joka saa aikaan varausten liikkumisen alhaisemmasta korkeampaan potentiaaliin. Magneettikentän vuon muuttuessa suljettuun johdinsilmukkaan indusoituva sähkömotorinen voima voidaan laskea Faradayn induktiolain avulla. Faradayn induktiolaki voidaan esittää muodossa

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (2.12)$$

jossa ε on johdinsilmukkaan indusoitunut sähkömotorinen voima ja $\frac{d\Phi_B}{dt}$ magneettikentän vuon muutos ajan suhteen. Lukiokirjoissa kaava esitetään muodossa

$$e_k = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (2.13)$$

jossa e_k on johdinsilmukan syntyvä induktiojännite. Sama kaava löytyy Maol-talukoista muodossa

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (2.14)$$

jossa N kuvaa käämissä olevien kierrosten lukumäärää. Oppikirjoissa esitetty kaava on poikkeustapaus Maolin yleisestä muodosta. [10, s.1105-1109]

Johdinsilmukkaan indusoitunut virta voidaan laskea sähkömotorisen voiman avulla, kun johdinsilmukan resistanssi tunnetaan. Jos johdinsilmukkaan ei ole kytkettynä piirikomponentteja, indusoitunut sähkövirta voidaan laskea kaavasta

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad (2.15)$$

jossa R on johdinsilmukan resistanssi. Samaa laskentakaavaa voidaan käyttää myös johdinsilmukoille joihin on kytketty piirikomponentteja huomioimalla komponenttien resistanssit. [10, s.955-957, 1027]

Faradayn induktiolaki ei kerro suoraan indusoituneen sähkömotorisen voiman suuntaa. Suunta voidaan selvittää oikean käden säännön, pinnan normaalin ja magneettikentän vuon ja sen muutoksen suuruuden avulla. Vaihtoehtoisesti induktioilmiön suunta voidaan selvittää Lenzin lain avulla. [10, s.1110-1111, 1118]

Lenzin lain mukaan indusoituneen virran suunta on sen aiheuttamaa muutosta vastaan. Indusoitunut virta aiheutuu aina magneettikentän vuon muutoksesta, jonka taas voi aiheuttaa magneettikentän lähteen liikkuminen johdinsilmukan suhteen tai johdinsilmukan liikkuminen magneettikentässä. Indusoitunut virta vastustaa magneettivuon suuruuden muutosta johdinsilmukan läpi. Jos magneettikentän vuo pienenee, indusoituneesta virrasta aiheutuva magneettikenttä pyrkii vastustamaan muutosta eli on alkuperäisen kentän kanssa samaan suuntaan. Jos taas magneettikentän vuo kasvaa, indusoituneen virran aiheuttama magneettikenttä on alkuperäisen kentän kanssa vastakkaisuuntainen. [10, s.1118-1119]

3 Oppikirja-analyysi

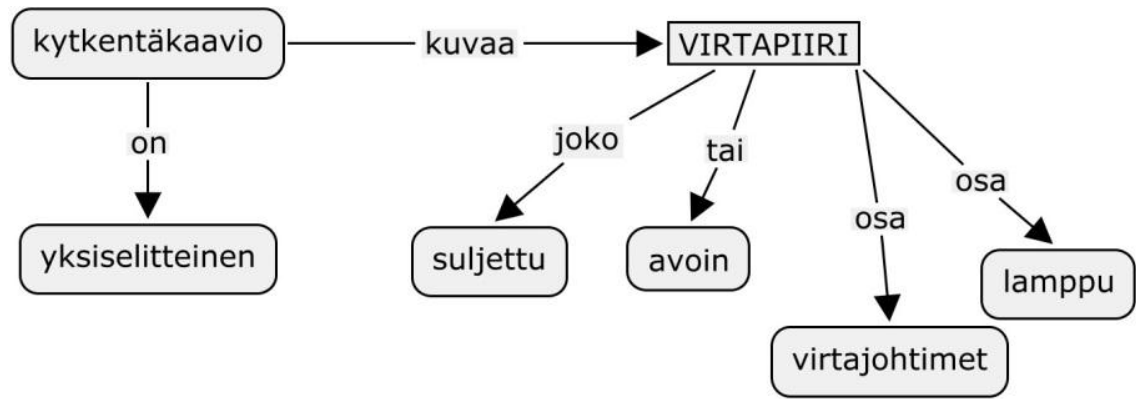
3.1 Käsitekartoista

Fysiikassa käsitteet ja tietorakenteet muodostuvat usein hyvin hierarkkisesti. Tästä syystä oppikirja-analyysissä on käytetty apuna käsitekarttoja. Käsitekarttojen avulla on pyritty selvittämään, miten oppikirjoissa käytetyt käsitteet kytkeytyvät tekstissä toisiinsa. Käsitekartat olisi voitu koota monella eri tavalla. Työssä käytettävien käsitekarttojen avulla on tarkoitus selvittää, kuinka tiiviisti ja millaisilla keinoilla käsitteet on kirjoissa liitetty toisiinsa. [13]

Käsitekarttojen käyttö oppimisen tukena on hyödyllistä. Käsitekarttaa rakentaessa tieto tulee organisoiduksi ja paremmin järjestetyksi. Samalla yhteyksien miettiminen selkeyttää kokonaiskuvaa opittavasta asiasta. Tieto myös säilyy paremmin käsitekartan avulla. Pääkohtien muistaminen suurestakin käsitekartasta on monille opiskelijoille helpompaa kuin muun materiaalin avulla. Käsitekarttojen käyttö sopii myös kaiken ikäisille oppijoille. Tekniikka on yksinkertainen ja kun sen on kerran oppinut, sitä on helppo soveltaa haastavampiinkin kohteisiin. [2] [3] [14]

Käsitekarttoja voidaan käyttää monipuolisesti. Opittavan materiaalin analysointi ja organisointi ovat vain yksi hyödyntämiskohde. Käsitekarttoja voidaan käyttää myös esim. arviointivälineenä oppilaiden oppimisen seurannassa. Se, kuinka käsitekartta kootaan ja mitä siihen sisällytetään, riippuu käyttötarkoituksesta. Käsitekarttojen käyttöä tulee kuitenkin harjoitella, eikä niitä pidä sotkea miellekarttoihin, jotka kuvaavat tekijänsä ajatuksia aihekokonaisuudesta pohjautumatta vahvasti tarkistettuun tietoon. [2] [3]

Käsitekarttoja ja niiden käyttöä tutkitaan koko ajan. Oppimisvälineenä käsitekarttaa pidetään hyvänä, vaikka siihen sisältyykin puutteita. Mielikuvitus luo rajat käsitekarttojen käytölle. Graafinen kaksiulotteisuus voi vaikeuttaa käsitekarttojen yhteyksien hahmottamista. Monia puutteita voidaan helpottaa soveltamalla käsitekarttoja eri tavoin ja myös käyttämällä niiden kokoamisessa erilaisia menetelmiä. Yhtenä puutteena voidaan pitää käsitekartan kokoajan työskentelemistä yksin. Käsitekarttaa rakentaessaan oppija joutuu usein yksin päättämään käsitteet ja selvittämään niiden välisiä yhteyksiä. Jos tämä ongelma halutaan välttää, voidaan käsitekartta tehdä myös ryhmissä tai pareittain, jolloin syntyy myös keskustelua aiheesta. Toisaalta käsitekartat voidaan purkaa isommassa ryhmässä. [3]

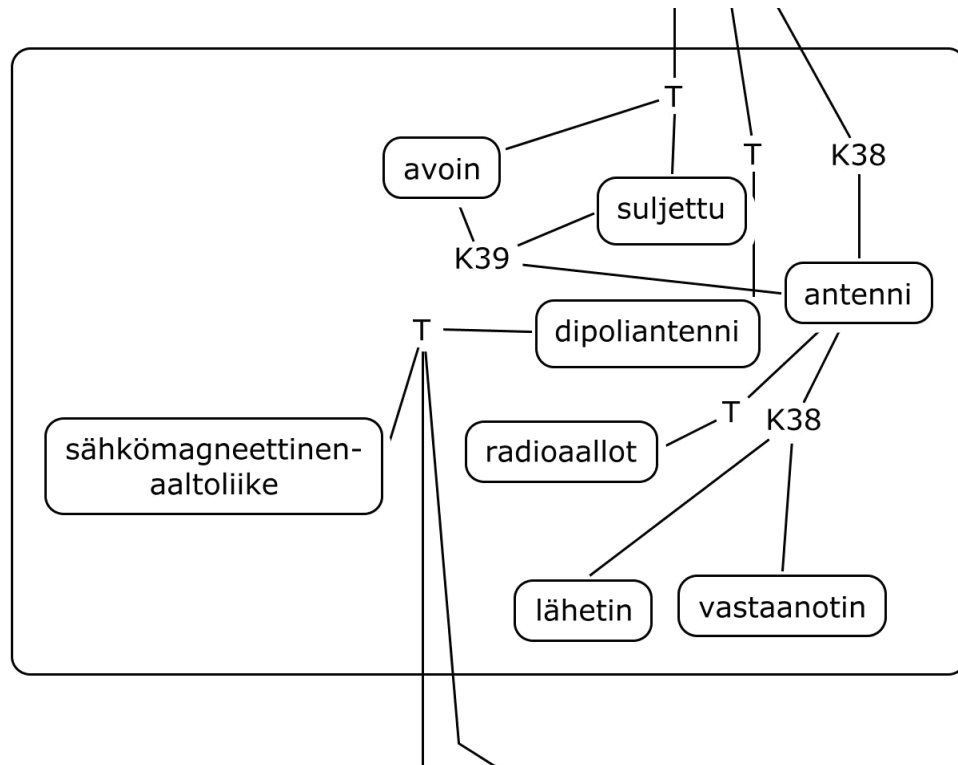


Kuva 7. Novakilainen käsitekartta rakentuu hierarkkisesti ylhäältä alaspäin. Nuolet osoittavat linkin suunnan ja linkkisanat kuvaavat käsitteiden välistä relaatiota.

Tässä työssä käytetyt käsitekartat, jotka ovat liitteinä A-F, eivät täytä novakilaiselle käsitekartalle asetettuja ehtoja. Koska käsitekarttojen avulla on tarkoitus saada kuva koko kirjan sisällöstä, käsitekartasta on mahdotonta tehdä hierarkkista. Käsitteiden ja linkkiviivojen suuri määrä tekee käsitekarttojen lukemisesta haastavaa, mutta käsitekartat on kuitenkin jäsennetty kirjojen lukujen perusteella, mikä selkeyttää hieman rakennetta. Käsitekartoissa on pyritty saamaan esille tärkeimmät käsitteet ja se kuinka käsitteet on kytketty toisiinsa. [15]

Käsitekarttojen solmukohtiin on valittu kirjoissa esitettyjä uusia käsitteitä ja fysiikan lakeja. Linkkiviivat puolestaan kuvaavat loogisia toimenpiteitä tai kokeellista yhteyttä solmujen välillä. Tällaisessa käsitekartan kokoamisessa käsitekartan laatua ei voida arvioida sen hierarkkisyyden perusteella. Linkkiviivojen määrä kertoo kuitenkin käsitekartan eheydestä. Käsitteet voivat olla vahvasti sidottuja tietorakenteeseen tai joskus irrallisia siitä, mikä on joskus tietoinen pedagoginen valinta. Käsitteeseen liittyvien linkkiviivojen määrä kuvaa käsitteen sitoutumista muuhun tietoon. [15]

Käsitekartoissa käsitteiden välisiä yhteyksiä kuvataan merkinnöillä T ja K. T viittaa käsitteiden yhdistämiseen tekstin avulla ja K kertoo käsitteiden tulevan esille kokeellisen työn avulla. Numero kertoo kuinka monennesta kirjan kokeellisesta työstä on kyse. Esim. merkintä K11 tarkoittaa, että käsitteet yhdistetään toisiinsa kirjan yhdennessätoista työssä. Physica 6 -kirjassa muutama käsite otettiin käyttöön kuvien ja kuvatekstien avulla. Näitä yhteyksiä merkittiin S:llä. Kuvassa 8 on Fysiikka 7 -kirjan luvusta 4.2 koottu rakenne, josta näkyy linkkiviivojen merkitseminen. Ammattiopiston oppimateriaalista rakennetussa käsitekartassa käsitteet on yhdistetty s-merkinnällä. Materiaali sisälsi vain oppilastoita, joten käsitteiden yhdistymisjärjestyksestä on kuvattu sivunumeroiden mukaan. Siis merkintä s15 tarkoittaa, että käsitteet on sidottu toisiinsa sivulla 15.



Kuva 8. Käsitekartan rakenteen muodostuminen ja linkkiviivojen merkintöjen käyttäminen

Käsitekarttoja rakennettaessa huomiota on kiinnitetty oppikirjojen tekstiosuuksiin ja kokeellisiin töihin. Kirjoissa olevien lasku- ja tiedonetsintätehtävien kartoittamiseen olisi kulunut paljon lisää aikaa ja koska niitä käytetään tekstiosia valikoidummin opetuksessa, päätettiin niiden käsittely jättää nyt tekemättä.

Lukion opetussuunnitelmassa sanotaan hyvin väljästi sähköopin kohdalla, että kurssitavoitteisiin kuuluu sähköä peruskäsitteiden hallitseminen. Käsitekarttoihin on kerätty kirjoista tärkeimpiä käsitteitä, jotka ovat suurelta osin kirjantekijöiden erikseen korostamia, mutta mukaan on mahtunut muutama muukin, ja jokin yksittäinen käsite on voinut jäädä pois.

Käsitekartan luettavuuden takia kaikki yhteyksiä ei voitu sisällyttää kuvaan. Esim. Fysiikka 6 -kirjassa puhuttiin ensin paristojen rinnan ja sarjaan kytkennästä ja omassa luvussaan vielä jännitelähteiden rinnan ja sarjaan kytkennöistä yleisemmin. Koska jännitelähteistä menee yhteys paristoihin ja paristoista erilaisiin kytkentöihin, jätettiin linkkiviivojen vetäminen erikseen jännitelähteistä erilaisiin kytkentöihin tekemättä. Näitä tapauksia ei kuitenkaan ollut montaa.

3.2 Kirjasarjoista

Käsittekarttojen tekemistä ja vertailua varten on valittu lukioissa paljon käytössä olevat kirjasarjat. Suosituimmat kirjasarjat ovat Tammen Fysiikka ja WSOY:n Physica. Nämä ovat laajasti käytössä ja opettajien suosiossa. Kirjojen tyylit poikkeavat toisistaan ja ne jakavat opettajien mielipiteitä.

Pääpaino työssä on lukion materiaalilla, mutta vertailua varten haluttiin mukaan ottaa myös yksi ammattiopiston kirja sekä yliopistossa käytössä oleva luentomateriaali samasta aiheesta. Ammattiopiston ja yliopiston materiaalit eivät yksin riitä aiheen opettamiseen, vaan niiden lisäksi on käytettävä muuta materiaalia tarpeen mukaan. Valituista materiaaleista käy kuitenkin ilmi, millaisia aihealueita näissä koulutusohjelmissä pyritään käymään läpi.

3.2.1 Fysiikka-kirjasarja

Fysiikka-kirjasarjassa Fysiikka 6 käsittelee sähköä ja Fysiikka 7 sähkömagnetismia. Kirjat ovat ulkoasultaan selkeitä ja helposti luettavia. Teksti on sijoitettu yhteen palstaan ja marginaaleihin on sijoitettu kytkentäkaavioita ja kuvia kuvateksteineen. Esimerkkilaskut on erotettu muusta tekstistä punaisilla viivoilla. Lukujen lopussa on erilliset ”Pohdi ja etsi” -osiota sekä tehtäväosuudet. [17] [11]

Oppilastyöt sulautuvat muuhun tekstiin. Oppilastyön ohje on erotettu tekstistä sinisellä viivalla ja ”oppilastyö” -merkinnällä. Itse työ käydään aina tekstissä läpi ja siinä tehdyt havainnot selitetään tekstissä. Myös laskut ja kuvaajat esitetään ja niiden sisältö käydään läpi. Kirja rakentuu oikeastaan oppilastöiden pohjalle siten, että ensin esitetään tehtäväksi jokin työ ja työtä apuna käyttäen asiat käydään tarkemmin läpi.

Tärkeimmät teoria-asiat ja kaavat on painettu kellertävälle pohjalle. Tekstistä uudet asiat nostetaan esille lihavoinnin avulla. Lukujen loppuun on koottu tiivistelmä tärkeimmistä uusista asioista luettelon tyyppisesti.

3.2.2 Physica-kirjasarja

Physica-kirjasarjan kuudes osa käsittelee sähköä ja seitsemäs sähkömagnetismia. Kirjat on siis pyritty tekemään lukion opetussuunnitelmaa vastaaviksi. Ulkoasultaan kirja on hieman rikkonainen. Teksti on sijoitettu kahteen palstaan. Kuvat ja kuvatestit ovat joko tekstin välissä tai marginaaleissa. Osa opittavasta asiasta esitetään kuvien ja kuvatekstien avulla. Esimerkkilaskut on erotettu tekstistä selkeästi omiin alueisiinsa. Tehtävät on kerätty luvun loppuun ja jaoteltu siellä alaotsikoiden mukaan. [18] [12]

Tutki ja kokeile -oppilastyöt on suljettu omiin laatikoihinsa. Työtä varten annetaan aina lyhyt ohje ja esitetään muutama tärkeä kysymys. Töihin ei kuitenkaan yleensä suoranaisesti viitata itse tekstissä, vaan opiskelijat ja opettaja valitsevat kuinka syvällisesti töihin paneudutaan.

Tärkeimmät teoria-asiat on kehystetty oransseihin laatikoihin joille on annettu aihetta kuvaava otsikko. Nämä helpottavat kirjan silmäilemistä. Myös käsitteiden lihavoiminen auttaa uuden asian löytämistä tekstistä. Lukujen loppuun on kerätty yhteenvetona yksinkertainen käsittekartta uusista asioista opiskelijoita varten.

3.2.3 Ammattiopiston oppikirja

Ammattiopistossa opiskelu lähtee liikkeelle aiheeseen liittyvistä töistä ja ongelmanratkaisusta. Tämä ero lukioon verrattuna huomataan jo opetussuunnitelmia vertaillaessa. Jyväskylän ammattiopistolla elektroniikan osastolla, jossa sähköoppiin liittyviä asioita opetetaan, ei ole käytössä yhtä pääasiallista oppikirjaa, jota kaikki opiskelijat käyttäisivät. Opiskelijat etenevät omaan tahtiinsa ja materiaalia räätälöidään aina tarpeen mukaan erilaisia lähteitä käyttäen.

Yksi käytössä olevista kirjoista on Kaarlo I. Railo Oy:n Laajennettu ESS-1 työkirja. Tästä kirjasta opettajien suosiossa on erityisesti kirjan 3. osa, joka pohjautuu Eero Liuskan päättötyöhön ja on suunniteltu avuksi sähkötekniikan yleisjakson elektroniikan ja sähkötekniikan opetukseen. [19]

Osio sisältää ainoastaan erillisiä harjoitustöitä elektroniikkaan ja sähkötekniikkaan liittyen. Teoria-asiat on tarkoitus opiskella jonkin muun kirjan avulla. Koska erillisiä töitä on paljon, eikä niitä pyritä aktiivisesti yhdistämään toisiinsa, jäävät kytkennät eri käsitteiden välillä heikoiksi.

3.2.4 Jyväskylän yliopiston materiaali

Jyväskylän yliopistossa on fysiikan perusopinnoissa tällä hetkellä oppikirjana Knightin *Physics for Scientists and Engineers* (2nd edition). Tämän teoksen pohjalta lehtori Juha Merikoski on laatinut luentomateriaalin tavallista ripeämpään tahtiin fysiikan opintoja suorittaville ensimmäisen vuoden opiskelijoille. Tätä luentomateriaalia on käytetty käsittekartan pohjana ja siitä verrataan lukion opintomateriaalien sisältöihin. [20]

Luentomateriaali sisältää ainoastaan luennoilla käytävät aihealueet. Kurssiin kuuluu erikseen laskuharjoitukset sekä laboratoriotyöt, mutta näitä ei ole otettu tarkasteluun mukaan. Tarkoituksena on ollut löytää tärkeimmät ja lukioon verrattuna uudet käsitteet yliopiston sähköopin ja sähkömagnetismin perusopinnoista.

4 Opetuksen haasteita

Sähköoppi ja sähkömagnetismi koetaan usein vaikeaksi niin opettajien kuin opiskelijoidenkin puolelta. Moni tutkija on pyrkinyt kartoittamaan haasteita ja ennakkokäsityksiä, joita sähköoppiin ja sähkömagnetismiin liittyy. Näihin haasteisiin pyritään myös löytämään ratkaisumalleja. Haasteet tulevat selvästi esille lukio-opetuksessa, jossa tavoitteet ovat korkealla, aiheet vaativia ja aikaa rajallisesti käytössä. Vaikka suurin osa tutkimuksista on tehty ulkomailla, kuten Yhdysvalloissa, tuloksia voidaan soveltaa myös suomalaiseen koulutusjärjestelmään.

Yksi suurimmista haasteista sähköopin ja sähkömagnetismin opetuksessa on niiden abstraktius. Konkreettisuutta vähentävät niin monimutkaiset ja uudet kaavat, kuin se, ettei käytettäviä suureita useinkaan voida suoraan aistein havaita tai mitata. Lisäksi opiskelijat ovat hyvin vähän tekemisissä käytännön piirien, mittareiden, moottoreiden ja magneettien kanssa, vaikka niitä on kaikkialla ympärillämme. [8]

Ratkaisu tähän suureen haasteeseen ovat laboratoriotyöt ja demonstraatiot. Töiden ja demonstraatioiden sisältö on suunniteltava huolellisesti, mutta vähintään yhtä tärkeää on töiden oikeanlainen toteuttaminen ja ilmiöiden käsittely työn valmistuttua. Opiskelijoille ei pitäisi tarjota töitä, jotka he voivat suorittaa kaavamaisesti ohjetta lukien. Tällaisessa tilanteessa työn tarkoitus ja ilmiön selittäminen usein unohtuvat. Vaikka työ olisi yksinkertainen, se voi tarjota opiskelijoille paljon enemmän oppimismahdollisuuksia, kun he keskustelevat työstä sekä selittävät ja perustelevat havaintojaan. Tärkeää on siis saada opiskelijat mukaan opetukseen sekä pohtimaan ja selittämään muuten abstrakteiksi jääviä ilmiöitä. Opiskelijoiden oma työskentely on myös ainoa tie virhekäsitysten poistamiseksi. [8]

Yleisten koko sähköoppia ja sähkömagnetismia koskevien haasteiden lisäksi voidaan nostaa esille yksittäisiin käsitteisiin ja ilmiöihin liittyviä ongelmia. Esimerkiksi paljon tarvittu käsite varaus ei ole opiskelijoille yksinkertainen ymmärtää. Moni kuvittelee varauksen liittyvän vain elektroneihin tai ajattelee että varausta on olemassa kolmea laatua: positiivinen, negatiivinen ja neutraali varaus. Lisäksi ymmärrys varauksen kuljettajista on hyvin hatara. Nämä ovat kuitenkin erittäin keskeisessä roolissa sähköisten ilmiöiden ymmärtämisen kannalta. [8]

Varaus käsitteen määrittelemisessä tulee olla huolellinen. Varausta ei voi nähdä, joten sen opettamisen tulisi perustua erilaisten kokeiden tekemiseen. Sähköön liittyvät työt ovat kuitenkin hyvin herkkiä ja epävarmoja ja lisäksi niiden toistettavuus täysin samanlaisina on hankalaa. Tästä huolimatta kokeet tulisi tehdä useampaan kertaan.

Opiskelijoiden tulisi ymmärtää mitä varaus on ja kuinka mikro- ja makrotason ilmiöt liittyvät toisiinsa. Lisäksi neutraalin käsite on tehtävä opiskelijoille selväksi. [8]

Coulombin laki on hyvä ottaa käyttöön pistevarauksista puhuttaessa. Tällöin on tärkeää painottaa sen soveltuvuutta ainoastaan pistevarauksille. Laskut ja kaavat on hyvä pitää yksinkertaisina ja keskittyä samalla ilmiöiden selittämiseen. Esimerkiksi voiman suunta on pääteltävissä varauksista, eikä sitä saa suoraan laskukaavasta selville.

Kenttä on yksi haastavimmista käsitteistä opiskelijoille. Yksi vaikeimmista asioista on ymmärtää, ettei kenttä rajoitu vain tiettyyn alueeseen varauksen ympärille. Kenttävektoreita käytettäessä tulisi korostaa vektorin kuvaavan lähtöpisteensä kenttää. Kenttäviivoja sen sijaa ei välttämättä ole hyvä käyttää ollenkaan, koska opiskelijat eivät ymmärrä niiden merkitystä ja sekoittavat ne kenttävektoreiden kanssa helposti. Kuvat ovat tässä kohtaa petollisia, koska ne ovat vain malleja, joilla asiaa pyritään havainnollistamaan. Kaikkea ei voi saada yhteen kuvaan. Kuvien rajallisuus näkyy esimerkiksi kappaleessa 2.2.1. olevassa kuvassa 3, jossa sähkökenttää on mallinnettu erittäin yksinkertaisella tavalla tavalliseen tapaan kenttäviivojen avulla. Näissä kuvissa ei ole edes viittausta vaikkapa sähkökentän kolmiulotteisuuteen. [8, s.200]

Kentän avulla on tarkoitus pystyä selittämään kahden sellaisen varauksen välistä vuorovaikutusta, jotka eivät ole kosketuksissa toisiinsa. Yksinkertainen demonstraatio, jolla kentän luonnetta voidaan havainnollistaa, on käyttää testivarausta ja lähdevarausta. Testivarauksena voi toimia kevyt varattu pallo ja lähdevarauksena varattu sauva. Kun testivarausta liikutetaan lähdevarauksen ympärillä, huomataan kentän olemassaolo ja sen vaikutus testivaraukseen. Samalla voidaan tarkistaa, että opiskelijat ymmärtävät sähkökentän olevan olemassa myös ilman testivarausta. Vasta tällaisen yleisen tarkastelun jälkeen voidaan päätyä superpositioperiaatetta käyttäen soveltamaan Coulombin lakia. [8, s.200]

Virtapiirien kuvaaminen kytkentäkaavioilla on oleellinen osa sähköoppia. Näin ollen kytkentäkaavioiden merkintöjen ymmärtäminen, kuten myös virtapiirien luonteen ymmärtäminen on tärkeää. Tasavirtapiirien käsittely on huomattavasti tärkeämpää kuin vaihtovirtapiirien. Vaihtovirtapiirit voitaisiin oikeastaan jättää kokonaan käsittelemättä sähköopin peruskurssilla, koska mikään myöhempi osa-alue ei vaadi niiden osaamista. Vaihtovirtapiirejä koskevat tiedot ehtii opiskella myöhemminkin, kun niille ilmenee tarvetta. [21] [8, s.12]

Opiskelijoilla on hankaluuksia erottaa rinnan- ja sarjakytkenät toisistaan. Lisäksi opiskelijoilla on paljon virtapiireihin liittyviä virhekäsityksiä. Esimerkiksi virran kuluminen piirissä ja pariton pitäminen tasavirtalähteenä ovat hyvin yleisiä virhekäsityksiä. Lisäksi opiskelijat kuvittelevat virtapiirin usein putkistoksi, jossa sähkövirta liikkuu veden tavoin. Kun näiden virhekäsitysten pohjalta aletaan selittää virtapiireihin liittyviä ilmiöitä, eivät päätelmät useimmiten mene oikein. [21]

Käsitteellisiin haasteisiin päästään, kun aletaan tarkkailla opiskelijoiden selitysmalleja. Opiskelijoilla sekoittuvat virran, jännitteen, resistanssin, energian ja tehon ominaisuudet keskenään. Useimmiten kuvitellaan virran ominaisuuksien liittyvän näihin kaikkiin käsitteisiin. Opiskelijat eivät myöskään selitä ilmiötä johdonmukaisesti, vaan päätyvät selitykseen aina jokaisen ongelman kohdalla erilaisia ajatus- ja ratkaisumalleja käyttäen. Yhtä selkeää ratkaisumallia näiden virhekäsitysten poistamiseen ei ole, mutta opettajan johdonmukaisuus niin käsitteiden kuin ilmiöiden selittämisen osalta korostuu opiskelijoiden puutteiden takia. [21]

Potentiaali on useimmille opiskelijoille kaikkein vaikein käsite oppia. Tähän on syynä se, että potentiaali ei liity selkeästi tunnettuihin ilmiöihin ja on muutenkin abstrakti käsite. Potentiaalia ei myöskään osata usein yhdistää sähkökenttään ja siten hyödyntää ongelmanratkaisussa. Opiskelijoilla menevät helposti sekaisin potentiaali ja potentiaalienergia. Näiden ero tulee tehdä selväksi. Lisäksi merkintöjen takia saatetaan sotkea potentiaali (V), potentiaaliero (ΔV) ja yksikkö voltti (V). Monissa kirjoissa merkitään potentiaaliero V :llä, mikä lisää opiskelijoiden vaikeuksia. Itse potentiaalikäsitteen voi opettaa monella tapaa. Suositeltava tapa on kuitenkin lähteä liikkeelle itse potentiaalista ja yhdistää se sen jälkeen energian säilymiseen. Tämän jälkeen voidaan alkaa puhua potentiaalierosta. [8, s.221, 222, 224, 223]

Kun päästään puhumaan potentiaalierosta, voidaan alkaa käsitellä myös paristoja jännitelähteinä. Monet opiskelijat pitävät paristoja tasavirtalähteinä. Paristojen toiminnan ymmärtäminen vähentää näitä virhekäsityksiä. Opiskelijoiden tulee ymmärtää, että paristo tekee työtä siirtäessään varauksen kuljettajia alemmasta potentiaalista korkeampaan potentiaaliin. Pariston energia on kemiallista energiaa. [8, s.222, 226]

Sähkömagnetismissä peruskäsitteitä kuten magneettikenttä ja itse magneetti ovat hyvin vaikeita määrittellä. Opiskelijat sekoittavat usein sähkövarauksen ja magneettisen navan sekä sähkökentän ja magneettikentän keskenään. Opiskelijoiden kokemukset magnetismista rajoittuvat lähinnä jääkaappimagneetteihin, mikä tekee opetuksen aloittamisesta haastavaa. [8, s.255-256]

5 Ratkaisuja opetusmateriaaleissa

5.1 Käsitekarttojen analyysiä

Koottujen käsitekarttojen tulkitseminen on aikaa vievää ja haastavaa. Muutamia peruskäsitteitä on pyritty kuitenkin tarkastelemaan nyt tarkemmin ja nostamaan niihin liittyviä huomioita esille. Tehdyt havainnot on pyritty kokoamaan vielä taulukkoon 1, joka on kappaleen 5.2 lopussa.

Sähkövarauksen käsitteleminen sijoittuu Fysiikka-kirjasarjassa Sähkö-kirjan puoliväliin. Käsitteily aloitetaan tekemällä oppilastyö, jonka tavoitteena on huomata sähkövarauksen kaksi lajia. Neutraaleista kappaleista ei puhuta mitään. Mikro- ja makrotaso yritetään tekstissä saada yhdistettyä toisiinsa. Käsitekartastakin näkee, että sähkövarausta pyritään käymään läpi niin oppilastyön kuin tekstin avulla. Myös yhteys Coulombin lakiin löytyy käsitekartasta. Kirjassa myös vältetään puhumasta ainoastaan negatiivisista elektroneista varauksenkuljettajina. Jos mainitaan elektronin negatiivinen varaus, mainitaan myös jotain positiivisesti varautuneesta hiukkasesta. Tämä tukee opiskelijoiden käsitystä erilaisista varauksen kuljettajista.

Physica-kirjasta tehdyn käsitekartan tarkastelu antaa väärän kuvan kirjan tavasta käsitellä sähkövarausta. Tämä johtuu käsitekarttojen rakentamistavasta. Kirjan tekstiä tarkastelemalla huomataan, että kokeellisuuden avulla saadaan käyttöön negatiivinen ja positiivinen varautuminen, sekä määritellään tärkeä neutraali kappale. Coulombin lain ja sähkövarauksen yhteys ei ole selvästi luettavissa käsitekartasta, mutta löytyy kuitenkin sieltä.

Fysiikka-kirjasarjassa sähkökenttää kuvataan kenttäviivojen avulla. Lukiossa sähkökentät ovat melko yksinkertaisen muotoisia, joten kenttäviivat auttavat opiskelijoita ymmärtämään kentän jatkumisen avaruudessa kaikkialle. Knightin esittämää yhteyttä Coulombin lain ja sähkökentän välillä ei Fysiikka 6 -kirjassa muodostu. Tämän päätelmän voi tehdä käsitekarttaa tulkitsemalla samoin kuin kirjaa lukemalla. Aiheet käsitellään kyllä peräkkäisissä kappaleissa, mutta ne jäävät toisistaan irrallisiksi.

Myös Physica-kirjassa kuvataan sähkökenttää kenttäviivoilla. Jälleen Coulombin laki ja sähkökenttä käsitellään peräkkäisissä kappaleissa ja Physica-kirjassa luodaan myös yhteys näiden kahden käsitteen välille. Testivaraus käsitettä ei käytetä selityksissä eikä sitä esiinny myöskään kuvissa. Fysiikka-kirjassa testivarausta käytetään, mutta testivarauksen luonteen selittäminen unohtuu kokonaan.

Käsittekarttoja tarkkailemalla ja kirjoja selailemalla on vaikea saada selkeä kuva siitä, kuinka johdonmukaisesti eri käsitteet virtapiiriin kytkeytyvät. Jotain kuitenkin kertoo se, että Fysiikka 6 -kirjassa virtapiiriin liittyy vain kolme kokeellista ja neljä tekstikytkeä kun taas Physica 6 -kirjassa kuusi kokeellista ja kahdeksan tekstikytkeä. Toki kytkentöjä on varmasti kummassakin kirjassa enemmänkin, sillä virtapiirit ovat mukana laskuissa ja esimerkeissä monessa yhteydessä. Käsittekarttoihin päätyneet yhteydet ovat kuitenkin muita selvempiä ja kirjoissa korostuneita.

Kuten kirjoista Fysiikka 6 ja Physica 6 tehdyistä käsittekartoista nähdään, kummassakin kirjassa on suora yhteys virtapiiriin ja sähkövirran välillä. Virtapiirien ominaisuudet ja toiminta selitetään sähkövirran avulla. Sen sijaan yhteys jännitteen ja virtapiiriin välillä on heikompi. Toki tällainen yhteys löytyy kirjaa lukiessa esimerkiksi Kirchhoffin 2. laista, mutta yhteys on jollakin tapaa heikompi. Physica 6 -kirjan käsittekartasta yhteys löytyy, mutta Fysiikka 6 käsittekartasta se jostain syystä puuttuu. Lisäksi kummassakin kirjassa keskitytään resistanssiin vastuksen tai virtajohtimen ominaisuutena ei koko virtapiiriin liittyvänä ominaisuutena.

Näistä havainnoista voisi siis päätellä, että kummassakin kirjasarjassa olisi parannettavaa virtapiiriin liittyvien käsitteiden käytössä. Käsitteet pitäisi erotella toisistaan selkeästi ja niiden väliset erot ja suhteet toisiinsa on hyvä huomioida. Tämä on tietenkin vaikeaa, kun kaikki on vielä uutta ja jokaisen käsitteen käyttöönottoon menee oma aikansa. Siksi voisikin olla hyvä tehdä lopuksi virtapiirejä koskien koonti, jossa tarkistettaisiin opiskelijoille syntyneet käsitykset ja käsitteiden erot.

Fysiikka 6 -kirjassa potentiaali, energiansäilymlaki ja potentiaaliero tulevat toisiinsa kytkeytyiksi. Potentiaali-käsitteen määrittelyminen ei ole aivan tarkkaa eivätkä kaikki yhteydet ole itsestään selviä ja selkeitä. Lisäksi lukiossa käytettävät merkinnät poikkeavat yleisesti käytössä olevista merkinnöistä. Potentiaalın suuremerkintä on V , potentiaalienergian E_p ja potentiaalieron U_{AB} .

Physica 6 -kirjassa suuremerkinnät ovat samat kuin Fysiikka-kirjasarjassa. Käsitteet kuitenkin kytkeytyvät heikommin toisiinsa. Käsittekartassa ei ole suoraa yhteyttä esimerkiksi potentiaalın ja potentiaalienergian välillä. Lisäksi sähkökenttään liittyvän potentiaalın määrittely tehdään potentiaalienergian avulla, kun taas Fysiikka 6 -kirjassa pyritään ensin määrittelemään mitä potentiaali tarkoittaa.

Opetussuunnitelmassa mainituista sähköopin peruslaeista Coulombin laki sekä Kirchhoffin lait on käsittekarttojen perusteella käsitelty kattavammin kuin Ohmin laki ja Joulen laki. Tämä havainto koskee kumpaakin oppikirjaa.

Puolijohteiden käsittely sijoittuu kummassakin kirjassa aivan sähköopin kurssin viimeiseen lukuun. Diodien lisäksi Physica-kirjassa on käsitelty myös transistori, mitä opetussuunnitelma ei vaadi. Tämän voisi siis hyvin jättää kokonaan pois kirjasta tai

ainakaan tunneilla ei ajan vähyiden vuoksi tarvitse tähän paneutua syvällisemmin. Käsitekartoista myös huomataan, että kummassakin kirjasarjassa vastikään opetussuunnitelmaan lisätty puolijohteiden osuus jää omaksi melko irralliseksi osuudekseen. Tämä tarkoittaa siis sitä, että puolijohteiden käsittely voitaisiin unohtaa kokonaan tai jättää vähemmälle huomiolle muun tietorakenteen siitä kärsimättä. Näitä tietoja ei myöskään tarvita seuraavilla kursseilla eivätkä ne tule vastaan edes yliopiston perusopinnoissa.

Rinnan- ja sarjakytkennät menevät opiskelijoilla helposti sekaisin. Käsitekartoissa Fysiikka-kirjan kohdalla ei näy eroa näiden kytkentöjen välillä toisin kuin Physica-kirjasarjassa. Asiaan voi kuitenkin opetuksessa puuttua, kun huomaa puutteen kirjassa. Kirja on kuitenkin vain opetuksen apuväline.

Varsinkin sähkömagnetismin käsitekartoista huomataan, että kirjantekijöiden valinnat vaikuttavat sisältöön paljon. Esimerkiksi Fysiikka-kirjasarjassa käsitellään laajemmin kolmivaihevirtaa ja -generaattoria kun taas Physica-kirjassa kolmivaihegeneraattori vain mainitaan. Toisaalta Physica-kirjassa annetaan enemmän esimerkkejä vaikkapa induktiivisesta kytkennästä. Tästä voidaan siis tehdä päätelmä, että nämä lisätietoja tarjoavat käsitteet ovat niitä joita voitaisiin jättää pois, jotta tiedon määrä vähenisi ja aihealuetta saataisiin kevennettyä.

Fysiikka-kirjasarjan sähkömagnetismin kirjassa luvut 4.1 ja 4.2, joissa käsitellään mm. resonanssi ja värähtelypiirejä, jäävät melko irrallisiksi muusta kokonaisuudesta. Samoin irrallisiksi jäävät luvut 3.3 ja 3.4, jotka puolestaan käsittelevät muuntajia, kolmivaihevirtaa ja energiansiirtoa. Muuten käsitekartta on melko ehyt, tosin silmämääräisesti tarkasteltuna sähköopista kootussa käsitekartassa on vähemmän käsitteitä, joista lähtee vain yksi yhteys. Tämä kertoo siitä että sähkömagnetismin kurssissa on enemmän ikään kuin lisänä tuotua tietoa ja esimerkkejä pääkäsitteiden ympärillä.

5.2 Yleisiä havaintoja

Kirjasarjat tarjoavat erilaisia ratkaisuja oppimiseen liittyviin haasteisiin. Välillä ratkaisut ovat tarkkaan harkittuja ja välillä ne ovat voineet syntyä itsestään. Kaikkea eivät kirjantekijäkään pysty huomioimaan, vaan kirja on aina heidän keskenään tekemänsä kompromissi kunkin tärkeäksi kokemista asioista.

Kirjat käsittelevät lukion opetussuunnitelmassa määrättyjä aiheita. Aiheet myös jakautuvat kummassakin kirjassa tasaisesti koko kirjan alueelle. Joitakin irrallisempia osioita on kuitenkin huomattavissa kummassakin kirjasarjassa, ja jotkin osiot taas vaatisivat tarkempaa käsittelyä.

Kokeellisuus esiintyy kahdessa valitussa lukion kirjasarjassa hyvinkin eri tavalla. Kuten luvussa 3.2 huomattiin, Fysiikka-sarjassa työt pyritään selittämään ja hyödyntämään asian eteenpäin viemiseksi, kun taas Physica-sarjassa työt jäävät enemmän opettajan käsittelyn ja opiskelijoiden itsenäisen pohdiskelun varaan. Tästä syystä kirjasarjat sopivatkin erityyppisille opettajille. Erilaiset työt kuitenkin auttavat abstraktien käsitteiden ymmärtämisessä ja tekevät näkymättömästä näkyvää, kuten esimerkiksi sähkövirran mittaaminen virtamittarilla tai havaitseminen piiriin kytketyn lampun avulla.

Oppilastöiden määrä vaihtelee kirjasarjoissa jonkin verran. Fysiikka-sarjassa sähkönsuudessa on 34 ja sähkömagnetismin osuudessa 39 työtä. Physicassa vastaavasti sähkönsuudessa on 26 ja sähkömagnetismin osuudessa 30 työtä. Kokeellisuus on siis otettu kummassakin kirjasarjassa tärkeäksi osaksi tukemaan oppimista. Kummassakaan kirjassa ei tosin oteta kantaa erilaisiin työskentelymenetelmiin, joilla oppilastöitä voisi suorittaa. Tapojen valinta ja monipuolinen käyttö jää siis opettajan vastuulle.

Kummassakin kirjassa sähkökentän voimakkuus esitetään vektorimuodossa. Kuitenkin kuvia, joissa vektoriesitystä käytetään, löytyy kummastakin kirjasta vain yksi kappale. Valtaosa kirjassa käytettävistä kuvista kuvaa sähkökenttää kenttäviivojen avulla ja vain yksittäistapauksissa on käytetty kenttävektoria. Vektoreiden pitäisi olla opiskelijoille tuttuja jo matematiikan kurssilta, joten niiden merkityksen ymmärtäminen voisi vanhan tiedon pohjalta olla helpompaa kuin kenttäviivojen sisältämän informaation käsittäminen.

Virtapiirien kohdalla piirrosmerkit ja kytkentäkaavioiden käyttöönotto on molemmissa kirjoissa suoritettu melko samalla tavalla ja huolellisesti. Kummassakin kirjasarjassa käytetään valokuvia tai komponentteja kuvaavia kuvia tukena ennen kuin siirrytään käyttämään ainoastaan kytkentäkaavioita. Tämä auttaa opiskelijoita oppimaan komponenttien piirrosmerkit ja ymmärtämään kytkentäkaavioiden sisältämän informaation.

Knichtin ajatuksista poiketen kummassakin kirjasarjassa käsitellään paristot aivan kirjan alussa virtapiirien yhteydessä. Tässä vaiheessa opiskelijoilla ei ole tarpeeksi käsitteitä hallussa, jotta he voisivat ymmärtää pariston tai jännitelähteen toimintaa syvällisemmin. Näihin aiheisiin ei kuitenkaan palata myöhemmin kirjoissa. Näin ollen opiskelijoille jää helposti paljon virhekäsityksiä. [8]

Muutamia tärkeitä esille nostettuja käsitteitä koskevat havainnot on koottu taulukkoon 1. Taulukosta näkyy myös kirjasarjojen eroja valittujen käsitteiden osalta. Havaintoja on tehty myös käsitekarttojen avulla.

Taulukko 1. Sähköopin ja sähkömagnetismin kulmakiviä ja kirjasarjojen suhtautuminen niihin

Haaste	Huomioita	Fysiikka-kirjasarja	Physica-kirjasarja
kokeellisuus	toteutuu esim. laboratoriotöiden ja demonstraatioiden avulla aihetta käsiteltäessä	yhteensä 73 työtä, jotka käydään tekstissä läpi	yhteensä 56 työtä, joiden käsitteleminen on opettajasta ja opiskelijoista kiinni
varaus käsite	käsiteltävä kokeellisesti koska ei ole nähtävissä, neutraalin käsite tärkeä	opiskelijan näkökulmasta selkeä käsittely oppilastyön avulla, neutraalin kappaleen käsittely unohdettu	uudet käsitteet piilossa tekstissä, mutta kuitenkin selkeästi selitettynä vaikka korostaminen puuttuikin
sähkökenttä	ei ole rajattu alue, kenttävektoreiden käyttäminen suositeltavampaa kuin kenttäviivojen	käytetään kenttäviivoja, linkki sähkökentän ja Coulombin voiman väliltä puuttuu	kuvataan kenttäviivoilla, Coulombin lain ja sähkökentän välinen yhteys kuvattu
tasavirtapiirit	kytkentäkaaviot tärkeitä	kytkennät melko epäselviä ja heikkoja käsitteiden välillä, ei koontia loppuksi	jokseenkin selkeät kytkennät käsitteiden välillä, mutta selkeä koonti puuttuu
sähkövirta	erilaiset virrankuljettajat, ei aistein havaittavissa	varattu hiukkanen virrankuljettajana, neljä kokeellista työtä jollakin tavalla sähkövirtaan liittyen	viisi kokeellista työtä jollakin tavalla sähkövirtaan liittyen, sähkövirran hiukkasmalli vasta kirjan lopussa
jännite	ei aistein havaittavissa, sekoittuu esim. virran kanssa	kolme kokeellista työtä, käsitekartan kytkennät selkeitä	vähemmän kytkentöjä kuin virrasta, vain yksi kokeellinen työ
potentiaali	potentiaali ja potentiaalienergia sekoittuvat helposti	merkinnät poikkeavat fysiikassa yleisesti käytetyistä, käsittelyjärjestys sähkökenttään liittyen potentiaali, potentiaalienergia, jännite	sähkökentän potentiaali määriteltä potentiaalienergian avulla, käsittelyjärjestys sähkökenttään liittyen potentiaalienergia, potentiaali, jännite
paristo	yleinen virhekäsitys on, että paristo on tasavirtalähde mitä se siis ei ole	käsittely kirjan alussa virtapiirien yhteydessä	käsittely kirjan alussa virtapiirien yhteydessä
magneettikenttä	sekoitetaan sähkökenttään	magneettikentän muodostumisessa oikeankädensääntö vahvasti mukana, kuvataan kenttäviivoilla	kuvattu kenttäviivoilla, mutta myös vektorit esillä

Taulukkoon 2 on koottu joidenkin keskeisten käsitteiden esiintyminen eri käsitekartoissa. Ammattiopiston materiaalissa keskitytään erilaisiin töihin, jolloin lakien ja uusien käsitteiden esitleminen on jätetty vähemmälle. Ilmiöt voivat tulla tutuiksi töiden avulla vaikka eksakteja käsitteitä ei olisikaan käytössä. Lisäksi ammattiopiston materiaalissa ei käydä ollenkaan läpi magnetismia, mikä näkyy myös kootusta taulukosta.

Valituista käsitteistä suurin osa esiintyy Fysiikka ja Physica kirjoissa suurinpiirtein yhtä monta kertaa. Merkittävää eroa tulee valituista käsitteistä resistanssin, sähkökentän, sähkövirran ja virtapiirin kohdalla. Esimerkiksi puolijohteisiin ja vaihtovirtapiireihin liittyvät käsitteet esiintyvät kummassakin kirjasarjassa yhtä usein. Tämä tarkoittaa siis sitä, että käsittelyä on painotettu melko samalla tavalla kirjasarjoissa.

Taulukko 2, Sähköopin ja sähkömagnetismin muutamien keskeisiin käsitteisiin liittyvien yhteyksien määrät kootuissa käsittekartoissa.

käsite	Fysiikka 6 ja 7	Physica 6 ja 7	ammattiopisto	yliopisto
Coulombin laki	4	5	-	7
diodi	8	4	8	-
induktiojännite	8	9	-	-
johde	7	8	-	5
jännite	7	8	8	4
Kirchoffin lait	8	6	-	10
kytkentäkaavio	5	2	-	-
käämi	19	25	3	8
Lenzin laki	2	4	-	2
magneetti	8	5	-	1
magneettikenttä	18	22	-	10
paristo	7	8	3	5
potentiaalienergia	5	3	-	5
resistanssi	6	15	12	3
sähkökenttä	11	20	-	21
sähkövaraus	8	6	-	12
sähkövirta	14	24	4	8
transistori	3	3	7	-
vastus	5	9	11	9
virtapiiri	8	19	-	8

Taulukosta nähdään heti, ettei yliopiston peruskursseilla paneuduta puolijohteisiin ja vaihtovirtapiireihin. Toisaalta huomataan myös että joidenkin käsitteiden ja asioiden oletetaan olevan hallussa lukion jälkeen.

Taulukkoon on valittu vain muutamia keskeisiä käsitteitä joista osa esiintyy myös opetussuunnitelmissa. Eroja lukion ja yliopiston materiaalien välillä on havaittavissa jonkin verran, kun taas ammattiopiston materiaali poikkeaa muista huomattavasti. Vertaamalla yhteyksien määrää voidaan löytää puutteita asian käsittelyssä kirjassa tai huomata jonkin asian käsittelyn korostuvan kirjassa hyvin.

6 Päätelmät

6.1 Ehdotuksia opetukseen

Lukion sähköoppi ja sähkömagnetismi sisältävät valtavat määrät opiskelijoille uutta tietoa. Jotta oppiminen olisi mahdollista, uutta tietoa ei saa tulla kerralla liikaa. Kertaus on opintojen äiti, joten perusasioihin kannattaa käyttää aikaa ja tarkastella niitä eri näkökulmista.

Eri kirjasarjoista tehtyjen käsittekarttojen sisältämiä käsitteitä vertailemalla löydetään kunkin aiheen tärkeimmät käsitteet. Muutama näistä käsitteistä on nähtävillä taulukossa 2. Loput käsitteet ovat tärkeitä yleisen aiheen eheyden kannalta, mutta ne ovat enemmän tai vähemmän kirjantekijöiden valitsemia. Voidaan kuitenkin todeta, että kummastakin kirjasarjasta löytyvät käsitteet ovat luultavimmin tärkeimpiä peruspilareita asian ymmärtämisen kannalta. Muut käsitteet vievät asiaa eteenpäin. Kuinka nämä tärkeät käsitteet saadaan nostettua kirjasta opiskelijoille, onkin haastavampi asia.

Aina voitaisiin käyttää enemmän aikaa peruskäsitteiden määrittelemiseen, niihin tutustumiseen ja kokeellisuuteen. Esimerkiksi kummassakin kirjasarjassa on puutteita magneetin määrittelemisessä, samoin sähkövarauksen. Vaikka määrittelemisen on vaikeaa eikä aina lukiotiedoilla edes mahdollista, on tärkeää pyrkiä antamaan opiskelijoille tulevaisuutta ajatellen edes jonkinlainen määritelmä työvälineeksi. Vahvalta pohjalta on helpompi lähteä eteenpäin, vaikka pintapuolisella tutustumisella on myös puolensa.

Opetussuunnitelmassa mainitaan esimerkiksi, että opiskelijoiden tulee hallita virran ja jännitteen mittaaminen. Kummassakin kirjassa selitetään kuinka mittarit tulee kytkeä piiriin, jotta ne mittaisivat haluttua asiaa oikein. Mittareiden toimintaperiaatteeseen ei kuitenkaan puututa millään tavalla. Näin ollen syvälinen ymmärtäminen jää tapahtumatta. Opiskelijat opettelevat ulkoa mittaamenetelmät ja ovat sen jälkeen tyytyväisiä, jos saavat töistä oikeita tuloksia. Kirjoissa ei edes mainita, että jännitemittarissa on mahdollisimman iso sisäinen resistanssi kun taas virtamittarissa mahdollisimman pieni. Opiskelijat voisivat herätä ajattelemaan mittareiden eroja yksinkertaisten demojen tai oppilastöiden avulla. Samalla tulee opeteltua myös rinnan- ja sarjakytkentää, koska asiat liittyvät toisiinsa.

Opetussuunnitelmassa mainitaan erikseen sähköparien ja puolijohteiden ja niihin liittyen diodien kuulumisen sähköopin kurssiin. Sähköpareja käsitellään kattavasti kummassakin kirjasarjassa. Tosin, kuten aikaisemmin jo huomattiin, käsittely on

Knichtin tutkimustulosten mukaan väärässä paikassa [8]. Käsittelyä voisi ainakin laajentaa tapahtumaan myös potentiaalieron käsittelyn jälkeen, jolloin opiskelijat saisivat kuvan sähköparien toiminnasta niiden havaittujen ominaisuuksien lisäksi. Tällä hetkellä käsittely tapahtuu aivan kummankin kirjan alussa, jotta saadaan työvälineitä kokeellisuuden toteuttamiseen.

Kuten jo aikaisemmin todettiin, lukiokursseista voi hyvin jättää vaihtovirtapiirejä koskevan osuuden kokonaan pois. Tämä voidaan perustella käsitekarttojen avulla: vaihtovirtapiiriin liittyvät käsitteet eivät ole vahvasti kytköksissä muuhun tietorakenteeseen. Sama havainto voidaan tehdä taulukkoa 2 tarkastelemalla. Lisäksi vaihtovirtapiirejä ei tarvita myöhemmissä lukio-opinnoissa eikä edes vielä yliopiston perusopinnoissa, mikä näkyy myös taulukossa 2.

Käsitekarttoja tarkasteltaessa huomattiin myös, että kirjasarjoissa on käytössä keskenään poikkeavat termistöt. Physica-kirjassa käytetään esimerkiksi termiä Ohmin 2. laki, jota ei Fysiikka-sarjassa ole, vaikka sama laki käsitellään siinäkin. Tämä on haaste ylioppilaskirjoituksia ajatellen. Opiskelijoilla tulee olla samat menestymismahdollisuudet käytetystä kirjasarjasta riippuen. Tästä syystä käsitteiden käyttöön tulee kiinnittää huomiota.

Käsitteiden käytön yhdenmukaisuuteen tulee kiinnittää muutenkin enemmän huomiota. Lukiossa ja myöhemmissä opinnoissa käytettävien merkintöjen tulisi vastata toisiaan, jotta opiskelijat eivät hämmentyisi turhaan merkintöjen eroavaisuuksista. Selvin esimerkki tästä on jännite; lukiossa käytetään jännitteelle tunnusta U kun taas yliopistossa tunnusta V . Jos merkinnät saadaan yhdenmukaisiksi, opiskelijat eivät sekaantuisi niissä.

Sähkömagnetismissä laskut ovat usein matemaattisesti haastavia ja aiheuttavat näin ollen opetukselle omat haasteensa. Tarkastelluissa oppikirjoissa laskut on kuitenkin osattu pitää yksinkertaisina. Edes vektoreita ei käytetä laskuissa vaikka lukiolaisen tulisi osata niillä laskea. Pitkässä matematiikassa vektoreilla opetellaan laskemaan jo viidennellä pakollisella kurssilla kun taas lyhyessä matematiikassa vektoreita käsitellään vasta syventävällä kurssilla. Vektoreiden käyttämistä voitaisiin lisätä fysiikan kursseilla yleisemminkin, tällöin lisittäisi myös oppilaiden ymmärrystä siitä miten eri oppiaineet lopulta tukevat toisiaan ja millaisia yhteyksiä oppiaineiden välillä on.

Opiskelijan voi olla vaikeaa lukea kirjaa, jos hän ei osaa tehdä jakoa tärkeiden ja syventävää lisätietoa tarjoavien käsitteiden välille. Esimerkiksi Physica-kirjasarjan sähkömagnetismin kirjassa on osioita, jotka jäävät heikosti kytketyiksi muuhun asiayhteyteen. Esimerkiksi energian tuotanto jää hyvin irralliseksi, vaikka onkin tärkeä aihealue. Samoin kirjassa mainitaan Gaussin laki ja esimerkiksi tasavirtamoottori, jotka jäävät heikosti kytketyiksi. Tällaisten käsitteiden kohdalla voitaisiin miettiä, tuovatko ne jotain tärkeää lisää ymmärtämiselle vai voitaisiinko ne jättää kokonaan pois.

Kirjantekijät ovat kirjaa kirjoittaessaan tehneet omat valintansa siitä mitä kaikkea kirjasta tulee löytyä. Opettajan ohjauksella on kuitenkin suuri merkitys siihen kuinka oppilaat kirjaa lukevat.

Yliopiston sähköopin ja sähkömagnetismin peruskursseilla tulee uutta tietoa lukiokursseihin verrattuna. Esimerkiksi Gaussin laki ja Maxwellin yhtälöt tulevat uusina yliopisto-opinnoissa. Yliopiston peruskursseilla on kuitenkin paljon samoja aiheita ja käsitteitä kuin lukion kursseilla eikä kaikkeen tarvitse tutustua lukion aikarajojen puitteissa. Jos lukiossa on opiskeltu perusasiat hyvin, niistä selvittää yliopistokursseilla nopeasti eteenpäin, jolloin uusille aiheille jää enemmän aikaa.

6.2 Havaintoja työn tekemisestä

Työn tekeminen on ajanut minut taas uusien haasteiden eteen. Aiheen valinnan jälkeen ensimmäisenä oli valittava käsittelyyn otettavat kirjasarjat. Valinta oli loppujen lopuksi helppo; valitut kirjat ovat yleisesti lukioissa käytössä olevia. Toiseksi heti aluksi oli opetettava uuden ohjelman käyttöä. CmapTools on osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi ohjelmaksi jatkoakin ajatellen.

Käsitekarttojen kokoaminen lohkaisi suuren osan työhön käytetystä ajasta. Samalla tuli kuitenkin tutustuttua tarkasti kirjoihin koko aihealueen osalta. Työtä varten olisi voitu myös rajata jokin tietty kokonaisuus valitun aihealueen sisältä, mutta nyt päästiin tutustumaan laajasti lukion aiheisiin. Toisaalta tästä syystä analyysissä ei ehditty pureutua kovin syvälle.

Kirjoista kootut käsitekartat ovat kooltaan isoja ja vaikealukuisia. Toisaalta käsitekarttoihin olisi voitu sisällyttää paljon enemmänkin tietoa. Näistä käsitekartoista ei esimerkiksi selviä suoraan käsitteiden käyttöönottajärjestys. Tätä olisi voitu havainnollistaa vaikkapa nuolilla, jotka osoittavat aina uutta käsitettä kohti. Samoin olisi voitu merkitä sivunumerot, joilla tekstiyhteyksiä muodostuu, sillä sama yhteys voi muodostua monessa eri vaiheessa. Tämä jää nyt käsitekartoissa huomioimatta. Käsitekarttoja voisi hioa loputtomiin.

Käsitekartoista voitaisiin tulkita paljon muutakin ja selvittää käsitteiden yhteyksiä tarkemmin. Käsitekartoista voitaisiin tutkia esimerkiksi kokeellisten yhteyksien eheyttä eli sitä kuinka kattavasti käsitteet on saatu yhdistettyä kokeellisuuden avulla. Ammattiopiston materiaalista koottu käsitekartta sisältää ainoastaan kokeellisia yhteyksiä. Tästä voidaan huomata, että kokeellisuuden avulla voidaan käsitellä aihetta hyvin johdonmukaisesti ja rakenteellisesti ehyesti. Tämän työn puitteissa ei kuitenkaan tämän syvällisempään tarkasteluun ryhdytä ajan käytön vuoksi.

Käsitekarttojen rakentaminen ei ole aivan yksiselitteistä. Kaikkea ei voi saada näkyviin yhteen kuvaan ja yhteydet saattavat nousta esille niin tekstin kuin käsitekartankin

lukijasta riippuen eritavalla. Käsitekartat on pyritty kuitenkin kokoamaan johdonmukaisesti aina samalla tavalla ja samoilla kriteereillä.

Kerättyä materiaali voitaisiin analysoida vielä tarkemmin ja etsiä niistä erilaisia yhteyksiä ja lisää parannusehdotuksia lukiokurssien järjestämistä ajatellen. Käsitekarttojen avulla on myös helppo nähdä kuinka kurssit rakentuvat ja mitä aihealueita kannattaa painottaa. Näistä tiedoista on paljon apua aloittelevalle opettajalle, jolla ei vielä ole vuosien tuomaa kokemusta kurssien suunnittelussa.

Työn edetessä kävi selväksi, että sähköoppiin ja sähkömagnetismiin liittyvää teoriaa on palautettava itselle mieleen lukiotasoa syvällisemmin, jotta tietoa johtopäätösten tekemiseen olisi riittävästi. Samasta syystä täytyi ottaa selvää opetukseen liittyvistä haasteista, jotta voisi antaa minkäänlaisia ehdotuksia opetuksen kehittämiseksi. Haasteiden selvittäminen luo myös pohjan aiheen vaativuuden ja ajankäytön ymmärtämiselle.

Oli mielenkiintoista tutustua myös ammattiopiston opetussuunnitelmaan ja materiaaliin vaikka niitä ei työssä suuresti päästyäkään hyödyntämään. Ammatillisen- ja lukiokoulutuksen erot ovat suuria ja oli mielenkiintoista päästä tarkastelemaan niitä edes näin kirjallisella tasolla.

Kokonaisuutena työ on ollut erittäin antoisa, tosin jälleen haasteeksi muodostui aiheen rajaaminen, koska mielenkiinnon voi kohdistaa niin moneen kohtaan. Rajausta olisi voinut miettiä tarkemmin jo työn alussa, jolloin joiltakin työn kannalta turhiksi osoittautuneilta vaiheilta olisi säästyty. Toisaalta tämän työ laajuutensa puolesta on selvitys, jonka on tarkoitus olla lähtökohta ja perusta laajemmalle oppimateriaalien ja -sisältöjen kehittämiseksi.

Uusien näkökulmien etsiminen ja kehitysehdotusten miettiminen on haastavaa, mutta erittäin mielenkiintoista ja opettavaista. Pystyn siirtämään työssä tekemäni havainnot suoraan omaan opetukseeni. Toivottavasti niille löytyy muutakin jatkokäyttöä. Työn tarkoituksena on ollut luoda pohjaa opintokokonaisuuksien edelleen kehittämiseksi. Tästä syystä aiheeseen pyrittiin perehtymään monipuolisesti ja laajaa materiaalia käsiteltiin käsitekarttojen avulla.

Lukion sähköoppia ja sähkömagnetismi ovat tällä hetkellä laajoja kokonaisuuksia. Joitakin parannusehdotuksia kuitenkin löytyi, mikä vahvisti käsitystä kurssien kehittämistarpeesta. Samalla löytöjen tekeminen oli palkitsevaa. Suurempana keskustelua kaipaavana huomiona on vaihtovirtapiirien ja puolijohteiden tarpeellisuuden kyseenalaistaminen lukio-opinnoissa. Pienempiä ja helpommin tehtäviä muutosehdotuksia löytyi lisäksi useita. Työ ei siis ollut tulosten valossa millään tavalla turhaa.

Kokonaisuutena työ tarjoaa yksittäiselle opettajalle ideoita oman opetuksensa päivittämiseen ja laajemmin pohjaa opintomateriaalien edelleenkehittämiseen. Työn laaja tarkastelupohja lisää tulosten soveltamismahdollisuuksia.

Kirjallisuus

- [1] Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio. Vuorovaikutuksista kenttiin - sähkömagnetismin perusteet. Helsinki 1999, Limes ry:n graafinen laitos
- [2] Joseph D. Novak, Alberto J. Cañas. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them (Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Revision 01-2008) [PDF]. Florida Institute for Human and Machine Cognition. 2008 [viitattu 12.6.2011]. Saatavissa: <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- [3] Graafiset tiedonesittämismenetelmät: käsitekartta [www]. Helsingin yliopisto, Käyttäytymistieteellinen tiedekunta, Soveltavan kasvatustieteen laitos. [viitattu 12.6.2011]. Saatavissa: <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tieto/kasitek/>
- [4] Määräys 33/011/2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003 - Nuorille tarkoitetun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet. Helsinki 2003, Opetushallitus.
- [5] Määräys 23/011/2009. Ammatillisen perustutkinnon perusteet - Sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinto 2009. Helsinki 2009, Opetushallitus.
- [6] Koulutusnetti - Sanasto [www]. Opetushallitus. [viitattu 12.6.2011]. Saatavissa: <http://www.oph.fi/koulutusoppaat/Staattiset/sanasto.html>
- [7] Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos: Opinto-opas 2010-2011 [www]. [viitattu 12.6.2011]. Saatavilla: <https://www.jyu.fi/fysiikka/opiskelu/opinto-opas-2010-2011>
- [8] Randall D. Knight. Five Easy Lessons, Strategies for Successful Physics Teaching. San Francisco 2004, Pearson Education.
- [9] Raimo Seppänen, Martti Kervinen, Irma Parkkila. Maol-taulukot: matematiikka - fysiikka - kemia. 2.-8. painos. 2010, Otava.
- [10] Hugh D. Young, Roger A. Freedman. University Physics with Modern Physics 11th Edition. San Francisco 2004, Pearson Education.
- [11] Heikki Lehto, Raimo Havukainen, Janna Leskinen, Tapani Luoma. Fysiikka 7: Sähkömagnetismi. 1.-2. painos. Helsinki 2007, Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- [12] Jukka Hatakka, Heikki Saari, Jarmo Sirviö, Jouni Viiri, Sari Yrjänäinen. Physica 7: Sähkömagnetismi. 1. painos. Helsinki 2007, WSOY Oppimateriaalit Oy.
- [13] Maija Pehkonen. Fysiikan käsitekarttojen sisällön ja graafisen rakenteen arviointi opettajankoulutuksessa. Pro gradu –tutkielma [PDF]. Helsingin

yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Fysikaalisen tieteiden laitos. [viitattu 12.6.2011]. Saatavissa:

<http://per.physics.helsinki.fi/kirjasto/ont/mpehkonen/gradu.pdf>

- [14] Angela M. O'Donnell, Donald F. Dansereau, Richard H. Hall. Knowledge Maps as Scaffolds for Cognitive Processing. *Educational Psychology Review* 14(2002)1, s. 71-86.
- [15] Ismo T. Koponen, Maija Pehkonen. Physics concepts and laws as network-structures: comparisons of structural features in experts' and novices' concept maps (CMC 2008, Third International Conference on Concept Mapping, Tallinn, Estonia and Helsinki, Finland Sept. 22-25, 2008) [PDF]. [viitattu 12.6.2011]. Saatavilla: <http://cmc.ihmc.us/cmc2008papers/cmc2008-p179.pdf>
- [16] Eric Mazur. *Peer Instruction*. 1996. Pearson College Division.
- [17] Heikki Lehto, Raimo Havukainen, Janna Leskinen, Tapani Luoma. *Fysiikka 6: Sähkö*. 1.-2. painos. Helsinki 2006, Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- [18] Jukka Hatakka, Heikki Saari, Jarmo Sirviö, Jouni Viiri, Sari Yrjänäinen. *Physica 6: Sähkö 1*. painos. Helsinki 2007, WSOY Oppimateriaalit Oy.
- [19] Kaarlo I. Railo, Eero Liuska. *Laajennettu ESS-1 työkirja, Osa 3*. Forssa 1992, Kaarlo I. Railo Oy.
- [20] Juha Merikoski. Kurssin "Mekaniikasta sähköoppiin" luentomoniste. Jyväskylän yliopisto 2010.
- [21] Paula Vetter Engelhardt and Robert J. Beichner. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics* 72(2004)1, s. 98-115.

Liite A: Fysiikka 6, Sähkö

Kirjan oppilastyöt ja kuinka ne esiintyvät käsitekartassa sekä käsitekartasta laskettujen yhteyksien määrä

K1 Sähkövirran vaikutukset

K2 Sähkövirta

K3 Kirchhoffin 1. laki

K4 Jännite

K5 Voltan pari

K6 Ohmin laki

K7 Piirin potentiaali

K8 Jännitehäviö

K9 Resistanssin riippuvuus johdinnan materiaalista, pituudesta ja poikkipinta-alasta

K10 Resistanssin riippuvuus johdinnan lämpötilasta

K11 Sarjakytkentä

K12 Rinnankytkentä

K13 Pariston kuorituskäyrä

K14 Jännitelähteiden kytkennät

K15 Sähköstaattinen vuorovaikutus

K16 Varaukseen säilyminen

K17 Sähköisen vuorovaikutuksen voimakkuus

K18 Sähkökenttä

K19 Sähkökentän kenttäviivat

K20 Homogeeninen sähkökenttä

K21 Kenttäviivat pistevarauksen sähkökentässä

K22 Tasapotentiaalipinnat

K23 Oskilloskooppi

K24 Potentiaali- ja liike-energia sähkökentässä

K25 Faradayn häkki

K26 Sähköinen influenssi

K27 Varattu ilmapallo eristepinnalla

K28 Vesimolekyyli on dipoli

K29 Kondensaattori

K30 Kondensaattorin kapasitanssi

K31 Levykondensaattorin kapasitanssi

K32 Salamalaitteen kondensaattori

K33 Sarjakytkentä

K34 Rinnankytkentä

Taulukko 3: Fysiikka 6 -kirjasta tehdyssä käsittekartassa esiintyvät yhteydet

käsite	kokeelliset kytkennät	teksti- kytkennät
aineen suhteellinen permittiivisyys	0	3
akseptori	0	1
aktiiviset komponentit	0	1
alkeisvaraus	0	2
ampeerimittari	1	3
analoginen signaali	0	1
anodi	0	1
avoin	0	1
Coulombin laki	0	4
Coulombin voima	0	1
digitaalinen signaali	0	1
diodi	1	5
dipolimolekyyl	0	2
donori	0	1
ei havaittua eroa	3	0
elektroniiikka	0	3
elektroniverho	0	1
elektroniputki	0	0
energian säilymlaki	0	3
energiavyö	0	1
eriste	0	4
estosuunta	1	0
etävuorovaikutu s	1	0
Faradayn häkki	2	1
harmoninen voima	0	2

homogeeninen	2	3
hylkivä	2	0
itseisjohtavuus	0	1
johde	2	5
johdin	0	1
johtavuusvyö	0	1
Joulen laki	0	2
jännite	3	4
jännitehäviö	2	2
jännitelähde	2	6
kapasitanssi	5	2
kappaleen varaus	0	1
katodi	0	1
kemiallinen vaikutus	2	0
kenttäviivat	1	1
kiihtyvyy	0	1
Kirchhoffin 1. laki	3	2
Kirchhoffin 2. laki	0	3
kokonaiskenttä	0	2
kondensaattori	5	3
kondensaattorin energia	2	1
kondensaattorin varaus	1	2
korvaava kondensaattori	2	1
kumoava vaikutus	2	0
kuormituskäyrä	3	0
kvantittuminen	0	1
kynnysjännite	1	0

kytkentäkaavio	4	1
lamppu	1	1
LED	1	1
levykondensaattori	2	0
liike-energia	1	2
lähdejännite	0	3
lämpövaikutus	2	0
maadoitus	1	1
magneettinen vaikutus	3	0
mekaanisen energian säilymlaki sähkökentässä	0	1
mikropiiri	0	1
mikroprosessori	0	1
napajännite	1	1
negatiivinen varaus	1	0
nollapotentiaali	0	2
n-tyyppi	0	3
Ohmin laki	1	0
oikosulkuvirta	0	1
ominaiskäyrä	1	0
oskilloskooppi	2	1
paristo	5	2
passiiviset komponentit	0	1
permittiivisyys	0	1
pii	0	2
pistevaraus	1	1
pitkittäin	0	2
pn-liitos	0	2
poikittain	0	2
polarisoituminen	0	3

positiivinen varaus	1	0
potentiaaliero eli jännite	2	0
potentiaali	2	1
potentiaalienergia	0	5
p-tyyppi	0	3
puolijohde	0	3
puolijohde-elektronikka	0	1
puolijohdekomponentti	0	2
päästösuunta	2	0
rekombinaatio	0	1
resistanssi	5	1
resistiivisyyden lämpötilakerroin	1	0
resistiivisyys	1	0
rinnan	7	0
sarjaan	6	1
seostaminen	0	3
siirtotyö	0	2
sisäinen resistanssi	0	3
sisäinen sähkökenttä	0	2
suljettu	2	1
suunta	2	0
suuruus	2	0
sähköenergia	0	2
sähköinen influenssi	1	2
sähköinen voima	1	6
sähköinen vuorovaikutus	4	1

sähkökenttä	5	4
sähkökentän voimakkuus	1	2
sähköjohdin	0	1
sähkönjohtokyky	0	2
sähkönvaraamis- -kyky	0	2
sähköpari	1	0
sähköstaattinen voima	1	1
sähkäteho	0	5
sähkövaraus	3	5
sähkövarauksen säilymlaki	0	1
sähkövirta	4	4
säteilyvaikutus	2	1
säätövastus	0	1
tasajännite	0	1
tasavirta	0	6
tasopotentiaalipinta	2	1
testivaraus	0	2
transistori	0	3

tyhjiön permittiivisyys	0	2
työperiaate	0	1
ulkoinenkenttä	0	2
vahvistava vaikutus	2	0
vaihtovirta	0	2
valodiiodi	0	1
varatut hiukkaset	0	5
varauksenkuljettaja	0	1
varaustiheys	1	0
vastus	2	3
valenssivyö	0	1
vetävä	2	0
virtapiiri	3	4
voimakkuus	0	2
volttimittari	0	1
välimatka	1	0
zenerdiiodi	0	1

Liite B. Fysiikka 7, Sähkömagnetismi

Kirjan oppilastyöt ja kuinka ne esiintyvät käsitekartassa sekä käsitekartasta laskettujen yhteyksien määrä

K1 Magneetit	K21 Vaihtojännite
K2 Magnetoituminen	K22 Teholliset arvot
K3 Magneettisuuden voimakkuus	K23 Vastus vaihtovirtapiirissä
K4 Magneettikenttä	K24 Ohmin laki vaihtovirtapiirissä
K5 Ferro-, dia- ja paramagneettiset aineet	K25 Vaihtovirtapiirin impedanssi
K6 Sähkövirta ja magneettikenttä	K26 Käämi tasa- ja vaihtovirtapiirissä
K7 Magneettivuon tiheys lähellä johdinta	K27 Kondensaattori tasa- ja vaihtovirtapiirissä
K8 Suoravirtajohdin magneettikentässä	K28 Vaihe-ero
K9 Sähkövirta yhdensuuntaisissa johtimissa	K29 Vaihtovirran riippuvuus vaihtovirtapiirin taajuudesta
K10 Käämi magneettikentässä	K30 Vastus, käämi ja kondensaattori vaihtovirtapiirissä
K11 Magneetin vaikutus elektronisuihkuun	K31 Diodi ja vaihtovirta
K12 Sähkömagneettinen induktio	K32 Muuntaja
K13 Induktiovirran suunta	K33 Muuntajan tutkiminen
K14 Itseinduktio	K34 Vaihtovirran ja -jännitteen muuttaminen
K15 Keskinäisinduktio	K35 Kolmivaihegeneraattori
K16 Pyörrevirrat	K36 Tehohäviö energiansiirrossa
K17 Erilaisia induktioilmiöitä	K37 Sähkömagneettinen värähtelypiiri
K18 Magneettikentän energia	K38 Värähtelypiiri lähettimenä ja vastaanottimena
K19 Generaattori	K39 Antenni
K20 Vaihtovirran synty	

Taulukko 4: Fysiikka 7 -kirjasta tehdyssä käsittekartassa esiintyvät yhteydet

käsite	kokeelliset kytkennät	teksti- kytkennät
aine	1	3
alkeisalue	0	2
ampeeri	0	1
Amperen laki	1	1
antenni	3	1
avoin	1	1
Biot'n ja Svartin laki	0	1
Curien piste	0	1
diamagneettinen	2	0
diodi	1	1
dipoliantenni	0	2
elektronisuihku	1	1
energiansiirto	1	4
eteläkohtio	1	1
etävuorovaikutus	0	1
Faradayn ja Henryn laki	0	2
ferromagneettinen	2	3
generaattori	2	4
homogeeninen	0	3
huipputeho	0	1
hylkimisvaikutus	1	1
hystereesisilmio	0	2
hyötysuhde	0	1
impedanssi	3	2
induktanssi	0	2
induktiivinen kytkentä	1	3
induktiivinen	2	0

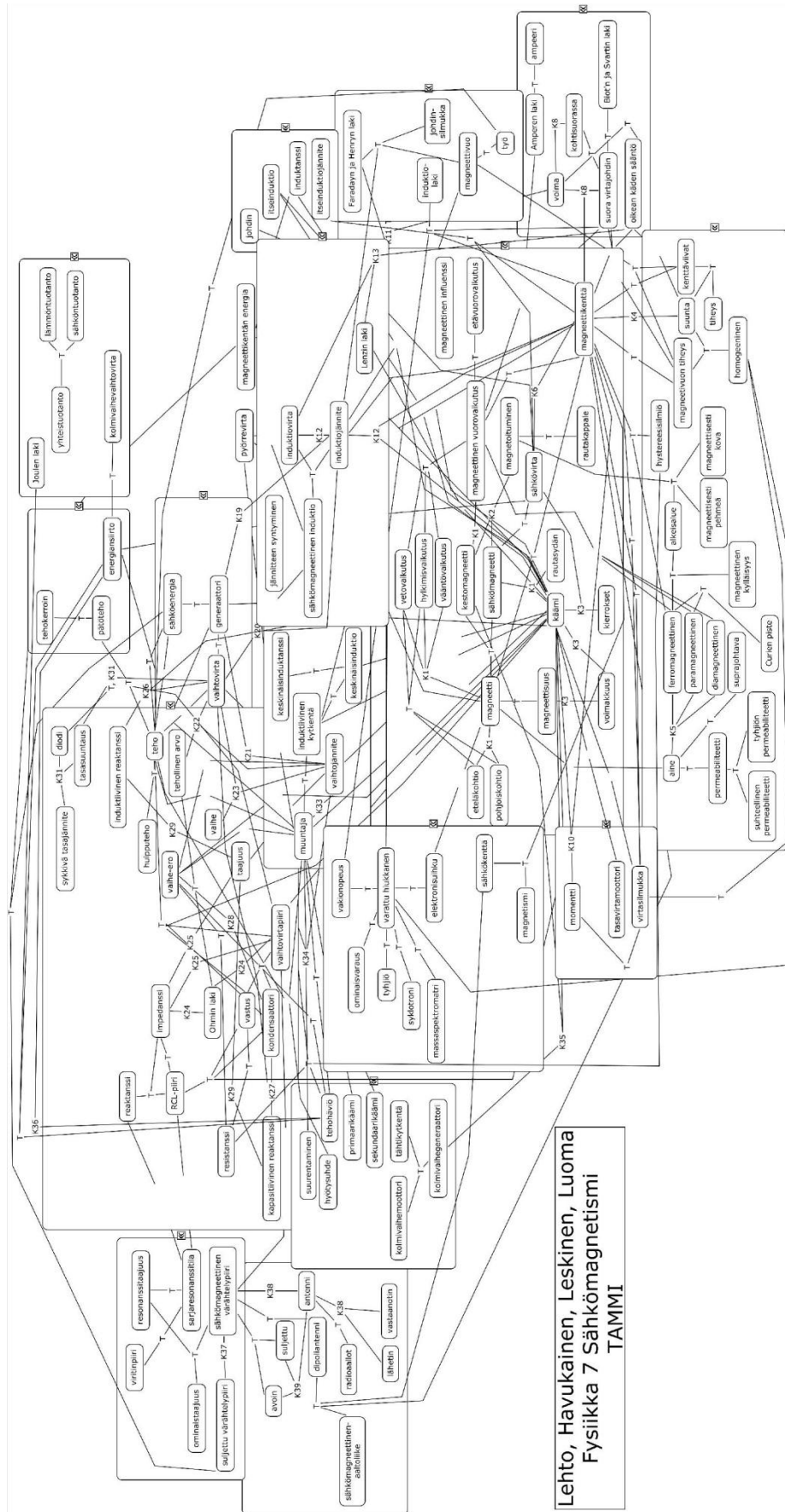
reaktanssi		
induktio- laki	0	1
induktiojännite	4	4
induktiovirta	1	1
itseinduktio	1	1
itseinduktiojännite	0	1
johdin	0	1
johdin-silmukka	0	1
Joulen laki	0	1
jännitteen syntyminen	0	0
kapasitiivinen reaktanssi	2	0
kenttäviivat	0	3
keskinäisinduktanssi	0	1
keskinäisinduktio	0	3
kestomagneetti	3	1
kierrokset	1	0
kohtisuorassa	1	1
kolmivaihegeneraattori	1	1
kolmivaihemootori	0	1
kolmivaihevaihtovirta	0	1
kondensaattori	2	3
käämi	10	9
Lenzin laki	1	1
lähetin	1	0
lämmöntuotanto	0	1
magneetivuon tiheys	1	3

magneetti	4	4
magneetikenttä	6	12
magneetikentän energia	0	1
magneettinen kylläisyys	0	1
magneettinen influenssi	0	0
magneettinen vuorovaikutus	1	1
magneettisesti kova	0	1
magneettisesti pehmeä	0	1
magneettisuus	1	1
magneettivuo	0	4
magnetismi	0	1
magnetoituminen	1	2
massaspektrometri	0	1
momentti	1	1
muuntaja	3	8
Ohmin laki	2	1
oikean käden sääntö	0	3
ominaistaajuus	0	1
ominaisvaraus	0	1
paramagneettinen	1	1
permeabiliteetti	0	2
pohjoiskohtio	1	1
primaarikäämi	0	1
pyörrevirta	2	1
pätöteho	0	2
radioaallot	0	1
rautakappale	0	1

rautasydän	1	0
RCL-piiri	0	4
reaktanssi	1	1
resonanssitaajuu s	0	2
sarjaresonanssi- la	1	3
sekundaarikää- mi	0	1
suhteellinen permeabiliteetti	0	1
suljettu	1	1
suljettu värähtelypiiri	1	1
suora virtajohdin	3	4
suprajohtava	0	1
suunta	1	3
suurentaminen	1	0
sykkivä tasajännite	1	0
syklotroni	0	1
sähköenergia	0	4
sähkökenttä	0	2
sähkömagneetti	2	2
sähkömagneetti- nen värähtelypiiri	2	4
sähkömagneet- tinen aaltoliike	0	1
sähkömagneetti- nen induktio	1	1
sähköntuotanto	0	1
sähkövirta	2	4
taajuus	3	1
tasasuuntaus	0	2
tasavirtamoottori	0	1

teho	0	9
tehohäviö	1	4
tehokerroin	0	1
tehollinen arvo	1	1
tiheys	0	1
tyhjiö	0	1
tyhjiön permeabiliteetti	0	1
työ	0	2
tähtikykentä	0	1
vaihe	1	0
vaihe-ero	3	3
vaihtojännite	1	7
vaihtovirta	8	2

vaihtovirtapiiri	2	5
vakionopeus	0	2
varattu hiukkanen	0	7
vastaanotin	1	0
vastus	0	4
vetovaikutus	0	2
viritinpiiri	0	1
virtasilmukka	0	3
voima	3	1
voimakkuus	2	0
vääntövaikutus	1	1
yhteistuotanto	0	1



Kuva 10: Fysiikka 7 -kirjan sisällöstä koottu käsitekartta.

Liite C: Physica 6, Sähkö

Kirjan oppilastyöt ja kuinka ne esiintyvät käsitekartassa sekä käsitekartasta laskettujen yhteyksien määrä

K1 sivu 8	K15 sivu 90
K2 sivu 10	K16 sivu 93
K3 sivu 13	K17 sivu 96
K4 sivu 18	K18 sivu 102
K5 sivu 21	K18+ sivu135
K6 sivu 29	K19 sivu 138
K7 sivu 35	K20 sivu 140
K8 sivu 36	K21 sivu 141
K9 sivu 42	K22 sivu 142
K10 sivu 51	K23 sivu 145
K11 sivu 52	K24 sivu 164
K12 sivu 71	K25 sivu 165
K13 sivu 74	K26 sivu 170
K14 sivu 78	

Taulukko 5: *Physica 6 -kirjasta tehdyssä käsittekartassa esiintyvät yhteydet*

käsite	kokeelliset kytkennät	teksti- kytkennät
akku	0	1
alkeisvaraus	0	2
anodi	0	1
atomivoima- mikroskooppi	0	1
avoin	2	1
Coulombin laki	1	4
diodi	1	3
elektroni	0	3
emitteri	0	1
energian säilymlaki	0	2
energiankulutus	0	1
epäpuhtausatomi	0	2
eriste	2	5
eristeen suhteellinen permittiivisyys	0	2
estosuunta	0	1
etävuorovaikutus	0	2
Faradayn häkki	0	1
haarautunut	0	2S
homogeeninen sähkökenttä	0	4
hylkiä	2	1
ideaalinen jännitelähde	0	1
influenssi	0	3
ioni	0	1
itseisjohtavuus	0	1
johde	1	7
johdinelektroni	0	1
Joulen laki	0	1

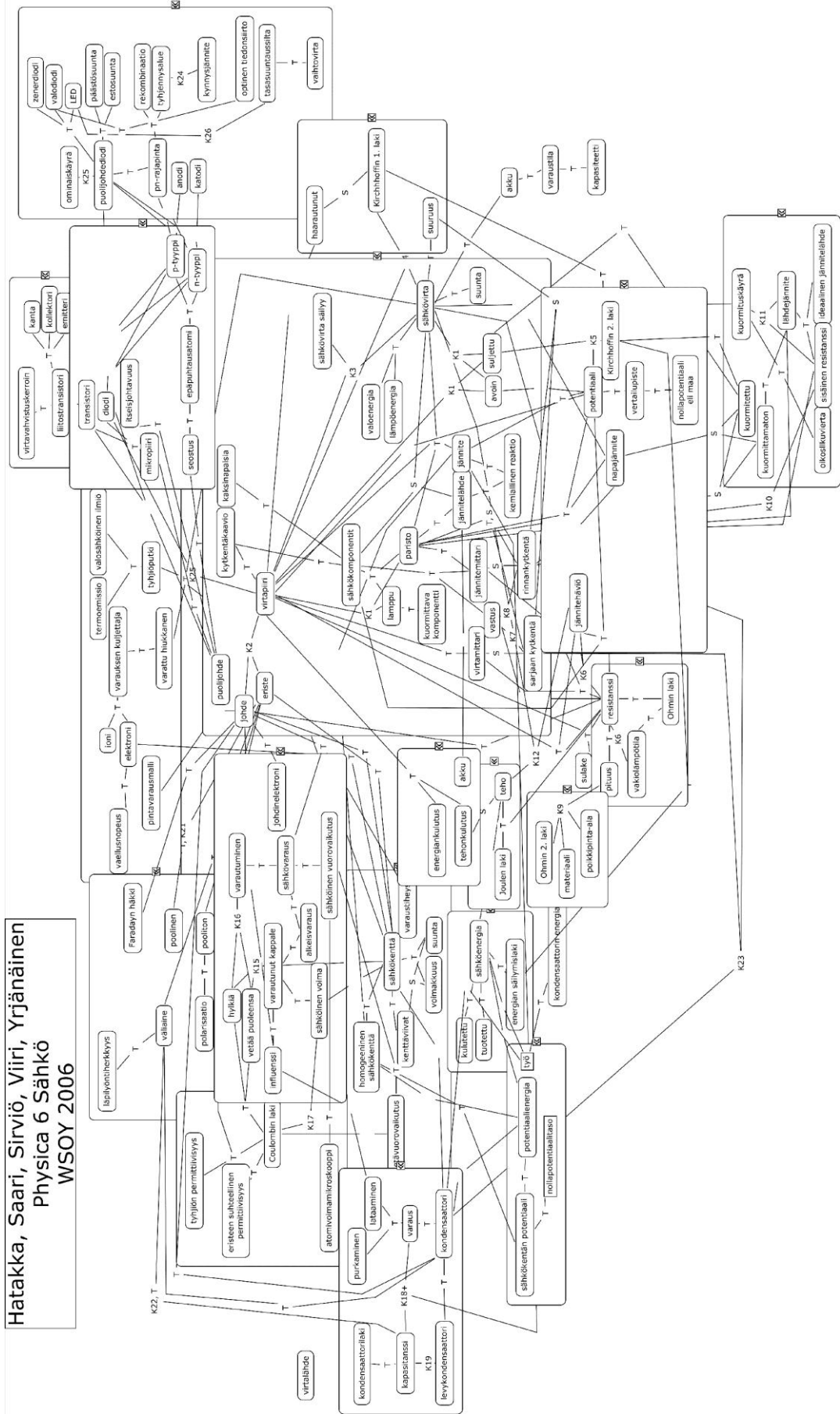
jännite	1	4
jännitehäviö	2	2
jännitelähde	0	3 +1S
jännitemittari	0	3 +1S
kaksinapaisia	0	1
kanta	0	1
kapasitanssi	3	1
kapasiteetti	0	1
katodi	0	1
kemiallinen reaktio	0	2
kenttäviivat	0	1 +1S
Kirchhoffin 1. laki	1	1 + 1S
Kirchhoffin 2. laki	1	2
kollektori	0	1
kondensaattori	1	7
kondensaattorilaki	0	1
kondensaattorin energia	0	1
kulutettu	0	1
kuormitettu	0	2 + 2S
kuormittamaton	0	1 + 2S
kuormittava komponentti	0	1
kuormituskäyrä	2	2
kynnysjännite	1	0
kytkentäkaavio	0	2
lamppu	1	2
lataaminen	0	2
LED	1	1
levykondensaattori	1	1
liittoastistori	0	4
lähdejännite	1	3
lämpöenergia	0	1

läpilyöntiherkkyys	0	1
materiaali	1	0
mikropiiri	0	2
napajännite	1	2 + 1S
nollapotentiaali eli maa	0	1
nollapotentialitaso	0	1
n-tyyppi	0	5
Ohmin 2. laki	1	0
Ohmin laki	0	2
oikosulkuvirta	0	1
ominaiskäyrä	1	0
optinen tiedonsiirto	0	1
paristo	2	5 + 1S
pintavarausmalli	0	1
pituus	1	1
pn-rajapinta	0	3
poikkipinta-ala	1	0
polarisaatio	0	1
poolinen	1	1
pooliton	0	2
potentiaali	1	6
potentiaalienergia	0	3
p-tyyppi	0	5
puolijohde	0	4
puolijohdediodi	1	4
purkaminen	0	1
päästösuunta	0	1
rekombinaatio	0	1
resistanssi	2	9
rinnankytkentä	1	2 + 2S
sarjaan kytkentä	1	2 + 3S
seostus	0	2
sisäinen resistanssi	2	1

sulake	0	1
suljettu	3	1
suunta	0	1
suuruus	0	1 + 1S
sähköenergia	1	6
sähköinen voima	1	2
sähköinen vuorovaikutus	0	3
sähkökenttä	1	10
sähkökentän potentiaali	0	2
sähkökomponentit	0	5 + 1S
sähkövaraus	0	4
sähkövirta	5	6 + 1S
sähkövirta säilyy	1	0
tasasuuntaussilta	1	1
teho	2	2 + 1S
tehonkulutus	0	1 + 1S
termoemissio	0	1
transistori	0	3
tuotettu	0	1
tyhjennysalue	1	1
tyhjiön permittiivisyys	0	1
tyhjiöputki	0	2
työ	0	3
vaellusnopeus	0	1
vaihtovirta	0	1
vakiolämpötila	1	1
valodiodi	0	2
valoenergia	0	1
valosähköinen ilmiö	0	1
varattu hiukkanen	0	2
varauksen kuljettaja	0	2

varaus	1	2
varaustiheys	0	1
varaustila	0	2
varautuminen	1	1
varautunut kappale	2	4
vastus	2	2
vertailupiste	0	2
vetää puoleensa	2	1

virtalähde	0	0
virtamittari	0	2 + 1S
virtapiiri	6	7 + 1S
virtavahvistus- kerroin	0	1
voimakkuus	0	1 + 1S
väliaine	1	4
zenerdiodi	0	1



Kuva 11: Physica 6 -kirjan sisällöstä koottu käsittekartta.

Liite D: Physica 7, Sähkömagnetismi

Kirjan oppilastyöt ja kuinka ne esiintyvät käsitekartassa sekä käsitekartasta laskettujen yhteyksien määrä

K1 sivu 8	K16 sivu 70
K2 sivu 10	K17 sivu 77
K3 sivu 13	K18 sivu 88
K4 sivu 14	K19 sivu 92
K5 sivu 16	K20 sivu 94
K6 sivu 17	K21 sivu 96
K7 sivu 22	K22 sivu 101
K8 sivu 28	K23 sivu 103
K9 sivu 29	K24 sivu 108
K10 sivu 32	K25 sivu 118
K11 sivu 34	K26 sivu 134
K12 sivu 36	K27 sivu 136
K13 sivu 39	K28 sivu 139
K14 sivu 48	K29 sivu 153
K15 sivu 69	K30 sivu 161

Taulukko 6: *Physica 7* -kirjasta tehdyssä käsittekartassa esiintyvät yhteydet

käsite	kokeelliset kytkennät	teksti- kytkennät
alkeisalue	0	1
Amperen laki	1	1
amplitudimodulointi	0	1
Ampere ja Maxwellin laki	0	2
analoginen signaali	0	2
anodi	0	2
antenni	1	2
avoin värähtelypiiri	0	2
biopolttoaineet	0	1
Curie-lämpötila	0	1
dekliinaatio	0	1
demagnetisointi	1	1
diamagneetti	1	1
digitaalinen signaali	0	1
dipoli	0	2
dipoliantenni	1	1
energia	0	2
energiansiirto	0	3
energian tuotanto	1	2
ensiökäämi	0	1
eteläkohtio	2	0
etäisyys	1	1
etävuorovaikutus	0	1
ferromagneetti	3	2
Gaussin laki	0	1
Gaussin laki	0	1

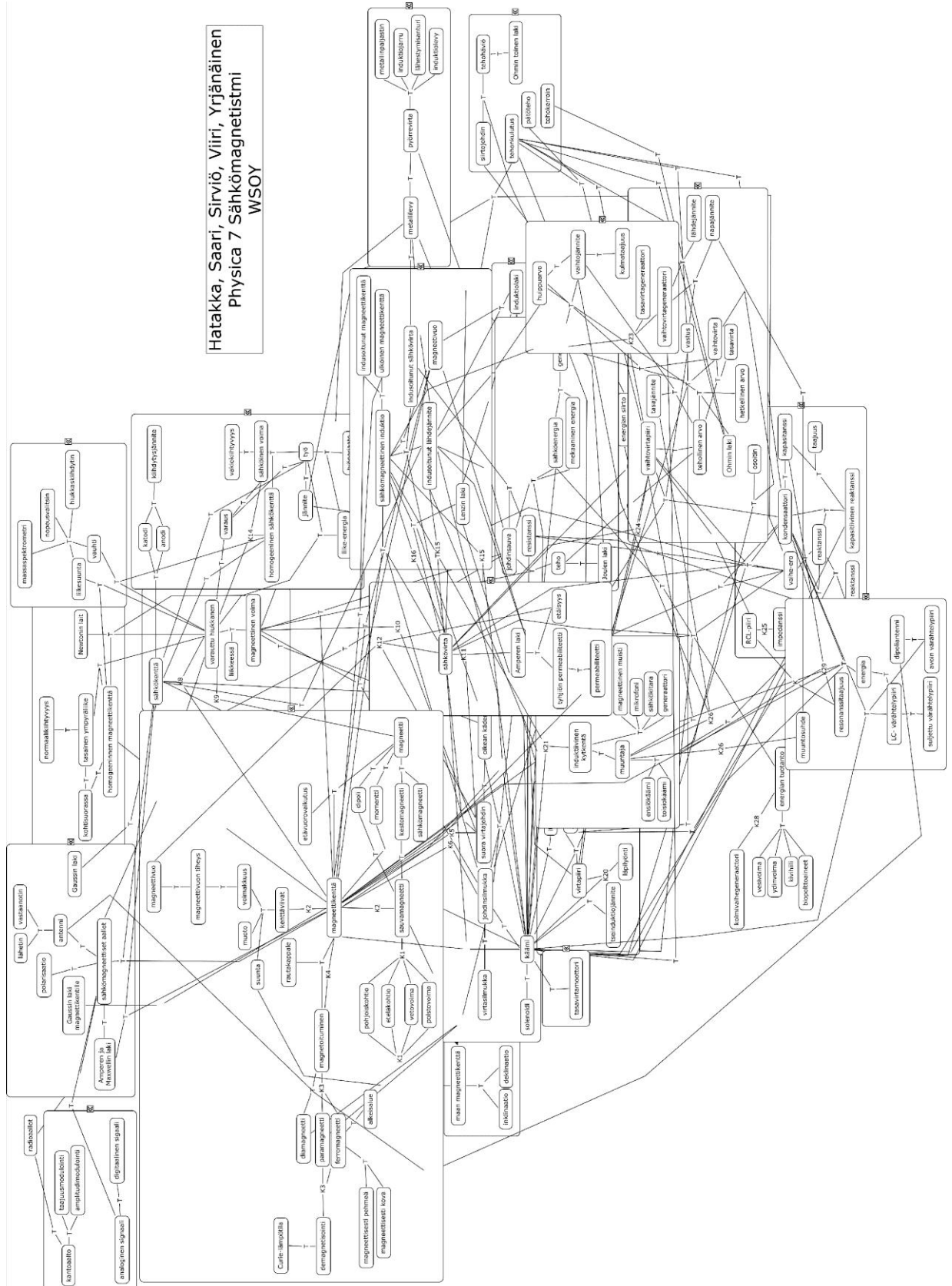
magnettikentille		
generaattori	1	5
hetkellinen arvo	0	1
hiukkaskiihdytin	0	1
kivihiili	0	1
homogeeninen sähkökenttä	0	5
homogeeninen magneettikenttä	1	3
huippuarvo	0	4
impedanssi	1	1
induktanssi	1	2
induktiivinen kytkentä	1	2
induktiivinen reaktanssi	0	3
induktiojarru	0	1
induktiolaki	0	4
induktiolevy	0	1
indusoitunut lähdejännite	4	5
indusoitunut magneettikenttä	0	2
indusoitunut sähkövirta	0	3
inkliinaatio	0	1
itseinduktio	0	2
itseinduktiojännite	0	1
johdinsauva	0	6
johdinsilmukka	2	6
Joulen laki	0	2
jännite	0	3
jännitehäviö	0	3

kantoaalto	0	2
kapasitanssi	1	2
kapasitiivinen reaktanssi	0	3
katodi	0	2
kenttäviivat	1	1
kestomagneetti	0	2
kiihdytysjännite	0	1
kohtisuorassa	0	2
kolmivaihegeneraattori	1	0
kondensaattori	0	9
kulmataajuus	0	1
käämi	6	19
LC-värähtelypiiri	0	3
Lenzin laki	0	4
liike-energia	0	2
liikesuunta	0	2
liikkeessä	0	1
lähdejännite	0	1
lähestymisanturi	0	1
lähetin	0	1
läpilyönti	1	0
maan magneettikenttä	1	0
magneettivuo	1	1
magneetti	1	4
magneettikenttä	10	12
magneettinen muisti	0	1
magneettinen voima	1	6
magneettisesti kova	0	1
magneettisesti	0	1

pehmeä		
magneettivuontiheys	0	1
magnetoituminen	2	2
massaspektrometri	0	1
mekaaninen energia	0	2
metallilevy	0	4
metallinpaljastin	0	1
mikrofoni	0	1
momentti	0	2
muoto	0	1
muuntaja	2	3
muuntosuhde	1	1
napajännite	0	2
Newtonin lait	0	1
nopeusvalitsin	0	1
normaalikiiltevyys	0	1
Ohmin laki	0	3
Ohmin toinen laki	0	1
oikean käden sääntö	0	5
osoitin	0	1
paramagneetti	2	0
permeabiliteetti	0	1
pohjoiskohtio	2	0
poistovoima	2	0
polarisaatio	0	1
pyörrevirta	0	3
pätöteho	0	1
radioaallot	0	2
rautakappale	0	1

RCL-piiri	2	1
reaktanssi	0	4
resistanssi	0	4
resonanssitaajuus	2	0
sauvamagneetti	2	3
siirtojohdin	0	2
solenoidi	0	1
suljettu värähtelypiiri	0	1
suora virtajohdin	5	1
suunta	1	1
sähköenergia	0	4
sähköinen voima	1	3
sähkökenttä	1	8
sähkökitara	0	1
sähkömagneetti	0	1
sähkömagneettinen induktio	2	6
sähkömagneettiset aallot	0	7
sähkövirta	7	5
taajuus	0	1
taajuusmodulointi	0	1
tasainen ympyräliike	0	3
tasajännite	1	1
tasavirta	0	1
tasavirtageneraattori	1	0
tasavirtamoottori	0	1

teho	0	3
tehohäviö	0	2
tehoeroin	0	1
tehollinen arvo	0	5
tehonkulutus	0	8
toisiokäämi	0	1
tyhjiön permeabiliteetti	0	2
työ	0	6
työperiaate	0	1
ulkoinen magneettikenttä	0	2
vaihe-ero	0	5
vaihtojännite	1	4
vaihtovirta	0	4
vaihtovirtageneraattori	1	2
vaihtovirtapiiri	1	8
vakiokiihtyvyys	0	1
varaus	0	3
varattu hiukkanen	3	8
vastaanotin	0	1
vastus	0	5
vauhti	0	2
vesivoima	0	1
vetovoima	2	0
virtapiiri	1	4
virtasilmukka	0	1
voimakkuus	0	2
ydinvoima	0	1



Kuva 12: Physica 7 -kirjan sisällöstä koottu käsitekartta.

Liite E: Ammattiopiston materiaali

Taulukko 7: Ammattiopiston oppikirjasta tehdyssä käsittekartassa esiintyvät kytkennät

käsite	kytkennät
aikavakio	2
ajastin	1
anodi	1
avoin virtapiiri	2
booleanlauseke	2
diac	1
didosilta	2
digitaalitekniikka	3
diodi	8
estosuunta	7
huippuarvo	2
hystereesikomparaattori	2
hälytinjaestelmä	1
hämäräkytkin	1
invertoimaton vahvistin	2
invertoiva vahvistin	2
jännite	8
jännitehäviö	3
kapasitanssi	1
katodi	1
kokoaaltoasuuntaus	2
komparaattori	2
kondensaattori	6
kyllästystila	1
kynnysjännite	2
käämi	3
lamppu	4

latausjännite	1
LED	4
liitinjännite	1
lähdejännite	1
n-arvo	1
NPN-transistori	1
NTC-vastus	1
näytön ohjaus	0
ominaiskäyrä	3
operaatiovahvistin	7
optoeristin	0
oskillaattori	2
oskilloskooppi	3
paristo	3
PNP-transistori	1
PTC-vastus	1
puoliaaltotasasuuntaus	3
purkautumisjännite	1
päästösuunta	6
RC-piiri	4
regulaattori	4
rele	1
resistanssi	12
rinnankytkentä	1
RS-kiikut	0
sarjaankytkentä	1
sekakytkentä	1
sisäinen resistanssi	2

suljettu virtapiiri	2
suodatus	1
taajuus	2
tasajännite	4
tasavirta	4
tasavirtapiiri	1
tehohäviö	3
tehollinenarvo	2
tehonkesto	3
termistori	2
totuustaulu	2
transistori	7

triac	3
tyristori	2
unistori	4
vahvistin	3
vaihtojännite	3
vaihtovirta	3
vastus	11
virta	4
virtavahvistus	1
yleismittari	3
zenerdiodi	7

Liite F: Yliopiston materiaali

Taulukko 8: Yliopiston luentomateriaalista tehdyssä käsittekartassa esiintyvät kytkennät

käsite	kytkennät
aaltoyhtälöt	2
aikavakio	1
alkeisvaraus	2
Amperen laki	2
antoteho	2
Biot'n-Savartin laki	3
Coulombin laki	7
dipolimomentti	1
dissipoituva teho	2
elektroni	5
elektronivirran tiheys	1
energiatiheys	1
energiavirran tiheys	2
eriste	4
Faradayn-Henryyn laki	5
Galilein-muunnos	4
Gaussin laki	3
Gaussin pinnat	1
hylkiä	1
impedanssi	1
induktanssi	1
induktiivinen reaktanssi	1
indusoitu magneettikenttä	1
indusoitu virta	3
indusoitunut kenttä	1
indusoitunut smv	4
intensiteetti	1

johde	5
johdin	2
johtavuus	2
jännite	4
jännitehäviö	1
jännitelähde	1
kapasitanssi	2
kapasitiivinen reaktanssi	1
kelapiiri	2
kenttä	2
kenttäviivat	1
kenttävirta	1
kiihtyvyys	1
Kirchoffin sääntö jännittelille	6
Kirchoffin sääntö virroille	4
kohtio	1
komponentit	3
kondensaattori	2
kuorma	1
kvantittuminen	1
käämi	8
LC-piiri	3
Lenzin laki	2
levykondensaattori	11
liike-energia	1
lineaarinen varaustiheys	1
Lorentzin laki	1
Lorentzin voima	4

LR-piiri	3
lähde	1
maadoitus	1
magneetti	1
magneetikenttä	10
magneettinen dipolimomentti	1
magneettinen vuorovaikutus	2
magneettivuon tiheys	1
Malusin laki	1
Maxwellin yhtälöt	7
momentti	3
muuntaja	1
napa	1
negatiivinen	3
nettovoima	1
neutraali	1
Ohmin laki	2
paristo	5
pistevaraus	4
polarisoituminen	3
positiivinen	3
potentiaalienergia	5
Poyntingin vektori	1
protoni	2
pyörrevirrat	1
RC-piiri	5
RC-suodattimet	1
resistanssi	3
resistiivisyys	2
resonanssitaajuus	1
rinnan kytkentä	2
RLC-piiri	2
sarjaan kytkentä	2
sisäinen resistanssi	1

solenoidi	3
spin	1
suhteellinen permittiivisyys	1
superpositio	3
suprajohde	1
suunta	2
syklotronitaajuus	1
symmetria	1
sähködipoli	5
sähködynamiikka	1
sähköinen potentiaali	7
sähköinen potentiaalienergia	5
sähköinen vuorovaikutus	1
sähkökenttä	21
sähkömagneettinen kenttä	1
sähkömagneettiset aallot	4
sähkömotorinen voima	3
sähkönjohtavuus	1
sähköstaattinen tasapaino	2
sähkövaraus	1
sähkövirran säilyminen	2
sähkövirran tiheys	2
sähkövirta	8
sähkövuo	2
säteilypaino	1
tasainen	1
tasapotentiaalipinta	2
tasopolarisoitunut	1
teho	1
testivaraus	2
testivaraus	3
tyhjiön permeabiliteetti	1
tyhjiön permittiivisyys	1
työ	2

vaihevektorikaavio	1
vaihtojännite	1
vaihtovirta	1
vaihtovirtageneraattori	1
vaihtovirtapiiri	8
valon nopeus tyhjiössä	1
varattu hiukkanen	2
varattu pallo	2
varattu pinta	4
varattu tanko	3
varauksen säilymislaki	2
varauksen kuljettaja	1

varaus	12
varauskate	1
varaustiheys	2
vastus	9
vektorikenttä	2
vetää puoleensa	1
virtalähde	1
virtapiiri	8
virtasilmukka	4
vuoto	2

Liite G: Sanasto

Sanaston laadinnassa on käytetty hyväksi teoksia Young & Freedman, University Physics with Modern Physics 11th Edition ja Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio, Vuorovaikutuksista kenttiin -sähkömagnetismin perusteet.

akku	ladattava kenno tai kennosto, jonka avulla kemiallinen energia muutetaan sähköenergiaksi
ampeeri	tunnus A, kuvaa sähkövirran suuruutta
Amperen laki	kuvaa suorassa virtajohtimessa kulkevan virran aiheuttamaa magneettikenttää
Biot'n ja Svartin laki	kuvaa suljetun virtapiirin aiheuttamaa magneettikenttää missä tahansa avaruuden pisteessä
Coulombin laki	kuvaa kahden pistevarauksen välistä voimaa
demonstraatio	opettajan suorittaman työ, voidaan käyttää työn vaativuuden tai luonteen, ajan puutteen, välineiden vähyyden tai jonkin muu syyn takia
diamagneettinen	vasta ulkoisen magneettikentän saa aineen magnetoitumaan
diodi	piirikomponentti joka päästää virran lävitseen vain toiseen suuntaan
energia	tärkeä fysiikan suure joka voi muuttua muodosta toiseen, mutta ei koskaan häviä. Kappaleen energia kuvaan sen kykyä tehdä työtä.
eriste	estää kahden systeemin vuorovaikutuksen keskenään, esim. puu, vaahtomuovi, sähköopissa eriste ei kuljeta varausta
Faradayn ja Henryn laki	sama kuin Faradayn induktio laki, kuvaa indusoitunutta jännitettä joka aiheutuu magneettivuon muutoksesta suljetun silmukan läpi tietyn ajan kuluessa
ferromagneettinen	aine joka sisältää magneettisia alueita, jotka suuntautuvat ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta
Gaussin laki	kuvaa sähkövuota suljetun pinnan läpi
impedanssi	virtapiirin sähkövirtaa rajoittavaa ominaisuutta kuvaava suure,

	suuremerkintä Z ja yksikkö V/A
induktanssi	kuvaa käämin kykyä vastustaa sähkövirran muuttumista, suuremerkintä L ja yksikkö H (henry)
influenssi	johdekappaleen varausjakauma
johde	mahdollistaa varauksen siirtymisen paikasta toiseen, esim. kuparilanka
johdin	sähkökomponentti joka on tehty jostakin johdemateriaalista, johtimella voidaan yhdistää muita komponentteja toisiinsa koska se mahdollistaa virran kulkemisen piirissä
johdinsilmukka	johtimesta taivutettu suljettu silmukka
Joulen laki	kuvaa piirissä olevan vastuksen sähkötehoa
jännite	potentiaaliero kahden pisteen välillä, lukiossa tunnus U , yksikkö V (voltti)
jännitehäviö	kahden piirin pisteen jännitteen välinen erotus
jännitelähde	saa virtapiiriin aikaan jännitteen, esim. paristo
kapasitanssi	kuvaa kondensaattorin kykyä ottaa vastaan varausta, tunnus C , yksikkö F (faradi)
kenttäviiva	käytetään kuvaamaan sähkökentän tai magneettikentän suuntaa ja suuruutta
Kirchoffin 1. laki	virtapiirin solmukohtaan tulevien ja siitä lähtevien virtojen summa on aina nolla
Kirchoffin 2. laki	virtapiirin jokaisessa silmukassa sähkömotorinen voima on yhtä suuri kuin jännitehäviö
komponentti	osat, joista virtapiiri rakennetaan, esim. vastus, käämi, paristo...
kondensaattori	kahden johdekappaleen lähekkäin olevat pinnat muodostavat kondensaattorin
kytkentäkaavio	piirros, josta selviää kuinka kytkennät on tehty, käytetään sovittuja piirrosmerkkejä komponenteille
käämi	sähkökomponentti jossa johdinlanka on kieputettu silmukoiksi, esim. kuparilankaa lyijykynän ympärille
Lenzin laki	induktiovirran suunta määräytyy siten, että se vastustaa sen aiheuttavaa indusoivaa muutosta
Lorentzin laki	kuvaa magneettista voimaa, joka kohdistuu magneettikentässä liikkuvaan varaukseen

lähdejännite	eli sähkömotorinen voima (smv), kuvaa sähköparin (esim. patterissa tai akussa) virtalähdeilmion voimakkuutta, se määrää virran suunnan ja suuruuden
maadoitus	maadoituspisteen potentiaali on nolla, käytännössä maadoitus voi tarkoittaa virtapiirin kytkemistä maahan
magneetti	sisältää kaksi kohtiota, pohjois- ja eteläkohtio, jotka vuorovaikuttavat keskenään
magneettikenttä	liikkuva varaus tai virta aiheuttaa ympäristöönsä magneettikentän, joka vaikuttaa voimalla F magneettikentässä liikkuvaan toiseen varaukseen tai virtaan
magneettivuon tiheys	kuvaa magneettikentän voimakkuutta
muuntaja	koostuu kahdesta käämistä ja rautasydäimestä, saadaan aikaan induktiivinen kytkentä kahden virtapiirin välille
napajännite	todellinen jännite joka jännitelähteestä saadaan, kun lähdejännitteestä vähennetään sisäinen jännitehäviö
Ohmin 2. laki	Ohmin laki johdinlangalle, johdinlangan resistanssi on suoraan verrannollinen langan pituuteen ja kääntäen verrannollinen langan poikkipinta-alaan vakio- lämpötilassa
Ohmin laki	johtimessa kulkevan virran ja sen päiden välisen jännitteen suhde on vakio jota kutsutaan johtimen resistanssiksi
oikean käden sääntö	oikean käden sääntöjä on useita, niillä pyritään helpottamaan kolmiulotteisia ilmiöitä ja vektorisuureiden suuntia
oppilastyö	oppilaiden itse toteuttama työ, ohjeet voivat olla hyvin sitovat tai avoimet jolloin oppilaat saavat itse suunnitella työn kulun
paramagneettinen	pysyvästi magneettinen
paristo	kenno tai kennosto, jonka avulla kemiallinen energia muutetaan sähköenergiaksi
permeabiliteetti	kuvaa aineen magneettista ominaisuutta
polarisaatio	varausjakauman uudelleen järjestäytyminen
potentiaali	hiukkasen potentiaalienergia jaettuna varauksella, lukiossa tunnus V , yksikkö V (voltti)
potentiaaliero	sama kuin jännite
puolijohde	aine josta sähkökenttä, valaistus tai lämpö saa positiiviset tai negatiiviset varauksenkuljettajat helposti irtoamaan

RCL-piiri	piiri, jossa on sarjaan kytkettynä vastus, kondensaattori ja käämi
rinnan kytkentä	komponentit ovat kytketty siten, että virta pääsee kulkemaan useampaa reittiä pitkin virtapiirissä
resistanssi	kuvaa komponentin virranvastustuskykyä
resistiivisyys	kuvaa aineen kykyä vastustaa sähkövirran kulkua
sarjaan kytkentä	komponentit ovat kytketty siten, että virta voi kulkea vain yhtä reittiä pitkin virtapiirissä
superpositioperiaate	voidaan laskea yhteen esim. sähkövarausten vaikutukset tietyssä pisteessä
sähködipoli	pistevarauspari, jossa erimerkkiset varaukset sijaitsevat tietyn etäisyyden päässä toisistaan
sähköenergia	virtapiirin avulla välitetty energia
sähkökenttä	muodostuu sähkövarauksen ympärille, voidaan havaita testivaraukseen kohdistuvana voimana
sähkövirta	tunnus I , yksikkö A (ampeeri), kuvaa sitä kuinka paljon varausta kulkee tietyn ajanjakson aikana johtimen poikkileikkauspinta-alan läpi
tasajännite	jännitteen arvo pysyy vakiona, saadaan esim. paristosta
tasavirta	virta, joka pysyy jatkuvasti samansuuntaisena
teho	kuvaa sitä kuinka paljon työtä voidaan tehdä tietyn ajanjakson aikana
vaihtojännite	jännitteen arvo vaihtelee jaksollisesti
vaihtovirta	virta joka suunta muuttuu jatkuvasti
varaus	kappaleen sähköinen ominaisuus, varaus voi olla positiivinen, negatiivinen tai neutraali jolloin sekä positiivisia että negatiivisia hiukkasia on yhtä paljon
vastus	piirin komponentti joka vastustaa virran kulkua
virta	varausten liikettä alueesta toiseen
virtapiiri/piiri	umpinainen johdinsilmukka tai useita silmukoita, piirissä voi olla mukana erilaisia komponentteja
voima	Newtonin lakien mukaan kappaleeseen vaikutta voima aiheuttaa kiihtyvyyden