

Opettajien pedagoginen sisältötieto yläkoulun virtapiirien opetuksessa

Timo Aho

Pro Gradu-tutkielma

Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos

12.11.2011

Ohjaaja: Jouni Viiri

Kiitokset

Tämä Pro gradu -tutkielma on monien opiskeluvuosien ja niiden aikana tehdyn työn tulos. Tutkielman valmistuessa haluan kiittää Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen henkilökuntaa ja opiskelutovereitani kannustavan ja motivoivan opiskeluilmapiiirin luomisesta näiden vuosien ajan. Erityiskiitokset haluan kuitenkin antaa kolmelle henkilölle. Ensimmäinen heistä on Anu Saari, joka teki neljästä japanissa videoidusta oppitunnista suomenkieliset käännökset ja mahdollisti näin vertailuanalyysin tekemisen. Toinen taas on tutkielman ohjaaja, professori Jouni Viiri, jonka innostavassa, kannustavassa ja joustavassa ohjauksessa tutkielman tekeminen on ollut jatkuvasti mielekästä ja mielenkiintoista. Kaikkein suurimman kiitoksen ansaitsee kuitenkin rakas vaimoni Piia-Maria, kaikesta siitä tuesta ja kannustuksesta, jota olen tutkimus- ja kirjoitusprosessin aikana saanut, sekä asioiden pitämisestä tärkeysjärjestyksessä.

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaista pedagogista sisältötietoa tutkimukseen osallistuneilla suomalaisilla yläkoulun fysiikanopettajilla on virtapiirien opettamiseen liittyen, ja millaisia yhteisiä piirteitä eri opettajien pedagogisessa sisältötiedossa on. Tutkimusvälineinä käytettiin pedagogista sisältötietoa jäsentävää sisällönesitystaulukkoa sekä oppituntien videointia. Samalla tutkittiin, voidaanko opetuskokemuksen määrällä havaita olevan vaikutusta pedagogisen sisältötiedon määrään. Lopuksi vertailtiin löydettyjä tuloksia kirjallisuudesta löytyviin kansainvälisiin tuloksiin, ensisijaisesti australialaisilta opettajilta kerättyyn sisällönesitystaulukkoon, sekä japanilaiskoulussa kuvattuihin oppitunteihin.

Tutkittujen kahden suomalaisen opettajan pedagogisessa sisältötiedossa havaittiin useita yhteisiä piirteitä. Molemmat opettajat huomioivat oppilaiden ennakkokäsityksiä, erityisesti virhekäsityksiä varsin vähän. Opetusmenetelmät olivat samankaltaisia, ja molemmat opettajat seurasivat vahvasti käytössään olevan oppikirjan asioiden esittämistapaa ja -järjestystä. Ensisijaisena arviointimenetelmänä oppilaiden ymmärtämiselle kumpikin mainitsi keskustelut oppilaiden kanssa. Suurimpina eroina havaittiin kokeneemman opettajan käyttämät monipuolisemmat opetusmenetelmät sekä käsiteltävän aiheen teorian ja siihen liittyvän käytännön työn keskinäisen järjestyksen muuttuminen. Opetuskokemuksen määrän todettiin vaikuttavan positiivisesti pedagogisen sisältötiedon määrään, kuten aiemmat tutkimukset antoivat odottaakin.

Kansainvälisessä vertailussa australialaisten opettajien todettiin huomioivan suomalaisia opettajia enemmän ennakkokäsityksiä. Käytetyt opetusmenetelmät olivat osin erilaisia, mutta käytännön töiden painotuksessa tai menetelmien yleisessä monipuolisuudessa ei havaittu merkittävää eroa Australiaan verrattuna. Japanilaisilla oppitunneilla havaitut opetusmenetelmät eivät olleet aivan yhtä monipuolisia, mutta opetus eteni loogisempana kokonaisuutena kuin Suomessa. Arvioinnissa sekä Suomessa että Australiassa korostettiin oppitunneilla tapahtuvaa jatkuvaa arviointia.

Käytetyt tutkimusmenetelmät jättivät aukkoja opettajien pedagogisen sisältötiedon kuvaamiseen, mutta tutkimuksessa saatiin kuitenkin selville piirteitä tutkittujen opettajien pedagogisesta sisältötiedosta. Pienen otoskoon vuoksi tulosten yleistämisessä tulee noudattaa varovaisuutta.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	6
2 Pedagoginen sisältötieto.....	8
2.1 Pedagoginen sisältötieto käsitteenä.....	8
2.2 Pedagogisen sisältötiedon kehittyminen.....	12
2.3 Pedagogisen sisältötiedon esittäminen.....	14
3 Virtapiirit.....	16
3.1 Virtapiirien opetussisältö ja opettaminen.....	16
3.2 Oppilaiden virhekäsityksistä.....	19
3.3 Opettajien pedagoginen sisältötieto virtapiireissä.....	21
4 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmetodi.....	24
4.1 Tutkimuskysymykset.....	24
4.2 Aineisto.....	24
4.3 Aineiston analysointi.....	25
5 Tutkimustuloksia.....	27
5.1 Havainnot kerätystä materiaalista.....	27
5.1.1 Opettaja A.....	27
5.1.2 Opettaja B.....	35
5.2 Opettajien A ja B keskinäinen vertailu.....	42
5.2.1 Sisällönesitystaulukot.....	42
5.2.2 Oppitunnit.....	44
5.3 Kansainvälinen vertailu.....	47
5.3.1 Vertailu kirjallisuuteen.....	47
5.3.2 Vertailu japanilaiseen oppituntiin.....	49
6 Johtopäätökset.....	52

6.1 Millaista pedagogista sisältötietoa opettajilla oli havaittavissa?.....	52
6.2 Millaisia yhtäläisyyksiä opettajien pedagogisessa sisältötiedossa oli?.....	54
6.3 Oliko opetuskokemuksen määrällä vaikutusta?.....	55
6.4 Millaisia eroja löydettiin verrattuna muiden maiden opettajiin?.....	55
6.5 Tulosten soveltaminen.....	57
Lähteet.....	58
Liitteet.....	61
Liite 1: Virtapiirien sisällönesitystaulukko.....	61
Liite 2: Tyhjä sisällönesitystaulukko.....	65
Liite 3: Kuvauslupalomake.....	67
Liite 4: Taulukot japanilaisten oppituntien etenemisestä.....	68

1 Johdanto

Tämän tutkimuksen päämääränä on tutkia suomalaisten yläkoulun fysiikan aineenopettajien pedagogista sisältötietoa virtapiirien opetuksessa. Pedagoginen sisältötieto on käsite, jonka L. S. Shulman esitteli ensimmäistä kertaa 1980-luvun puolessavälissä. Pedagoginen sisältötieto tarkoitti Shulmanille nimenomaan sellaista sisällön osaamista, joka ”ilmentää niitä sisällöllisiä näkökulmia, jotka ovat kaikkein oleellisimpia aiheen opetettavuudelle” (Shulman, 1986). Eri tutkijoilla on ollut käsitteen tarkasta sisällöstä ja siihen vaikuttavista tekijöistä erilaisia näkemyksiä, mutta Shulmanin esittelemästä lähtökohdasta on yleisesti pidetty kiinni. Tässä tutkimuksessa pedagogista sisältötietoa käsitellään Shulmanin sekä Geddisin ja Woodin (1997) mallien mukaisesti tietona asioista, jotka auttavat välittämään opettajalla olevan asiasisällöllisen tiedon oppilaille. Käytännössä keskitytään ensisijaisesti opettajien tietoon oppilaiden ennakkokäsityksistä ja opetusmenetelmien valintaan, sekä toissijaisesti asioiden opettamisjärjestykseen ja arviointiin. Tämä jako nousee Shulmanin (1986) sekä Etkinan (2010) pedagogisen sisältötiedon tarkemmista määrittelyistä.

Pedagogista sisältötietoa käsitteleviä julkaisuja on löydettävissä melko paljon, mutta varsinaista pedagogisen sisältötiedon tarkempaan sisältöön pureutuvaa tutkimusta jossain tietyssä opetettavassa aiheessa on varsin vähän. Gess-Newsomen (2001) mukaan syitä tähän voivat olla esimerkiksi tietämättömyys pedagogisen sisältötiedon mallista, halu pitäytyä perinteisillä tutkimuslinjoilla tai pedagogisen sisältötiedon heikko käytännöllinen arvo. Joitakin tutkimuksia on tehty esimerkiksi matematiikassa (Carpenter ym., 1988) ja englannin kielessä (Gudmundsdottir 1991), mutta kaiken kaikkiaan minkä tahansa alan kyseessä ollessa kysymykseen ”Millaista pedagogista sisältötietoa opettajilla tästä aiheesta on?” on vaikea löytää tutkittuun tietoon perustuvaa vastausta. Aivan erityisesti tämä pätee suomalaisten opettajien tapauksessa – harvoja aiheesta tehtyjä julkaisuja ovat Viirin (2003) sekä Johnstonin ja Ahteen (2006) tutkimukset – mutta kansainvälisestikään tietoa ei juuri löydy. Kenties kattavin yritys tämän aukon täyttämiseen luonnontieteen alalla on Loughranin, Berryn ja Mulhallin australialaisten opettajien parissa tekemä tutkimus (2006), jossa on koottu viidestä eri aiheesta pedagogisen sisältötiedon kuvaukset tutkimusta varten kehitetyillä välineillä: sisällönesitystaulukolla ja pedagogis-ammattillisilla keinovalikoimilla. Näistä ensimmäistä

käytetään myös tässä tutkimuksessa tiedonkeruun välineenä yhdessä oppituntien videoimisen kanssa.

Tutkimuksen aiheen valintaan vaikutti ennen kaikkea se, että fysiikanopettajaopiskelijana fysiikan opetuksen tutkiminen mahdollisimman käytännöllisellä tasolla tuntui olevan oman opettajuuteni kannalta hyödyllistä, ja edellä esitetyistä syistä juuri pedagogisen sisältötiedon tutkimiselle on selkeä tilaus. Tarkemmaksi tutkimusaiheeksi valikoitui nimenomaan yläkoulun virtapiirien opetus tutkielman ohjaavan professorin Jouni Viirin ehdotuksesta. Tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena oli siis löytää vastaus edellä mainitun mukaiseen kysymykseen ”Millaista pedagogista sisältötietoa yläkoulun fysiikanopettajilla on virtapiireistä?”. Samalla pyrittiin tutkimaan, millaisia yhtäläisyyksiä tutkittavien opettajien pedagogisesta sisältötiedosta löytyy, ja onko opetuskokemuksen määrällä vaikutusta pedagogisen sisältötiedon määrään.

Tutkimukseni liittyy tekeillä olevaan suomalais-japanilaiseen vertailututkimukseen, jossa tutkitaan kahden PISA-tutkimuksissa hyvin menestyneen maan opettajien toimintaa, minkä vuoksi oli luontevaa ottaa tutkimukseen mukaan myös kansainvälinen näkökulma. Päätelmien tekemiseksi suomalaisista opettajista yleensä oli tärkeää saada tutkimukseen mukaan enemmän kuin yksi tutkittava opettaja, ja lopulta tutkittavia opettajia olikin kaksi. Otos ei siis ole kovin suuri, mutta tutkimukseen osallistuneilla opettajilla oli varsin erilaiset opetusympäristöt ja kokemustaustat, joten voitiin olettaa opettajien pedagogisesta sisältötiedosta löytyvien yhtäläisyyksien ilmentävän ainakin jollain tasolla kansallisen kulttuurin vaikutusta. Vertailtaviksi maiksi valikoituivat käytettävissä olevan materiaalin perusteella Australia sekä Japani.

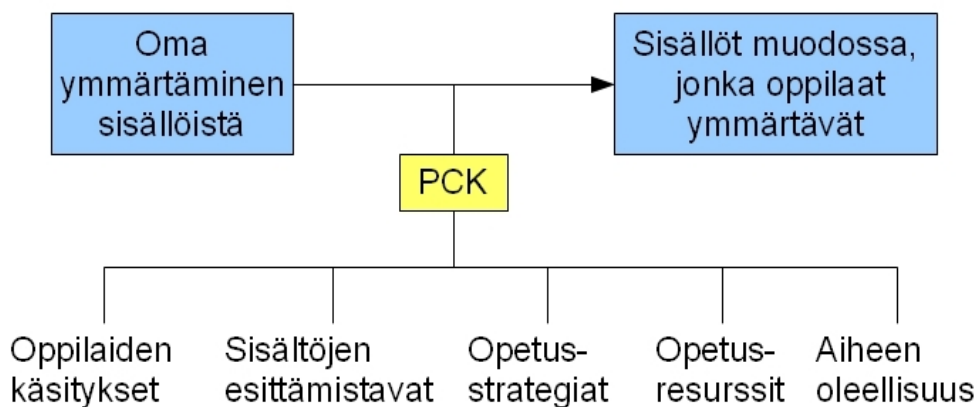
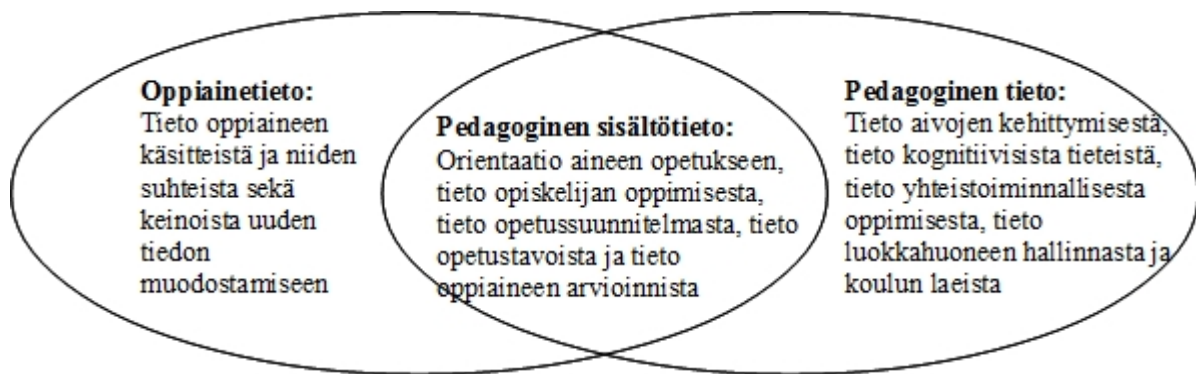
2 Pedagoginen sisältötieto

2.1 Pedagoginen sisältötieto käsitteenä

Pedagoginen sisältötieto (Pedagogical Content Knowledge, PCK) on käsite, jonka tarkka määrittelyminen on varsin vaikeaa. 80-luvulla Shulman kollegoineen käytti käsitettä ensimmäistä kertaa, ja määritteli pedagogisen sisältötiedon tiedoksi, jota opettajat kehittävät auttaakseen muita oppimaan (Abell, 2007). Shulmanin (1987) mukaan opettajan tietopohja koostuu vähintään seuraavista: tieto opetettavan aineen sisällöistä, yleinen pedagoginen tieto, tieto opetussuunnitelmasta, pedagoginen sisältötieto, tieto oppijoista ja heidän ominaispiirteistään, tieto koulutuksellisesta kontekstista sekä tieto koulutuksellisista päämääristä, tavoitteista ja arvoista. Näistä juuri pedagoginen sisältötieto on Shulmanin mukaan opettajille ominaista ammatillista ymmärrystä, joka yhdistää sisällöllisen ja pedagogisen osaamisen tiettyjen asioiden esittämisessä erilaisille oppijoille, ja juuri se todennäköisimmin erottaa opettajan sisällöllisestä erikoisosaajasta.

Etkina (2010) esittää hiukan rajatumman näkemyksen opettajan tietopohjasta. Hänen mukaansa pedagoginen sisältötieto on yksi kolmesta opettajan tiedon pääpilarista, joista muut kaksi ovat oppiainetieto eli tietämys oppiaineen sisällöistä sekä pedagoginen tieto eli tieto siitä, miten ihminen oppii. Nämä eivät ole toisistaan erillisiä, vaan vuorovaikuttavat keskenään pedagogisen sisältötiedon toimiessa ikään kuin siltana kahden muun välillä. Kuvassa 1 on havainnollistettu tätä yhteyttä ja avattu sitä, mitä sisältöjä kuhunkin alueeseen liittyy.

Nämä Shulmanin ja Etkinan näkemykset opettajan tietopohjasta eivät suinkaan ole ainoat, joita on esitetty, vaan esimerkiksi Abell viittaa Grossmaniin (1990), joka katsoo pedagogiseen sisältötietoon vaikuttavan kahden sijaan kolme muuta tiedonala: Oppiainetieto, pedagoginen tieto ja kontekstietieto. Etkina ei ota omassa esityksessään kontekstia huomioon erillisenä alueena, mutta toisaalta kontekstin huomioon ottamisen voidaan katsoa sisältyvän esitettyihin pedagogisen sisältötiedon osiin, kuten tietoon siitä, miten juuri tietyn luokan oppilaat oppivat parhaiten tai millaisia opetustapoja on todella käytettävissä. Muutenkin eri tavoissa kuvata opettajan tietopohjaa on havaittavissa vaihtelua siinä, mitä tiedon lajeja otetaan varsinaisesti erillisiksi alueikseen ja mitä puolestaan upotetaan suurempien



Kuva 1: Kaksi havainnollistusta pedagogisesta sisältötiedosta, toisaalta oppiainetiedon ja pedagogisen tiedon välisenä siltana Etkinan (2010) mukaan ja toisaalta opettajan tiedon muokkaajana oppilaille saavutettavaksi Geddisin ja Woodin (1997) mukaan.

yläotsikoiden alle. Yhtenäistä kuitenkin näyttää olevan se, että pedagogista tietoa ja oppiainetietoa pidetään Shulmanin mallin mukaisesti pedagogiseen sisältötietoon nähden erillisinä käsitteinä, jotka eivät ole niinkään pedagogisen sisältötiedon osia kuin siihen vaikuttavia tekijöitä, tai jopa edellytyksiä: Van Driel, Verloop ja De Vos (1998) päättelivät niin opettajankoulutukseen kuin vieraiden aihealueiden opettamiseenkin liittyvien tutkimusten pohjalta, että oppiaineen sisällön syvällinen hallitseminen on pedagogisen sisältötiedon kehittymiselle välttämätön edellytys. Opettajalla, joka ei tunne itsekään opetettavaa asiaa hyvin, on vaikeuksia valita sisällön opettamiseen sopivaa esitystapaa, eikä hän tunne aiheeseen liittyviä yleisiä ongelmia ja ennakkokäsityksiä hyvin. Van Driel ym. toteavat kuitenkin yleisen pedagogisen tiedon auttavan tällaisessa tilanteessa, ja toimivan tietyn aiheen opettamista koskevan pedagogisen sisältötiedon kehittymistä tukevana kehyksenä.

Loughran, Berry ja Mulhall (2006) määrittelevät pedagogisen sisältötiedon "tiedoksi, jota opettajat kehittävät ajan myötä ja kokemuksen kautta, siitä, miten tiettyä sisältöä tulisi opettaa tietyillä tavoilla oppilaan ymmärryksen lisäämiseksi", samalla kuitenkin myös korostaen, että pedagoginen sisältötieto ei ole samaa kaikille vaan riippuu kontekstista, aiheesta ja kokemuksesta. Loughran ym. painottavat sitä, että kysymys ei ole pelkästään opetusmenetelmien vaihtelusta, vaan oppilaan ymmärryksestä: tietyn metodin käyttö opetuksessa on pedagogista sisältötietoa, jos se valitaan nimenomaan siksi, että sen avulla oppilas ymmärtää käsiteltävää asiaa paremmin, eikä vain siksi, että se "toimii" tai tuo vaihtelua oppitunteihin.

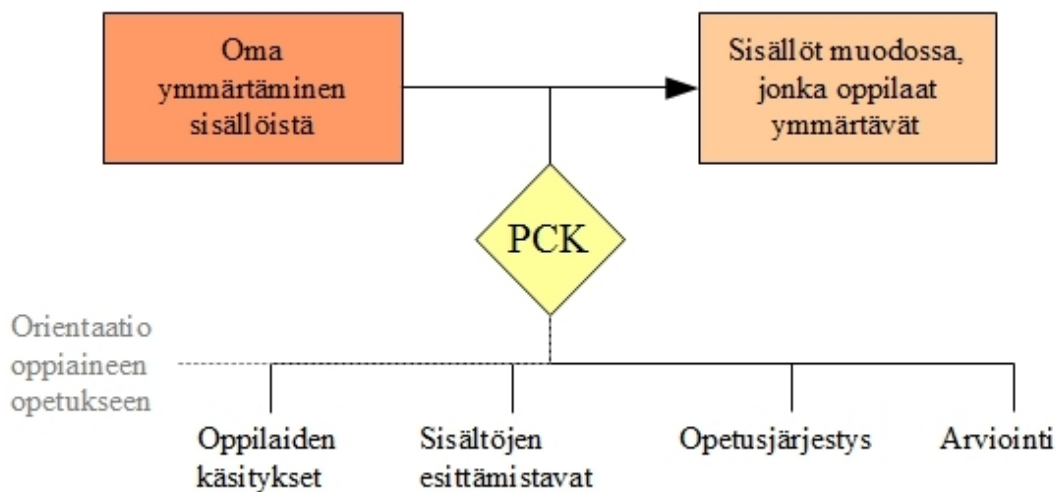
Shulman (1986) esittää pedagogisen sisältötiedon koostuvan kahdesta oleellisesta osasta. Ensimmäinen näistä on tieto kaikkein hyödyllisimmistä asioiden esittämistavoista, tehokkaimmista analogioista, kuvista, esimerkeistä, selitystavoista ja demonstraatioista, toisin sanoen tavoista esittää sisältöä siten, että se on mahdollisimman hyvin muiden omaksuttavissa. Toinen osa pedagogista sisältötietoa taas on ymmärrys siitä, mikä tekee tietyn aiheen oppimisen vaikeaksi tai helpoksi, toisin sanoen oppilaiden yleisimmät ennakkokäsitykset, sekä tavat, joilla virheellisiä käsityksiä voidaan käsitellä. Nämä kaksi puolta sisältyvät myös Magnussonin, Krajcikin ja Borkon (1999) määrittelemiin pedagogisen sisältötiedon viiteen eri osaan, joita Etkina avaa yksityiskohtaisemmin nimenomaan fysiikkaan liittyen:

- *Orientaatio oppiaineen opetukseen* eli tieto opetuksen tarkoituksesta ja tavoitteista tietyllä luokka-asteella sekä yleinen lähestymistapa aineen opettamiseen, esimerkiksi käsitys kokeellisen toiminnan merkityksestä tai siitä, miten oppilaita voi motivoida luokassa.
- *Tieto opiskelijoiden oppimisesta*, sisältäen oppimisen edellytykset eri aiheille, opiskelijoille erityisen vaikeat asiat, asenteet oppimista kohtaan sekä yleiset virhekäsitykset ja kielelliset haasteet fysiikan kielen ja arkikielen eroavaisuuksien suhteen.
- *Tieto opetussuunnitelmasta* ja siitä mitä sen tulisi olla, eli käsitys siitä, missä järjestyksessä aiheita tulee opettaa, jotta oppilas voi rakentaa uutta tietoa aiemman pohjalle.

- *Tieto opetustavoista*, niin laajempien aihekokonaisuuksien opetukseen liittyen kuin myös tiettyjen yksittäisten aiheiden opettamiseen vaikkapa erilaisten mallien, ongelmien tai käytännön töiden kautta, ja kyky valita toimivin opetusstrategia opetettavalle ryhmälle tai yksilölle.
- *Tieto oppiaineen arvioinnista*, eli siitä, miten oppilaiden ymmärtämistä opettujen käsitteiden ja käytäntöjen suhteen voidaan arvioida ja auttaa heitä myös itsearviointissa.

Tämän jaon myötä voidaan huomata, että pedagoginen sisältötieto ei ole millään tavalla staattinen ja yleismaailmallinen opettajien ominaisuus, vaan siihen vaikuttavat monet yksilölliset asiat kuten paikallinen opetussuunnitelma, opetettava luokka-aste ja ympäröivä kulttuuri, ja lisäksi kysymyksessä on aina vahvasti tiettyyn sisältöön kytkeytyvä tieto: eri sisältöjä tulee opettaa eri tavoilla, ja siksi pedagoginen sisältötieto vaikkapa biologian opetuksessa on erilaista kuin fysiikan opetuksessa (Etkina). Geddis ja Wood (1997) pitävät pedagogista sisältötietoa välineenä, jolla opettaja voi muuttaa oman ymmärryksensä opetettavasta sisällöstä sellaiseen muotoon, jossa oppilaat voivat sen ymmärtää. Tässä he seuraavat Shulmanin (1987) näkemystä, jonka mukaan opettajan tehtävänä on muokata opetettava asia valmistelemalla materiaali, kehittelemällä asioiden esitystavat ja opetusstrategiat sopiviksi, soveltamalla nämä esitystavat opetettavalle luokka-asteelle, ja räätälöimällä vielä nämä sovellukset juuri opetettaville lapsille. Kuvassa 1 on esitetty Geddisin ja Woodin kaavio tästä muutoksesta. Pedagogisen sisältötiedon Geddis ja Wood jakavat hiukan erilaisin osiin kuin Magnusson ym., mutta molempien esityksessä on paljon samoja piirteitä: Tieto aiheen oleellisuudesta voidaan nähdä vastaavana kuin orientaatio oppiaineen opetukseen, ja opiskelijoiden käsitykset sekä opetustavat on mainittu molemmissa esityksissä. Oppiaineen arviointia Geddis ja Wood eivät ole ottaneet mukaan, mutta he ovat toisaalta huomioineet opetusresurssit, joita Magnussonin ym. voidaan katsoa korkeintaan sivuavan opetussuunnitelman osalta.

Tässä tutkimuksessa pedagogista sisältötietoa käsitellään Shulmanin sekä Geddisin ja Woodin esittämän näkökulman mukaisesti opettajan tiedon muokkaajana oppilaille ymmärrettävään muotoon, mutta tarkemmassa analyysissä tutkitaan Magnussonin ym. ja Etkinan esittämiä pedagogisen sisältötiedon osa-alueita: oppilaiden ennakkokäsityksiä, sisältöjen esitystapoja, opetusjärjestystä sekä arviointia. Näiden katsottiin olevan melko



Kuva 2: Tutkimuksessa käytettävä lähestymistapa pedagogiseen sisältötietoon

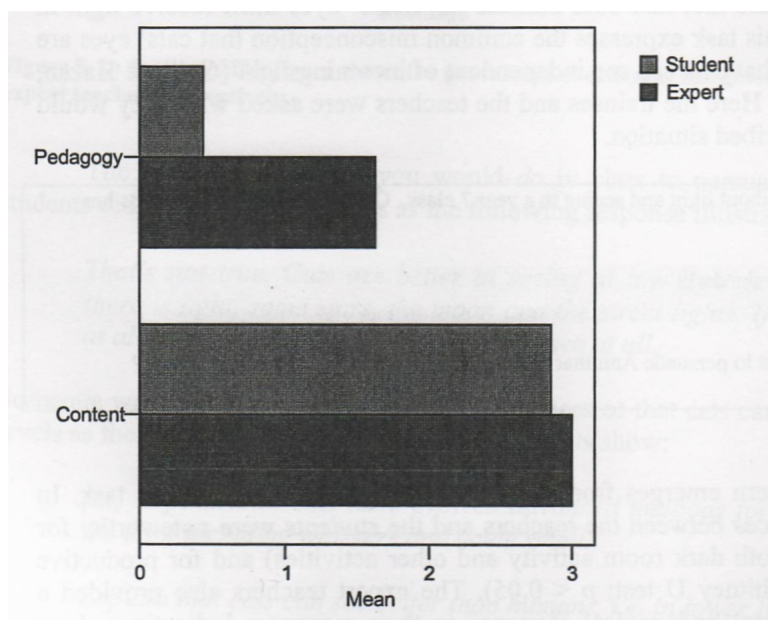
yksinkertaisesti havainnoitavissa olevia asioita. Orientaatio oppiaineen opetukseen jätetään käsittelemättä, sillä tutkimukseen ei kuulu opettajan haastattelua tai muuta vastaavaa tutkimusmenetelmää, jolla opettajan asenteisiin ja ajatuksiin voitaisiin paneutua syvällisemmin. Samoin Geddisin ja Woodin esittämistä osa-alueista esimerkiksi opetusresursseihin ei tässä tutkimuksessa kiinnitetä juuri huomiota. Tutkimuksessa käytettyä näkökulmaa on havainnollistettu kuvassa 2.

2.2 Pedagogisen sisältötiedon kehittyminen

Loughran ym. pitävät siis pedagogisen sisältötiedon kehittämisessä oleellisena tekijänä opettajan kokemusta. Myös Shulman pitää käytännön kokemusta yhtenä päälähteenä opettajan tiedolle opettamisesta. Shulmanin (1987) mukaan neljä tärkeintä tekijää opettajan tietopohjan syntyisessä ovat asiantuntemus oppiaineen sisällöissä, opetusmateriaalit ja koulutusrakenteet, muodollinen opetuksellinen asiantuntemus sekä käytännön kokemuksen tuoma viisaus. Kokemus on Shulmanille myös tutkimuksen ohella toinen tärkeä tekijä hyödyllisimpien opetusmetodien löytämisessä (1986). Opetuskokemusta korostavat myös Van Driel ym. (1998): heidän kirjallisuustutkimuksensa perusteella oppiaineen sisältöjen ymmärtämisen lisäksi toinen kriittinen tekijä pedagogisen sisältötiedon kehittämisessä on opetuskokemus. Van Driel ym. viittaavat tutkimuksiin (esim. Lederman ym., 1994), joiden mukaan aloittelevilla tiedeopettajilla havaitaan hyvin vähän tai ei lainkaan pedagogista sisältötietoa.

Pidempään ammatissa olleiden opettajien ja fysiikanopettajaharjoittelijoiden sisällöllistä, pedagogista ja oppilaiden päättelytapoihin liittyvää tietopohjaa vertailevassa tutkimuksessa Angell, Ryder ja Scott (2005) tulivat samansuuntaisiin tuloksiin: Vaikka molemmilla ryhmillä oli oleellisesti yhtä vahvat sisällölliset tiedot opetettavista asioista, niin suuria eroja havaittiin erilaisten pedagogisten keinojen käyttämisessä. Tutkimukseen osallistuneille opettajille esitettiin erilaisia fysiikan opettamistilanteisiin liittyviä kysymyksiä, ja heidän vastauksensa pisteytettiin siten, että jokaisesta oikeasta sisällöllisestä asiasta sekä jokaisesta rakentavasta pedagogisesta lähestymistavasta sai yhden pisteen. Sisällöllisiltä pisteiltään vastaukset olivat keskimäärin hyvin lähellä toisiaan, mutta pedagogisissa pisteissä näkyi selvä ero, kuten kuvasta 3 havaitaan.

Opettajat, joilla oli ammatillista kokemusta, käyttivät enemmän vastakysymyksiä vastatessaan oppilaalle ja etenivät merkittävästi useammin opetuksessa loogisesti vaihe kerrallaan kuin harjoittelijat. Oppilaiden antamien vastausten haastamista ja virhekäsityksiin viittaamista esiintyi kokeneilla opettajilla myös melko usein (56% ja 38% käytti näitä ainakin kerran neljän kysymyksen aikana), kun taas harjoittelijoista vain muutama prosentti tukeutui näihin. Angell ym. päättelevätkin, että aloittelevien ja eksperttiopettajien välinen ero syntyy juuri pedagogisesta ymmärryksestä, ja tämä ero heijastaa puolestaan sitä, että harjoittelijoiden



Kuva 3: Harjoittelijoille ja kokeneille opettajille esitettyihin opetuksellisiin tilannekysymyksiin saatujen vastausten keskimääräiset pedagogiset ja sisällölliset pistemäärät Angellin ym. tutkimuksessa.

osaaminen painottuu omaan ymmärtämiseen ja todenmukaisen tiedon välittämiseen, kun taas ekspertit keskittyvät siihen, miten oppilaat ymmärtäisivät sisällön siinä tilanteessa, jossa opetus tapahtuu.

Buaraphan ja Roadrangka toteavat myös tapaustutkimuksessaan (2006), että suora kokemus opettamisesta niin tarkkailijana kuin opettajanakin oli erittäin merkittävä tekijä fysiikanopettajaharjoittelijan pedagogisen sisältötiedon kehittämisessä. Näin tutkimukset näyttävät tukevan käsitystä siitä, että pedagoginen sisältötieto kehittyy merkittävästi nimenomaan kokemuksen kautta.

2.3 Pedagogisen sisältötiedon esittäminen

Shulmanin (1987) mukaan yksi opetusalan turhauttava ominaisuus on sen ”laajamittainen yksilöllinen ja kollektiivinen muistinmenetys”, eli se, miten säännönmukaisesti opettajien parhaat keksinnöt jäävät sekä aikalaisilta että tulevilta sukupolvilta huomaamatta, kun ei ole tarkkailijoita eikä tallennustapaa, jolla saavutuksia tallennettaisiin. Shulmanin mukaan opettajilla on kuitenkin paljon kirjoittamatonta tietoa, ja haasteena tutkimukselle onkin tähän tietoon pureutuminen.

Tähän haasteeseen ovat tarttuneet Loughran, Berry ja Mulhall (2006). Vaikka pedagoginen sisältötieto vaihtelee eri opettajilla eri aikoina, voidaan heidän mukaan olettaa, että samankaltaisista taustoista tulevilla, samankaltaista opetussuunnitelmaa noudattavilla ja samankaltaisessa kontekstissa työtään tekeillä opettajilla on yhteneväisyyksiä myös pedagogisen sisältötietonsa osalta. Tämän vuoksi pedagogisen sisältötiedon saaminen jollain tapaa näkyväksi ja jaettavaksi on tavoiteltavaa ja voi auttaa opettajia kehittämään omaa opetustaan. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi Loughran ym. ovat kehittäneet kaksi välinettä: sisällönesitystaulukon (Content Representation, CoRe) ja pedagogis-ammattilliset keinovalikoimat (Pedagogical and Professional-experience Repertoires, PaP-eRs). Sisällönesitystaulukkoon opettaja (tai useampi) kerää ensiksi käsiteltävästä aihepiiristä mielestään tärkeimmät opetettavat "perusaiheet", joita on tyypillisesti 5-8. Sitten jokaisesta aiheesta käydään läpi seuraavat kysymykset:

- 1. Mitä odotat oppilaiden oppivan tästä aiheesta?*
- 2. Miksi oppilaiden on tärkeää tietää tämä?*

3. *Mitä muuta tiedät aiheesta (mutta oppilaiden ei vielä tarvitse tietää)?*
4. *Mitä vaikeuksia tai rajoituksia on tämän aiheen opettamisessa?*
5. *Mitä asioita tiedät oppilaiden ajattelusta, jotka vaikuttavat aiheen opettamiseen?*
6. *Mitkä muut tekijät vaikuttavat aiheen opettamiseen?*
7. *Mitä opetusmenetelmiä käytät tähän aiheeseen liittyen (ja miksi juuri näitä)?*
8. *Miten otat selville, ovatko oppilaat ymmärtäneet asioita tästä aiheesta?*

Näiden kysymysten avulla on tarkoitus kartoittaa opettajan näkemyksiä käsiteltävästä aiheesta ja näyttää, millaisia valintoja opettaja tekee aihetta opettaessaan. Pedagogis-ammattilliset keinovalikoimat puolestaan ovat käytännön selostuksia tai kuvauksia siitä, miten opettaja ajattelee ja toimii opettaessaan jotakin tiettyä aihetta, ja keskittyvät näin ollen paljolti käytännön luokkahuonetoimintaan. Sisällönesitystaulukko siis tuo esiin opettajan pedagogisen sisältötiedon raamit, ja keinovalikoimat puolestaan käytännön näkökulman siihen, miten sisältötieto näkyy käytännössä.

3 Virtapiirit

3.1 Virtapiirien opetussisältö ja opettaminen

Tämä tutkimus keskittyi yksinkertaisten virtapiirien opettamiseen suomalaisessa koulussa. Tämän vuoksi aihealueeseen liittyvää sisältöä määriteltäessä ensimmäisenä on syytä huomioida opetushallituksen määrittelemät opetussuunnitelman perusteet, jotka velvoittavat opettajia Suomessa sisällyttämään tietyt asiat opetukseensa. Opetussuunnitelman perusteet edellyttävät, että opetuksen jälkeen oppilas ”ymmärtää jännitteen ja sähkövirran välisen yhteyden suljetussa virtapiirissä ja vastuksien vaikutuksen sähkövirran suuruuteen sekä osaa tehdä ennusteita virtapiirin toiminnasta ja käyttää kytkentäkaaviota virtapiirin mallina” (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, s.185). Ainakin nämä asiat siis tulisi löytyä opetuksesta riippumatta siitä, mitä opettaja itse varsinaisesti virtapiirien opettamisesta ja oleellisista sisällöistä ajattelee.

Tärkeä vaikuttaja opetuksessa on luonnollisesti asioiden esitystapa oppikirjoissa. Kari (1988) on tutkinut ympäristötiedon ja maantiedon opettajien oppikirjasidonnaisuutta ja toteaa erityisesti maantiedon opettajien olevan erittäin oppikirjasidonnaisia: yli 90 prosenttia tutkituista opettajista käytti oppikirjaa opetuksen suunnittelussa. Samoin Kuusiston (1989) tutkimuksessa oppikirjaa pidettiin erittäin tärkeänä oppimateriaalina erityisesti koko luokan opetuksessa: viisiportaisella asteikolla opettajien arvioima oppikirjan merkittävyys oli keskimäärin yli neljä. Näin ollen voidaan perustellusti olettaa, että oppikirjat ovat merkittävä tekijä myös fysiikan opetuksessa, ja on hyödyllistä tutkia, mitä ne esittävät virtapiirien opetussisällöiksi sekä tavoiksi opettaa kyseiset asiat.

Yläkoulun fysiikan oppikirjoissa *Avain – Fysiikka 3* (2005) sekä *Aine ja energia – Fysiikan tietokirja* (2001) virtapiirien käsittely aloitetaan samalla tavalla, sähkövarauksesta ja kappaleen varautumisesta ja polarisoitumisesta sekä sähköisestä voimasta puhumalla. Tästä eteenpäin kirjojen asioiden esittämisjärjestys poikkeaa kuitenkin hiukan.

Avain käsittelee toisessa virtapiirejä käsittelevässä kappaleessa pariston ja akun toimintaa, esittelee jännitteen ja sähkövirran käsitteet määritellen ne varauseroksi ja elektronien liikkeeksi sekä kertoo hehkulampun toimintaperiaatteen. Samalla otetaan esille jännite- ja virtamittarit ja käytännön työnä mitataan jännitteitä ja sähkövirtoja myös rinnan- ja

sarjaankytketyillä paristoilla. Vasta seuraavassa kappaleessa esitellään virtapiiri sähkön kulkureittinä ja opetellaan kytkentäkaavion tulkitsemista ja piirtämistä. Samassa kappaleessa määritellään myös johteet ja eristeet aineiksi, joissa elektronit liikkuvat helposti tai huonosti, sekä kerrotaan energian siirtyvän sähkön avulla voimalaitoksesta koteihin, mistä taas päästään sähköturvallisuuden käsittelyyn ja sulakkeen toimintaan. Käytännön työt ovat tässä kappaleessa sulakkeen ja hehkulampun toiminnan demonstroimista vastuslangalla sekä sähkömoottorin käyttämistä.

Resistanssille ja Ohmin laille Avain käyttää yhden kappaleen. Tässä kappaleessa puhutaan tarkemmin johteista, eristeistä ja puolijohteista ja kerrotaan resistanssin tarkoittavan virran vastustuskykyä, joka riippuu vastuslangan pituudesta ja paksuudesta. Resistanssiin vaikuttavista tekijöistä on kappaleen yhteydessä myös käytännön oppilastyö. Kodin sähkölaitteiden Avain kertoo olevan virtapiirin vastuksia, ja mainitsee samalla laitteiden tai vastusten rinnan- ja sarjaankytkennän ottamatta kuitenkaan esille usean vastuksen kokonaisresistanssia. Lopuksi kerrotaan resistanssin riippuvan johdinlangan materiaalista ja selitetään jännitteen ja sähkövirran suhteen pysyvän virtapiirissä vakiona, mistä päästään Ohmin lain esittelyyn ja laskuihin.

Aine ja energia esittelee sähkövarauksen jälkeen jännitteen sähköisen tilan erona ja sähkövirran elektronien jatkuvana ”virtana”, paljolti Avaimen tavoin, mutta ottaa heti tämän jälkeen esille virtapiirin sähkövirran kulkureittinä, jossa sähkövirta siirtää energiaa. Samassa kappaleessa käsitellään myös johteen ja eristeen käsitteet sekä kytkentäkaavio piirrosmerkkeineen, ja työkirjassa tehdään ohjeiden perusteella yksinkertaisia kytkentöjä sekä tutkitaan eri aineiden sähkönjohtavuutta. Sähköturvallisuuden Aine ja energia käsittelee lisäosiona tähän kappaleeseen. Jännitteen ja sähkövirran mittaamista käsitellään sekä teoreettisesti että käytännössä vasta seuraavassa kappaleessa, ja niiden yhteydessä käsitellään myös paristojen ja lamppujen rinnan- ja sarjaankytkentöjen vaikutusta kokonaisjännitteeseen ja sähkövirtaan ottamatta kuitenkaan esille resistanssin käsitettä.

Resistanssista on Aine ja energia -kirjassa Avaimen tavoin yksi kappale. Siinä kerrotaan vastuksen vastustavan sähkövirran kulkua, päästään jännitehäviön ja virran suhteen vakiona pysymisestä Ohmin lain muotoiluun, sekä kerrotaan vastusten sarjaan- ja rinnankytkentöjen vaikutus kokonaisresistanssiin. Johtimen resistanssiin vaikuttavat tekijät ja sulakkeen toiminta käsitellään tietokirjassa ylimääräisinä asioina, vaikkakin resistanssiin

riippuvuutta lämpötilasta tutkitaan työkirjan oppilastöissä, samoin kuin Ohmin lain kokeellista todentamista ja vakiovastuksen resistanssin määrittämistä.

Eri tapoja virtapiirien opettamiseen on tutkittu kansainvälisesti jonkin verran. Analogioiden käyttö on todettu tehokkaaksi tavaksi oppia ja päästä eroon oppilaiden virhekäsityksistä yksinkertaisten virtapiirien tapauksessa (Paatz 2004, Chiu & Lin 2005). Myös Jamesin ja Scharmannin (2007) tutkimus vahvistaa tätä käsitystä, sillä tutkimuksessa analogioiden käytön opetteleminen paransi opetusharjoittelijoiden opetuksen tasoa selvästi. Schaffer ja McDermott (1992) ovat muodostaneet omien ennakkokäsitystutkimustensa pohjalta esityksen siitä, miten virtapiirejä tulisi opettaa siirtyen kvalitatiivisesta näkökulmasta vähitellen kohti kvantitatiivista:

1. *Kvalitatiivinen lähestymistapa.* Alussa kehitetään kvalitatiivista käsitteiden hallintaa ja päättelyä. Ensimmäiseksi esitellään suljetun virtapiirin ja sähkövirran käsitteet sekä todetaan kokeellisesti, ettei sähkövirta kulu ja että sen suuruus ei riipu virran suunnasta tai komponenttien keskinäisestä järjestyksestä, mutta riippuu siitä, miten komponentit on aseteltu paristoon nähden (sarjaan- ja rinnankytkennät). Seuraavaksi tutustutaan resistanssin ja kokonaisresistanssin käsitteisiin tutkimalla usean hehkulampun kytkentöjä sarjassa ja rinnan. Tämän jälkeen voidaan soveltaa opittua, ennustaa tietyn virtapiirin lampujen suhteellisia kirkkauksia ja tutkia erilaisten virtapiirien käyttäytymistä, jolloin huomataan että muutos virtapiirin yhdessä osassa vaikuttaa myös muihin osiin ja että pariston suhteen rinnakkain kytketyt virtapiirin haarat ovat keskenään riippumattomia, mutta muualla rinnakkain kytketyt haarat eivät ole.
2. *Puolikvantitatiivinen lähestymistapa.* Kun käsitteitä on jo saatu hallintaan, voidaan siirtyä virtapiirien kvantitatiivisempaan tarkasteluun. Esitellään virtamittari, ja todetaan sen viisarin liikkeen vastaavan lampun kirkkauden vaihteluja, minkä jälkeen tarkennetaan kokonaisresistanssin käsitettä etsimällä säätövastuksen avulla vastaava resistanssi kuin monen vastuksen rinnan- ja sarjaankytketyllä systeemillä. Tämän jälkeen voidaankin esitellä jännitemittari ja potentiaalieron käsite kytkemällä virtalähteitä rinnan ja sarjaan sekä tutkimalla jännitemittarin neulan asennon muuttumista. Samoin tutkitaan jännitemittarin neulan käyttäytymistä, kun mittari

kytketään hehkulampun yli ja virtapiirissä tehdään muutoksia, ja on saatu taas työkaluja monimutkaisempien virtapiirien käsittelyyn.

3. *Kvantitatiivinen lähestymistapa.* Virran, potentiaalilin, potentiaalieron ja resistanssin käsittelyn tultua tutuksi mittarien avulla voidaan tehdä mittauksia, joilla todennetaan Kirchhoffin lait ja Ohmin laki, sekä voidaan määritellä tarkasti kokonaisresistanssin kaavat rinnan- ja sarjaankytkennöille. Tehon ja energian käsitteet esitellään tarkkailemalla ei-identtisten lamppujen kirkkauksia ja pariston tyhjenemisaikaa eri kytkennöissä. Samalla voidaan tutustua todellisen pariston ja ideaalisen pariston eroihin.

3.2 Oppilaiden virhekäsityksistä

Oppilailla on yleisesti tiettyjä virhekäsityksiä yksinkertaisten virtapiirien toiminnasta. Tsai (2003) viittaa Osbornen tutkimuksiin (1983, Tasker & Osborne 1985), joissa löydettiin kolme yleistä virhekäsitystä: yhden johtimen malli, jossa virta vain lähtee paristosta ja toinen johdin on tarpeeton, törmäävien virtojen malli, jossa virta lähtee paristosta molempia johtimia pitkin ja päättyy hehkulamppuun, jossa se ”kuluu pois”, sekä yksisuuntainen kuluvan virran malli, jossa katsotaan virran lähtevän pariston toisesta navasta, etenevän kohti toista napaa ja kuluvan hiukan jokaisen komponentin kohdalla. Edelleen Tsai viittaa Shipstoneen (1985), jonka tutkimuksessa yli 60 prosentilla 14-vuotiaista oli edellä mainituista kolmas virhekäsitys.

Borges ja Gilbert (1999) listaavat erilaisten oppilaiden sähköopin ymmärtämiseen liittyvien tutkimusten pohjalta seitsemän asiaa, jotka kuuluvat oppilaiden sisäisiin malleihin sähköopista:

- (1) sähköopin peruskäsitteiden, kuten sähkövirran, sähkön ja energian erottaminen toisistaan;
- (2) paristojen ja muiden komponenttien kaksinapaisuuden tunnistaminen;
- (3) suljetun virtapiirin tarpeellisuuden tunnistaminen, jos virran tahdotaan kulkevan piirissä;
- (4) sähkövirran säilyvyys;
- (5) resistanssin vaikutus sähkövirtaan;

(6) mallit sähkövirran kierrolle piirissä;

(7) sähkövirran luonne.

Näistä osa on Borgesin ja Gilbertin mukaan alttiimpia muutokselle kuin toiset, ja esimerkkinä vaikeasti muutettavasta virhekäsityksestä käytetään käsitystä virran säilyvyydestä, joka juontanee juurensa energian ja sähkövirran käsitteiden sekoittumiseen. Helpommin sen sijaan ovat löydettävissä todellisuutta vastaavat mallit komponenttien kaksinapaisuudesta ja suljetun virtapiirin tarpeellisuudesta.

McDermott ja Shaffer (1992) ovat tutkineet yksityiskohtaisemmin oppilaiden vaikeuksia virtapiirien suhteen, ja jaotelleet yleisimmät ongelmat kolmeen luokkaan: Kyvyttömyys soveltaa muodollisia käsitteitä virtapiireihin, kyvyttömyys yhdistää muodolliset esitystavat ja numeeriset mittaukset virtapiireihin, sekä kyvyttömyys kvalitatiiviseen päättelyyn virtapiirien käyttäytymisestä. Kukin näistä jakautuu vielä useampaan alakohtaan. Samoin myös Engelhardt ja Beichner (2002) tutkivat DIRECT-testiään varten oppilaiden virhekäsityksiä virtapiireistä. Molemmissa tutkimuksissa yleisimmät oppilaiden virhekäsitykset vaikuttivat johtuvan käsitteiden sekoittumisesta ja heikosta hallinnasta. Yleinen ongelma molempien tutkimusten perusteella oli myös liian lokaali ajattelumalli, jossa virtapiiriä ei kokonaisuutena hahmotettu eikä käsitetty virtapiirin yhdessä osassa tapahtuvan muutoksen vaikuttavan myös muualla. Käsitteistä vaikeuksia vaikutti tuottavan erityisesti sähkövirta, mikä on sopusoinnussa sen kanssa, mitä Borgesin ja Gilbertin edellä esitetystä listasta voidaan huomata. Heidän esittämästään seitsemästä kohdastahan lähes kaikki liittyivät juuri sähkövirtaan. Käytännössä nämä vaikeudet näkyivät McDermottin ja Shafferin sekä Engelhardtin ja Beichnerin tutkimuksissa mm. seuraavasti:

- Jännitteen ja resistanssin ajateltiin olevan olemassa vain, jos on sähkövirtaa.
- Sähkövirran ajateltiin jakautuvan johdinten risteyksessä tasan riippumatta siitä, millaisia komponentteja eri haaroissa oli.
- Virta- ja jännitemittareiden ei nähty vaikuttavan piiriin kokonaisuutena millään tavalla.
- Oppilaat uskoivat pariston tuottavan virtapiiriin jatkuvasti vakiovirtaa sen sijaan, että potentiaaliero pariston napojen välillä olisi pysynyt samana.

- Oppilaat ajattelivat sähkövirran "kuluva" eli sähkövirran pienenevän joka komponentin kohdalla. Tämä virhekäsitys vastaa Osbornen määrittämää yksisuuntaisen kuluva virran mallia. Tällainen, myös omalla tavallaan lokaali ajattelumalli aiheuttaa ajatuksen siitä, että vain ennen tiettyä komponenttia tapahtuvat muutokset vaikuttavat ko. komponentin kohdalla.
- Sarjaan- ja rinnankytkentöjen ja niiden vaikutuksen hahmottamisessa oli myös osalla tutkituista opiskelijoista ongelmia, esimerkiksi moni laski vastusten resistanssit yhteen riippumatta siitä, miten ne oli virtapiiriin kytketty.
- Potentiaalinen ja potentiaalieron käsitteiden erottamisessa toisistaan oli vaikeuksia, esimerkiksi lampun kirkkaus määrittyi sen mukaan, mikä potentiaali kyseisen lampun kohdalla oli, eikä sen, mikä potentiaaliero lampun yli oli.

Molemmat tutkimukset paljastivat ongelmia myös kytkentäkaavion käsittämisen suhteen. McDermott ja Shaffer havaitsivat, että kytkentäkaavioita ei aina ymmärretty vain komponentteja ja niiden kytkentöjä kuvaaviksi, vaan niihin liitettiin myös merkityksiä siitä, millaisessa asetelmassa virtapiirin osat ovat todellisuudessa. Engelhardt ja Beichner puolestaan löysivät ongelmia erityisesti virtapiirin rakentamisessa kytkentäkaavion perusteella, mutta toteavat, että löytö voi liittyä myös oikosulkujen tai hehkulampun rakenteen heikkoon ymmärtämiseen.

3.3 Opettajien pedagoginen sisältötieto virtapiireissä

Loughranin ym. (2006) kokoamassa virtapiirien sisällönesitystaulukossa perusaiheita on kaikkiaan kahdeksan. Liitteessä 1 on esitetty tämä taulukko käännettynä sekä tiivistettynä. Perusaiheet olivat seuraavat:

- A) Sähkövirran aikaansaamiseksi on muodostettava yhtenäinen silmukka pariston yhdestä navasta toiseen*
- B) Sähkövirta on kokonaisvarauksen virtausta yhteen suuntaan. Varaukselliset hiukkaset, jotka liikkuvat, kun sähkövirtaa on, tulevat virtapiiriin muodostavista materiaaleista.*
- C) Paristosta saadaan energia sähkövirralle.*
- D) Kun virtapiirissä on sähkövirtaa, energia virtaa paristosta käyttäjälle.*

E) Paristo muodostaa sähkökentän virtapiirin muodostavien materiaalien sisälle. Tämä kenttä aiheuttaa sähkövirran, kun virtapiiri suljetaan.

F) Virtapiiri on systeemi, jossa muutos yhdessä osassa voi vaikuttaa muihin osiin.

G) Jännitemittari mittaa, kuinka paljon energiaa menetetään, kun yksi varausyksikkö siirtyy virtapiirin yhdestä kohdasta toiseen

H) Hehkulampun kirkkaus riippuu lamppuun syötettävän energian määrästä.

Liitetaulukko sisältää kunkin perusaiheen kohdalla aiemmin mainittuihin kysymyksiin saadut vastaukset, jotka Loughran ym. keräsivät kokoneiden australialaisten opettajien kanssa työskennellessään (Loughran, Mulhall & Berry 2004). Tämä sisällönesitystaulukko on kattavin löytämäni esitys yläastetason opettajien pedagogisesta sisältötiedosta virtapiireissä, joten sitä käytetään ensisijaisena vertailukohtana tutkimuksen opettajille. Kysymys 3 jätetään taulukossa käsittelemättä, sillä se ei suoraan liity opetettavaan asiatasoon, vaan sen ylittävään tietomäärään.

Kalliovaara (2009) on puolestaan tutkinut pro gradu-tutkielmassaan suomalaisten alakoulun opettajien pedagogista sisältötietoa virtapiireistä, ja hänen tutkimukseensa osallistuneet kolme opettajaa nostivat esille sisällönesitystaulukoissaan erityisesti suljetun ja avoimen virtapiirin erottamisen sekä kytkennät, jotka esiintyivät niin varsinaisena opetettavana aiheena kuin myös opetusmenetelminä. Kytkennöistä erityisesti korostuivat rinnan- ja sarjaankytkentöjen opetteleminen. Myös käsitteet sähkövirta ja jännite, joka Loughranin ym. sisällönesitystaulukossa tietoisesti jätetään käyttämättä, otetaan huomioon Kalliovaaran saamissa vastauksissa.

Kalliovaaran tutkimukseen osallistuneet opettajat kuvasivat opetustaan melko lyhytsanaisesti Loughranin ym. kokoamaan taulukkoon verrattuna, esimerkiksi ennakkokäsitykset mainitaan kyllä opetukseen vaikuttavina tekijöinä, mutta ainoa esimerkki näistä on yhden opettajan maininta, jonka mukaan jännitettä ja sähkövirtaa ei eroteta toisistaan. Konteksti on vaikuttamassa opetukseen mm. opetusvälineistön saatavuuden, rajoitetun tuntikehyksen ja luokassa olijoiden vireystilan kautta, mutta opettajat eivät kerro, miten ottavat nämä asiat huomioon opetuksessaan. Opetusmenetelminä suositaan

vuorovaikutteisuutta ja konkreettista tekemistä, mutta näitäkään käsitteitä ei avata kovin tarkasti.

4 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmetodi

4.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset olivat seuraavia:

Tutkimuskysymys 1: Millaista pedagogista sisältötietoa yläasteen opettajilla on havaittavissa? Tämä on tutkimuksen ensisijainen kohde. Shulmanin mallia noudattaen tämän kysymyksen käsittely painottuu erityisesti siihen, miten opettajat ottavat oppilaiden ennakkokäsityksiä huomioon ja millaisia opetusmetodeja he käyttävät, mutta myös Magnussonin ym. mainitsemiin opetusjärjestykseen sekä arviointiin kiinnitetään huomiota.

Tutkimuskysymys 2: Millaisia yhtäläisyyksiä tutkimuksen opettajien pedagogisessa sisältötiedossa on? Tutkitaan, kuinka samanlaista pedagoginen sisältötieto on opettajilla, jotka opettavat samassa suomalaisessa kulttuuriympäristössä, mutta erilaisissa kouluissa ja joilla on erilainen tausta opettajina.

Tutkimuskysymys 3: Onko opetuskokemuksen määrällä havaittavissa vaikutusta opettajan pedagogiseen sisältötietoon? Tutkimukseen osallistuneista opettajista toisella oli huomattavasti enemmän opetuskokemusta kuin toisella, joten pyrittiin havainnoimaan, onko tässä tapauksessa kokeneemmalla opettajalla enemmän pedagogista sisältötietoa, kuten tutkimusten perusteella voitaisiin olettaa.

Tutkimuskysymys 4: Millaisia eroja suomalaisten opettajien pedagogisessa sisältötiedossa on muiden maiden opettajiin verrattuna? Suomalaisilla opettajilla havaittua pedagogista sisältötietoa verrataan erityisesti sisällönesitystaulukon osalta Loughranin ym. kokoamaan australialaisten opettajien sisällönesitystaulukkoon, sekä tunnilla näkyvien käytännön toimintatapojen osalta japanilaiskoulussa toteutettuun oppituntiin siltä osin, kuin sen sisällöt vastaavat tutkimuksessa videoituja oppitunteja.

4.2 Aineisto

Tutkimuksen kohteena olivat kaksi yläasteen fysiikan aineenopettajaa. Opettaja A on opettajana keskisuomalaisessa yli 500 oppilaan tavallisessa kunnallisessa yläkoulussa, ja hänellä on opetuskokemusta noin kolmekymmentä vuotta. Opettaja B puolestaan opettaa pienemmässä länsisuomalaisessa koulussa, jossa yläkouluikäisiä oppilaita on alle sata, ja hän

on toiminut opettajana alle viisi vuotta. Näiden kahden opettajan pedagogista sisältötietoa pyrittiin kartoittamaan käyttäen välineinä sisällönesitystaulukkoa sekä oppituntien videointia. Sisällönesitystaulukot (tyhjä taulukko liitteenä 2) lähetettiin tutkimukseen osallistuneille opettajille etukäteen täytettäväksi, ja niiden avulla voidaan analysoida sitä osaa opettajien pedagogisesta sisältötiedosta, joka on olemassa tietoisesti, muulloinkin kuin itse oppituntitilanteessa. Videoinnin kautta päästään käsiksi opettajan todelliseen toimintaan oppitunneilla ja pystytään saamaan käsitystä myös pedagogis-ammattillisista keinovalikoimista, joita opettajat käyttävät. Kalliovaara toteaa sisällönesitystaulukossa mainittujen opetusmenetelmien kuvautuvan auki videoiden kautta, ja samalla näkyy käsitysten ja käytännön yhtenevyys. Näin on mahdollista saada kattava kuva siitä, millaista tietoa virtapiirien opettamisesta juuri näillä tutkituilla opettajilla on ja miten se näkyy käytännössä, vaikka Loughranin ym. alkuperäinen sisällönesitystaulukon olemuksen ajatus, johon kuuluu taulukon kokoaminen laajasta, useiden opettajien aineistosta, ei täysin toteudukaan (2006, s. 21).

Opettajan B kohdalla ilmeni aineistonkeruuvaiheessa, että opettaja ei pystykään itse opettamaan koko sovittua aihealuetta, vaan sijainen tulee opettamaan loppuosan. Päätettiin kuitenkin ottaa analysoitavaksi se osa tunneista, jonka opettaja B itse ehti opettaa. Näin kahden eri opettajan vertailua pystyttiin lopulta tekemään vain osasta virtapiirien opetusta, mutta sitä pidettiin parempana vaihtoehtona kuin muuttaa tutkimusta vain yhden tapauksen tapaustutkimukseksi tai yrittää etsiä hyvin nopealla aikataululla toista tutkimukseen soveltuvaa opettajaa.

4.3 Aineiston analysointi

Sisällönesitystaulukot analysoidaan tutkimalla niiden sisältöä. Tutkimuksessa käytetty versio sisällönesitystaulukosta tosin poikkesi sanamuodoiltaan alkuperäisestä Loughranin ym. muotoilusta, mikä haittaa vertailua hiukan. Ero johtuu siitä, että tutkimuksen on määrä olla osa suomalais-japanilaista vertailututkimusta, ja tässä tutkimuksessa käytetty taulukko on käännetty Japanissa vastaavassa tutkimuksessa käytössä olleesta japaninkielisestä taulukosta. Näin ollen erityisesti kysymyksen 7 muotoilu on erilainen, alkuperäisessä taulukossa kysyttiin opetusmenetelmistä, tämän tutkimuksen taulukossa opetusjärjestyksestä.

Tunneilla kuvattuja videoita analysoimalla saadaan kuva siitä, mitä tunnilla todella tapahtuu. Tällöin kuullaan ja nähdään, millaisia opetusmenetelmiä opettaja käyttää ja millä tavoin asioita muuten käsitellään tunnilla. Videoiden analysoinnissa käytetään Seidelin (2005) esittelemää luokkahuoneen vuorovaikutuksen ja didaktisten vaiheiden kategorisointia, joka on esitetty taulukossa 1. Selkeän lopputuloksen aikaansaamiseksi käytetään aikayksikkönä Seidelin alkuperäisen kymmenen sekunnin sijaan yhtä minuuttia, ja jokainen minuutti koodataan sen kategorian numerolla, jonka katsotaan olevan kyseisen minuutin aikana hallitseva. Oppituntien kulusta tehdään kaaviokuva, jossa vaaka-akselilla on oppitunnista kulunut aika ja pystyakselilla vuorovaikutusten/didaktisten vaiheiden kategorianumerot, ja kuvasta voidaan siten havainnoida, millä tavoin oppitunnilla käytettiin aikaa mihinkin. Kaavioon merkitään myös tunnin eri vaiheissa käsitellyt suuremmat sisältökokonaisuudet. Sisällönesitystaulukkoa ja tunnilla todella tapahtunutta toimintaa vertaamalla päästään käsiksi kokonaiskuvaan opettajan pedagogisesta sisältötiedosta.

Taulukko 1: Videoiden analysoinnissa käytetty luokkahuoneen vuorovaikutusten ja oppitunnin didaktisten vaiheiden kategorisointi

Luokkahuoneen vuorovaikutus		Didaktiset vaiheet	
<u>Kategoria</u>	<u>Merkitys</u>	<u>Kategoria</u>	<u>Merkitys</u>
0	Ei mitään	0	Ei mitään
1	Opettajan luennointia	1	Kertausta
2	Muistiinpanojen tekemistä	2	Uuden aiheen esittely
3	Luokkakeskustelua / yhteistä työtä	3	Uuden aiheen oppimista
4	Hiljaista / yksilötyöskentelyä	4	Harjoittelua / osaamisen varmistamista
5	Parityöskentelyä	5	Soveltamista / syventämistä
6	Ryhmätöitä (>2 oppilasta)	6	Yhteenvetoa
7	Useita vuorovaikutustapoja samanaikaisesti	7	Opettajan antamaa palautetta oppimisesta
8	Siirtyminen kategoriasta toiseen	8	Testausta / arviointia / kotitehtävien tarkastusta
9	Muuta	9	Muuta

5 Tutkimustuloksia

5.1 Havainnot kerätystä materiaalista

5.1.1 Opettaja A

Sisällönesitystaulukko

Opettaja A määritteli virtapiireihin kuusi perusaihetta: (a) Jännite, (b) sähkövirta, (c) virtapiiri, (d) resistanssi, (e) Ohmin laki ja (f) sähkömagneettinen induktio. Jokaista aihetta oli kysymyksen 1 alla jaettu pienempiin opeteltaviin asioihin, jotka käsitellään tarkemmin myöhemmin tässä luvussa. Sisällönesitystaulukosta oli havaittavissa sama piirre, jonka Kalliovaara havaitsi alakoulun opettajien kohdalla: eri perusaiheiden opettamista ei käsitelty kovin paljoa toisistaan poikkeavilla tavoilla. Aiheiden (a)-(c) opettamisen motivaatioksi opettaja A kertoi kodin ja työpaikan sähkölaitteisiin tutustumisen, virtapiirin opetukseen lisäksi turvallisuuden ja tapaturmat. Resistanssin kohdalla mainittiin arvokilpeen tutustuminen, mutta kahden viimeisen aiheen kohdalla ei tähän vastattu lainkaan.

Vaikeudet ja rajoitukset aiheen opettamisessa keskittyivät vahvasti laitteisiin: viidessä ensimmäisessä aiheessa mainittiin käytännön demonstraatiot ja oppilastöihin sopivat laitteet, sekä kysymys ”toimivatko laitteet?”, jännitteen kohdalla lisäksi pelko laitteita kohtaan.. Ensimmäisten viiden aiheen kohdalla tuotiin esiin myös erilaiset oppijat sekä Ohmin lain kohdalla laskutaito. Sähkömagneettisen induktion osalta kokonaisuuksien ymmärtäminen nähtiin vaikeuksia aiheuttavana seikkana.

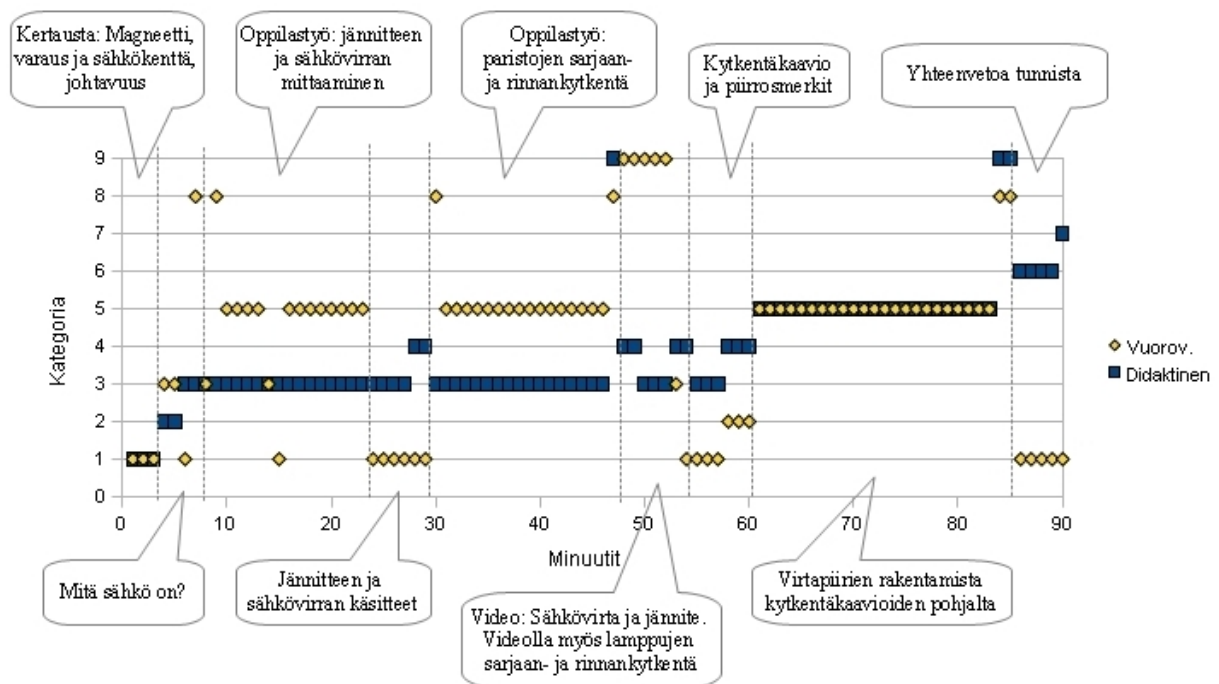
Yhtään virhekäsitystä ei opettajan A sisällönesitystaulukossa kerrottu erikseen mainiten. Oppilaiden ajattelutavoista kysyttäessä jännitteen, sähkövirran ja virtapiirin kohdalla kerrottiin asioiden olevan tuttuja, mutta tarkkojen määritelmien puuttuvan, ja lisäksi työillä olevan pelkoa laitteita kohtaan. Virtapiirien osalta mainittiin kytkentäkaavion tulkitseminen (oletettavasti siinä mielessä, että tulkitseminen tuottaa vaikeuksia), resistanssin osalta kaavan ja laskujen tuovan ongelmia, ja sähkömagneettisen induktion olevan käsitteenä vaikea ja siinä olevan väärä uskomus, jota ei kuitenkaan avata tarkemmin.

Kolme viimeistä kysymystä opettaja A käsittelee yhteisenä kaikille aiheille: Muita oppilaan ajatteluun vaikuttavia tekijöitä ovat se, että teknisen työn tunneilla on käsitelty joitakin asioita, erilaiset kiinnostukset laitteisiin sekä kodin vaikutus. Aiheiden opetuksesta mainitaan syy-seuraussuhde sekä eteneminen esimerkeistä yleisempiin kokonaisuuksiin, ja oppilaan ymmärrys tarkistetaan kotitehtävillä, keskusteluilla ja kirjallisella kokeella.

Oppitunnit

Opettajan A pitämiä oppitunteja videoitiin kaikkiaan neljän kaksoistunnin ajan. Näillä tunneilla käytiin läpi tasavirtapiireihin liittyvät teemat, jotka opettajan A sisällönesitystaulukossakin mainittiin, osin pois lukien sähkömagneettinen induktio, jota ei kuvattujen tuntien aikana ehditty käsitellä kokonaan. Aiheena tämä ei kuitenkaan ole suoraan tasavirtapiiriin liittyvä, joten ei katsottu tarpeelliseksi kuvata useampia tunteja.

Ensimmäisestä tunnista Seidelin kategorisoinnin mukaan tehty analyysi on esitetty kuvassa 4. Tunti painottui voimakkaasti oppilastyön tekemiseen, selvästi yli puolet oppitunnista käytettiin kytkentöjen tekemiseen paritoinä (vuorovaikutuskategoria 5). Aiheisiin tutustuttiin ensisijaisesti käytännön tekemisen kautta, ja teoreettisempaa opetusta käytettiin

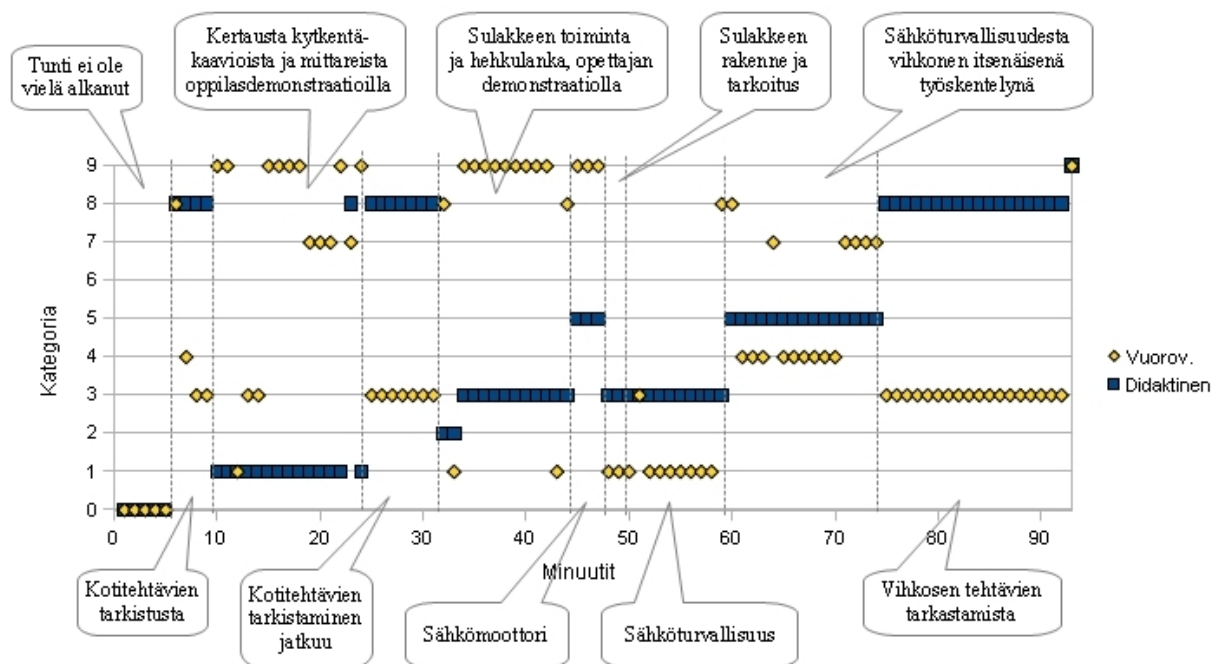


Kuva 4: Opettajan A ensimmäisen kaksoistunnin kulku

lähinnä alussa sähkön, jännitteen ja sähkövirran käsitteiden kohdalla sekä kytkentäkaavioiden esittelyssä.

Alun kertauksen jälkeen opettaja johti luokan keskustelemaan siitä, mitä sähkö on ja mitä se tuo oppilaiden mieleen. Tästä siirryttiin oppilastyöhön, jossa mitattiin jännitettä ja sähkövirtaa yksinkertaisissa virtapiireissä, minkä jälkeen opettaja selitti mitattujen suureiden olemusta käyttäen analogiaa, jossa jännitettä verrattiin vesiputoukseen ja sähkövirtaa veden virtaukseen. Jännitteen käsitteen osaamista syvennettiin sitten tekemällä paristojen rinnan- ja sarjaankytkentöjä, ja palattiin vielä peruskäsitteisiin videolla, jossa jännitettä verrattiin hissiin, joka nostaa elektronit korkeammalle energiatasolle ja sähkölaitetta siipirattaaseen, jota ”energia-alamäkeen” vierivät elektronit pyörittävät. Samalla videolla käytiin myös läpi lamppujen sarjaan- ja rinnankytkennät. Videosta keskusteltiin hetki, minkä jälkeen opettaja opetti taululla piirrosmerkkejä ja kytkentäkaavioiden piirtämistä. Oppilaat tekivät tästä muistiinpanoja vihkoon ja siirtyivät sitten rakentamaan virtapiirejä annettujen kytkentäkaavioiden pohjalta opettajan kierrellessä luokassa katsomassa ja auttamassa aina tarvittaessa. Lopuksi opettaja piti pienen yhteenvedon oppitunnin pääasioista.

Toisen oppitunnin kulku näkyy kuvassa 5. Tällä tunnilla pääsisältöinä olivat sulakkeen ja hehkulangan toiminta sekä sähköturvallisuus, ja pääasiallisina työskentelytapoina



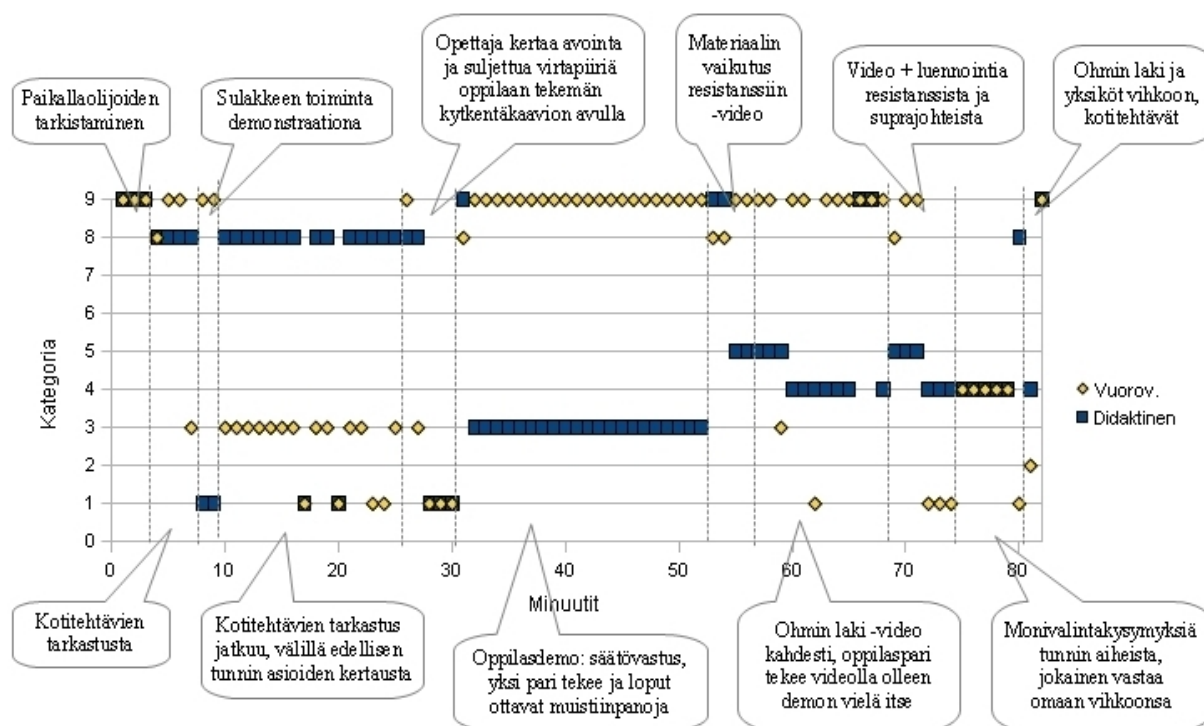
Kuva 5: Opettajan A toisen kaksoistunnin kulku

keskustelu ja demonstraatiot.. Alussa tarkistettiin kotitehtäviä jännitteen ja sähkövirran ominaisuuksista ja kerrattiin kytkentäkaavion piirtämistä, virtapiirien rakentamista sen pohjalta sekä mittarien käyttöä siten, että yksi tai kaksi oppilasta kävi tekemässä demonstraatiota luokan edessä ja muut tekivät havaintoja opettajan puhuessa välillä demonstroitavasta aiheesta. Kotitehtävien tarkistaminen suoritettiin keskustelemalla tehtävien vastauksista. Kotitehtävissä esiin tuli erityisesti pariston rakenne ja energian muuttuminen muodosta toiseen virtapiirissä sekä rinnan- ja sarjaankytkentöjen vaikutus. Demonstraation aikana opettaja otti myös esille suljetun virtapiirin käsitteen kysymällä, miksi virta ei kulje, kun johto on irrallaan.

Kotitehtävien jälkeen opettaja kertoi sulakkeen toiminnasta ja pyrki esittämään demonstraationa hehkulangan ja sulakkeen toimintaa johtamalla sähkövirtaa vastuslankaan. Virta ei tosin riittänyt langan katkaisemiseen. Seuraavaksi opettaja esitteli sähköenergian muuttumista eri energioiksi näyttämällä hetken sähkömoottorin toimintaa ja kertoi sitten vielä sulakkeen merkityksestä virtapiirissä, mistä siirryttiin kodin sähköturvallisuuden käsittelyyn ensin opettajajohtoisesti ja sitten tutustumalla opettajan jakamiin tieto- ja tehtävivihkosiin. Tunnin lopussa vihkosissa olleet tehtävät tarkastettiin yhdessä.

Kolmas oppitunti (kuva 6) käsitteli uutena asiana resistanssia ja Ohmin lakia. Työskentelytavoista demonstraatioiden käyttö oli hallitseva. Alussa opettaja kävi kiertelemässä luokassa ja katsomassa, oliko kotitehtävät tehty, ja hetkeksi oppitunti keskeytyi toisen opettajan tullessa hakemaan välineitä luokasta. Sitten opettaja toisti edellisellä tunnilla tekemänsä demonstraation sulakkeen toiminnasta, tällä kertaa ohuemmalla langalla, jolloin lanka katkesi. Kotitehtävien tarkastuksen yhteydessä käytiin läpi kytkentäkaavion merkkejä, sähkövirran luonnetta ja suuntaa virtapiirissä, johtavuutta ja sähköturvallisuutta. Oppilaalle oli epäselvyyttä avoimen ja suljetun virtapiirin käsitteissä, joten opettaja kertasi näitä käsitteitä kysymällä, miksi lamppu ei pala, jos kytketään vain yksi johdin virtalähteestä lamppuun. Tällöin oppilaalla oli selvästi vaikeuksia hahmottaa mikä ongelma tässä tilanteessa on, joten opettaja selitti, että aina tarvitaan suljettu piiri, jotta virta kulkisi. Tässä voidaankin katsoa käsitellyn samalla myös virhekäsitystä yhden johtimen mallista.

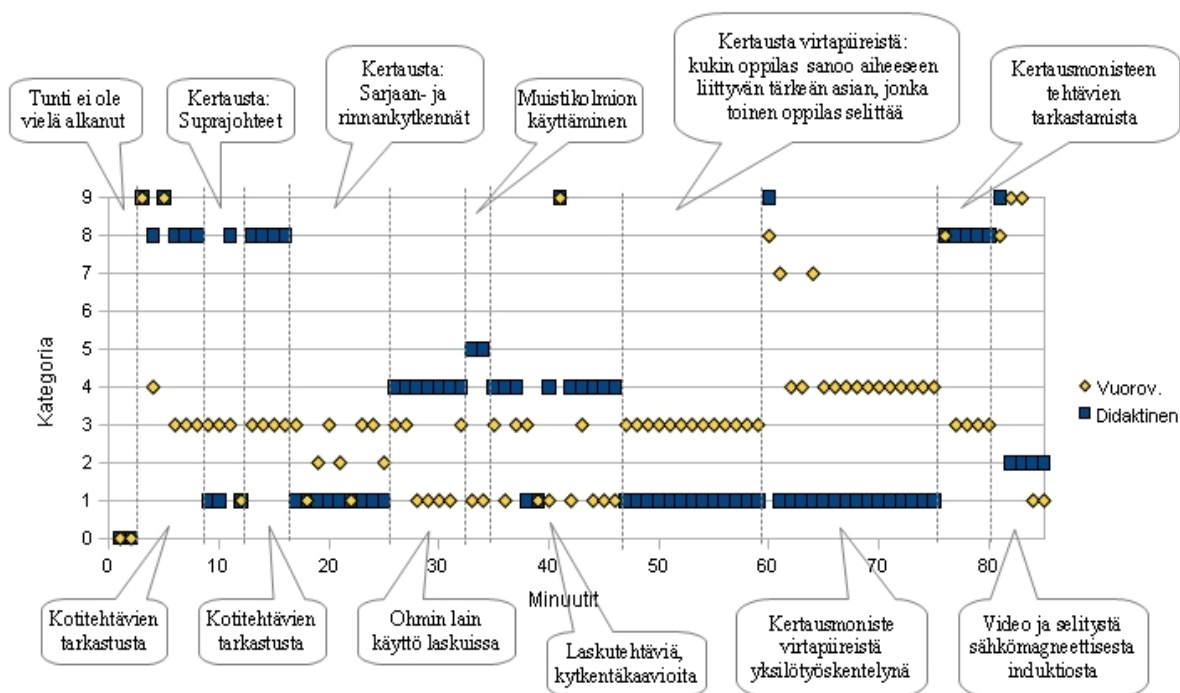
Resistanssin käsitteeseen johdatettiin kahden oppilaan tekemällä pitkäköllä demonstraatiolla, jossa tutkittiin säätövastusta eli johdinlangan pituuden ja paksuuden vaikutusta lampun kirkkauteen ja sähkövirran suuruuteen. Otettiin myös taululle ylös



Kuva 6: Opettajan A kolmannen kaksoistunnin kulku

sähkövirran arvoja sekä jännitteitä vastuslangan päiden välillä, kun langan pituutta muutettiin, ja katsottiin sitten kaksi videota, toinen materiaalin vaikutuksesta resistanssiin ja toinen Ohmin laista. Jälkimmäisen videon perusteella tehtiin uusi demonstraatio, joka noudatteli videolla ollutta työtä, jossa mitattiin vakiovastuksella sähkövirran arvoja jännitteen muuttuessa. Aluksi työssä ei nähty kunnan tuloksia, mutta hetken tutkimisen jälkeen kävi ilmi, että jännitelähde oli ollut vaihtojännitteellä. Tasajännitteelle vaihtamisen jälkeen saatiin näkyville suoraan verrannollisuus suureiden välille. Sitten katsottiin vielä video suprajohtavuudesta, ja opettaja kertoi suprajohteista ja resistanssin käsitteestä fyysisessä mielessä. Tämän jälkeen tehtiin kertauksena muutamia monivalintatehtäviä resistanssiin liittyen ja lopuksi kirjoitettiin vihkoon Ohmin laki kaavamuodossa sekä resistanssin tunnus ja yksikkö.

Neljäs oppitunti, jonka kulku on esitetty kuvassa 7, koostui enimmäkseen Ohmin lain harjoittelusta sekä kertauksesta, ja vuorovaikutuksellisesti painottui vahvasti luokkakeskusteluun ja opettajajohtoiseen opetukseen. Kotitehtävien tarkistuksessa käsiteltiin johtavuutta ja resistanssia, ja niiden jälkeen jatkettiin kirjan tehtävien parissa, jolloin voitiin



Kuva 7: Opettajan A neljännen kaksoistunnin kulku

kerrata vastusten rinnan- ja sarjaankytkentää sekä harjoitella laskutehtävien ratkaisemista Ohmin lain avulla. Välillä opettaja esitteli Ohmin lain opettelun auttamiseksi muistikolmion, ja sen jälkeen jatkettiin loppujen Ohmin lakiin ja kytkentäkaavioiden tulkittamiseen liittyvien laskutehtävien tekemisellä.

Laskujen jälkeen kerrattiin koko aihealuetta siten, että jokainen oppilas sai vuorollaan sanoa yhden tärkeän asian tai käsitteen aiheesta, ja tämän jälkeen jokaisen piti selittää yksi näistä asioista tai käsitteistä. Näiden avulla käytiin läpi lyhyesti jännite varuserona, sähkövirta elektronien tai ionien liikkeenä, lyhenteet ja tunnuksat, resistanssi virran vastustuskykyinä, sähköns johde, vuorovaikutus, virtapiiri sähköns kulkureittinä eli suljetun virtapiirin merkitys, Ohmin laki, ampeeri, kytkentäkaavion merkit ja rinnankytkentä. Sitten opettaja jakoi kertausmonisteet, joiden tekemisen ja osittaisen tarkistamisen jälkeen katsottiin vielä video sähkömagneettisesta induktiosta, ja opettaja kertoi induktion periaatteen.

Sisällönesitystaulukon ja videon vertailua

Sisällönesitystaulukossa esitetyt isoja aiheita ja niiden alla mainittuja asioita (merkitty kursivilla) käsiteltiin tunneilla seuraavasti:

- *Jännitettä* käsiteltiin paljon ensimmäisellä kaksoistunnilla. Aiheen alla mainituista asioista *virtalähteisiin*, erityisesti pariston toimintaan viitattiin useasti opettajan puheessa, ja *jännitteen esittäminen sähkövirran syynä* sisältyi sekä opettajan puhumaan että videolla nähtyyn analogiaan. *Sarjaan- ja rinnankytkennät* käsiteltiin aluksi käytännön työn kautta, ja niihin palattiin myöhemmillä tunneilla. *Jännitteen tunnuksista ja yksiköstä* puhuttiin toistuvasti läpi opetusjakson, ja *jännitemittarin käyttöä* harjoiteltiin paljon.
- *Sähkövirran* alla mainittu ”*mitä sähkövirta on*” käytiin ensimmäisellä tunnilla läpi suullisesti, ja siitä oli ilmeisesti puhuttu jo edellisillä tunneilla. Aiheeseen myös palattiin ohimennen useamman kerran seuraavilla tunneilla. *Virran suuruuden ymmärtämiseen* ei paneuduttu kovin paljoa, mutta viimeisillä oppitunneilla kerrottiin laskutehtävien yhteydessä jännitteen ja virran suuruuksien yleisistä mittaluokista (sähkövirta milliampeereista ampeereihin, jännite volteista kilovolteihin). *Tunnus, yksikkö ja mittaaminen* olivat esillä jatkuvasti samoin kuin jännitteen kohdalla. *Hehkulampun toimintaperiaate* selitettiin ja sitä havainnollistettiin käytännön demonstraatiolla toisella kaksoistunnilla, vaikkakaan sen rakennetta ei käyty kovin yksityiskohtaisesti läpi, mutta sen
- *Virtapiiri* -aiheesta *suljetun ja avoimen virtapiirin* käsitteet olivat esillä ensimmäisestä oppitunnista lähtien moneen kertaan, samoin kuin *kytkentäkaavioiden* piirtäminen ja tulkitseminen. *Sähkövirran kulkusuunnasta* puhuttiin lyhyesti ensimmäisellä oppitunnilla, ja *sulaketta* käsiteltiin sekä demonstraatiolla että teoreettisesti kahdella keskimmaisella kaksoistunnilla. *Kodin sähkölaitteiden kytkentöihin* ja *säköturvallisuuteen* paneuduttiin toisen kaksoistunnin aikana, tunnista kaikkiaan noin puolet käytettiin näihin aiheisiin ensisijaisesti itsenäisesti työstetyn tehtävävihkosen kautta. *Sähköenergian muutos eri energioihin* käsiteltiin samalla tunnilla demonstroitaessa hehkulangan ja sähkömoottorin toimintaa, ja siihen liittyi myös kotitehtäviä.

- *Resistanssi* oli pääaiheena kolmannella kaksoistunnilla, jolloin siihen tutustuttiin enimmäkseen demonstraatioiden kautta. *Aineiden sähkövirran vastustus* tuli esille tällä tunnilla niin videoissa kuin opettajan puheessakin, samoin kuin viimeisellä kertaustunnilla. *Johteista, puolijohteista ja eristeistä* puhuttiin erityisesti suprajohteiden kautta, keskustellen ja videon avulla, sekä kotitehtävien tarkistuksen yhteydessä. *Resistanssin yksikkö* tuli esiin lähinnä Ohmin lakia käsiteltäessä.
- *Ohmin lakia* käsiteltiin kolmannella ja neljännellä tunnilla. *Jännitteen, virran ja resistanssin yhteyteen* viitattiin ensin videolla, ja sitten myös opettajan puheessa. *Laskukaava* ja sen käyttäminen esiteltiin aivan kolmannen tunnin lopussa, ja käytännössä *laskuja* tehtiin neljännellä tunnilla siten, että opettaja teki niitä taululle kysellen oppilailta vastauksia. *Arvokilpeä*, joka sisällönesitystaulukossa mainittiin, en havainnut tunneilla käsiteltävän.

Ennakkokäsitykset

Opettaja A ei sisällönesitystaulukossaan maininnut käytännössä lainkaan virhekäsityksiä, joita opetuksessa otettaisiin huomioon, eikä kirjallisuudessa mainittuja ennakkokäsityksiäkään tullut videoissa kovin paljoa esille. Toisaalta esimerkiksi McDermottin ja Shafferin sekä Engelhardtin ja Beichnerin esittelemistä käsityksistä monet liittyivät asioihin, joita kuvatuilla oppitunneilla ei edes käsitelty, kuten vaikkapa Kirchoffin lakiin tai rinnan- ja sarjaankytkettyjen vastusten kokonaisresistanssiin. Osbornen mainitsema yhden johtimen malli käsiteltiin kolmannella oppitunnilla, ja muutenkin sähkövirran luonne tehtiin varsin selväksi, jolloin törmäävien virtojen mallikin osoittautui varmasti virheelliseksi. Myös virtalähteiden rinnan- ja sarjaankytkentöjen erilaiset vaikutukset tehtiin selväksi, mutta muita kappaleen 3.2 virhekäsityksiä en huomannut nimenomaisesti otettavan esille. Kuitenkin Borgesin ja Gilbertin seitsemästä sähköopin osa-alueesta komponenttien kaksinaisuus, suljetun virtapiirin tarpeellisuutta, sähkövirran kiertoa piirissä ja sähkövirran luonnetta käsiteltiin varsin kattavasti. Resistanssin vaikutus sähkövirtaan tuli selkeästi esille neljännellä oppitunnilla kotitehtävien tarkastuksen yhteydessä, vaikka käytännössä tätä ei juuri havainnollistettukaan, ja viimeisellä oppitunnilla resistanssi määriteltiin virran vastustuskyvyksi.

Jotkin kirjallisuudessa mainitut ennakkokäsitykset saattoivat tuntien aikana jopa vahvistua. Ainakaan energian ja sähkövirran käsitteitä ei eroteltu kovin tarkasti, esimerkiksi pariston toimintaa tai lampun kirkkautta käsiteltäessä puhuttiin välillä energiasta ja välillä sähkövirrasta. Samoin oli havaittavissa, että mittareita käsiteltiin niin kuin ne eivät vaikuttaisi lainkaan muuhun virtapiiriin Tämä on tosin myös oppikirjojen antama käsitys mittareista: opettajan A käyttämässä Avain -oppikirjassa kerrotaan kaiken sähkövirran kulkevan virtamittarin läpi, ja Aine ja energia -kirjan mukaan jännitemittari ei vaikuta millään tavalla piirin toimintaan.

5.1.2 Opettaja B

Sisällönesitystaulukko

Opettajalta B saatiin sisällönesitystaulukko vasta tuntien opettamisen jälkeen. Näin ollen taulukko ei välttämättä vastaa täysin sitä, mitä opettaja olisi sisältöjen opettamisesta ajatellut ennen tuntien pitämistä eikä taulukon ja videoidun opetustilanteen suhde näin ollen ole täysin yhtenevä opettajan A kanssa. Voidaan kuitenkin olettaa, että opettaja on pitänyt samoista aiheista oppitunteja aiemminkin, ja että videoitujen oppituntien pitämisen jälkeinen käsitys opetussisällöistä ei poikkea kovin paljoa tunteja edeltävästä käsityksestä. Näin ollen taulukkoa voidaan käyttää, mutta sitä analysoitaessa on taulukon kirjoittamisajankohta syytä pitää mielessä.

Opettajan B sisällönesitystaulukko sisälsi neljä eri perusaihetta: (a) sähköinen vuorovaikutus, (b) sähkövirta, (c) sähköisen tilan ero eli jännite ja (d) kytkennät. Nämä aiheet opettaja B ehti opettaa tutkituilla tunneilla, esimerkiksi resistanssin opetukseen ei siis tässä päästy pureutumaan. Aiheiden opettamisen motivaatiota ei avattu kovin yksityiskohtaisesti: sähköinen vuorovaikutus on oleellinen, koska monet ilmiöt johtuvat siitä, sähkövirrasta tulee opettaa, jotta oppilaat ymmärtäisivät mitä sähkö on, ja jännite ja kytkennät ovat tärkeitä osia sähköoppia. Kytkentöjä jotkut oppilaat saattavat tehdä myös työelämässä.

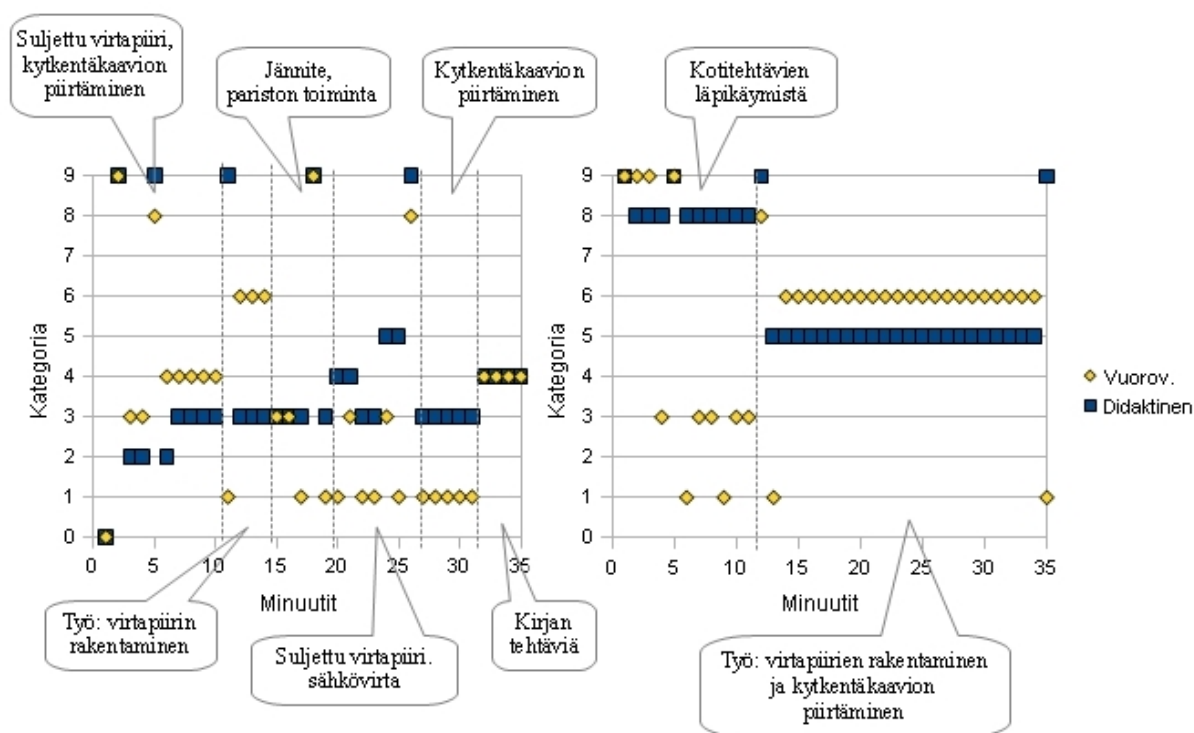
Vaikeuksina ja rajoituksina opettaja B pitää sähkövirran havaitsemista vain mittareiden avulla, oppilaiden uskomusta siitä, että he tietävät jännitteestä jo paljon, sekä joidenkin oppilaiden haluttomuutta kytkentöjen kokeilemiseen. Ennakkokäsityksistä mainitaan tietoa siitä, että samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan ja erimerkkiset vetävät toisiaan

puoleensa, sekä virhekäsitys, jonka mukaan sähkövirta ja jännite ovat sama asia. Opettajan mukaan oppilaat tietävät jo jännitelähteitä ja osaavat joitakin peruskytkentöjä, mutta teoreettinen ymmärrys ei ole kovin vahva, eikä kytkennöistä ole paljoa kokemuksia. Aiheet opettaja B opettaa siinä järjestyksessä, että aivan alussa opetetaan sähköisestä vuorovaikutuksesta, ja jännite opetetaan ennen sähkövirtaa. Oppilaiden ymmärrys varmistetaan pääasiassa keskusteluilla, kytkentöjen kohdalla lisäksi tutkimalla oppilaiden tekemiä kytkentöjä.

Oppitunnit

Opettajan B oppitunteja videoitiin kaikkiaan kahdeksan tuntia, joiden pituus vaihteli 33 ja 38 minuutin välillä. Näiden oppituntien aikana ehdittiin käydä läpi kaikki sisällönesitystaulukossa mainitut aiheet. Tunnit olivat toisistaan erillisiä, mutta analyysin tiivistämiseksi ja selkeyttämiseksi ne käsitellään seuraavassa kahden oppitunnin paketteina.

Ensimmäisellä ja toisella tunnilla (kuva 8) pääaiheina olivat virtapiirin rakentaminen ja kytkentäkaavio. Ensimmäinen tunti alkoi suljetun virtapiirin käsitteen opettamisella ja kytkentäkaavion merkkien opettelulla kirjasta. Tämän jälkeen tehtiin ryhmissä oppilastyö,

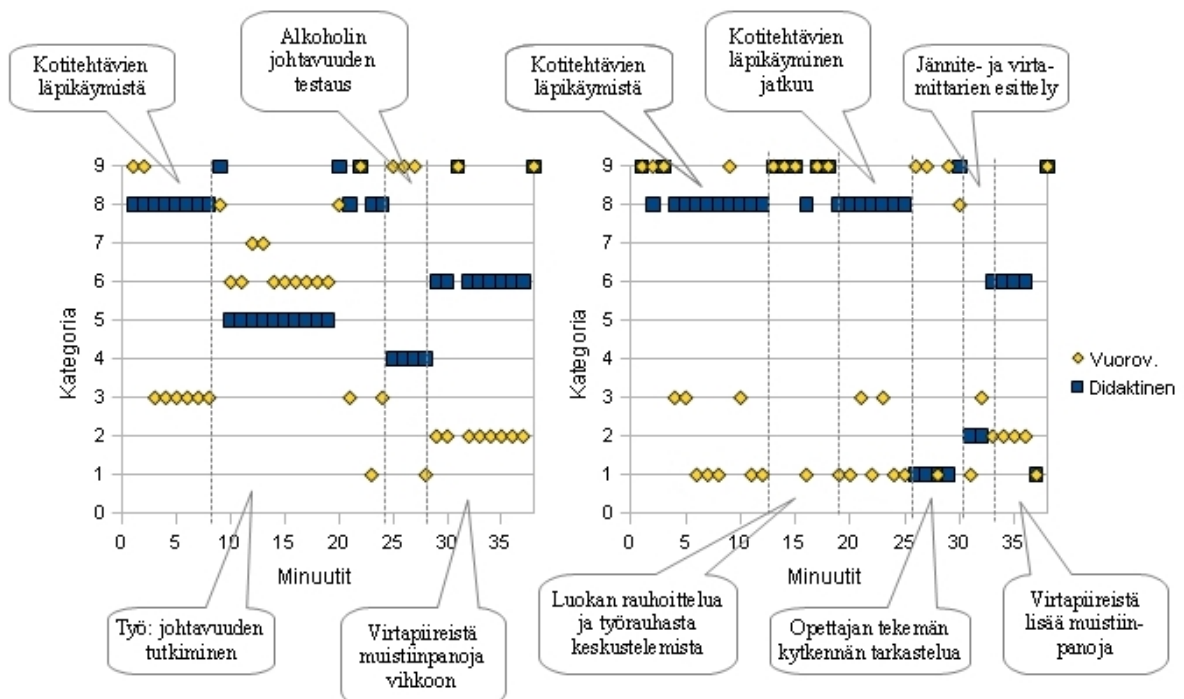


Kuva 8: Opettajan B ensimmäisen ja toisen oppitunnin kulku

jossa rakennettiin yksinkertainen virtapiiri ja saatiin lamppu palamaan, minkä jälkeen käsiteltiin opettajajohtoisesti pariston toimintaperiaate, jännite sähköisen tilan erona sekä sähkövirran olemus varauksenkuljettajien, yleensä elektronien, liikkeenä. Myös suljettuun virtapiiriin palattiin havainnollistamalla sen tarpeellisuutta oikean virtapiirin avulla. Tunnin lopulla käytiin opettajan johdolla läpi kytkentäkaavion piirtämistä oikeasta virtapiiristä sekä tehtiin aiheeseen liittyviä tehtäviä kirjasta.

Toisella oppitunnilla käytiin alussa läpi kotitehtäviä, joiden aiheena oli jännite sähkövirran synnä, johteet ja eristeet sekä piirrosmerkit. Tehtävien tarkastuksen jälkeen syvennettiin edellisen tunnin aiheiden osaamista oppilastyöllä, jossa rakennettiin virtapiirejä kirjan ohjeiden mukaan ja piirrettiin niistä kytkentäkaaviot. Tähän kului koko lopputunti.

Kolmannen ja neljännen oppitunnin kulku on esitetty kuvassa 9. Näillä tunneilla ei juuri menty uusiin asioihin, vaan syvennettiin edellisillä tunneilla esiteltyjä asioita. Kolmannella tunnilla käytiin aluksi läpi kotitehtäviä lämmön ja liikkeen syntymisestä sähkövirran avulla sekä eristeistä, minkä jälkeen tutkittiin ryhmissä eri aineiden sähkönjohtavuutta. Työn tulosten läpikäynnin aikana oppilas kysyi, johtaako alkoholi sähköä, mikä sitten testattiinkin opettajan demonstraatiolla. Tunnin lopuksi kirjoitettiin vihkoihin

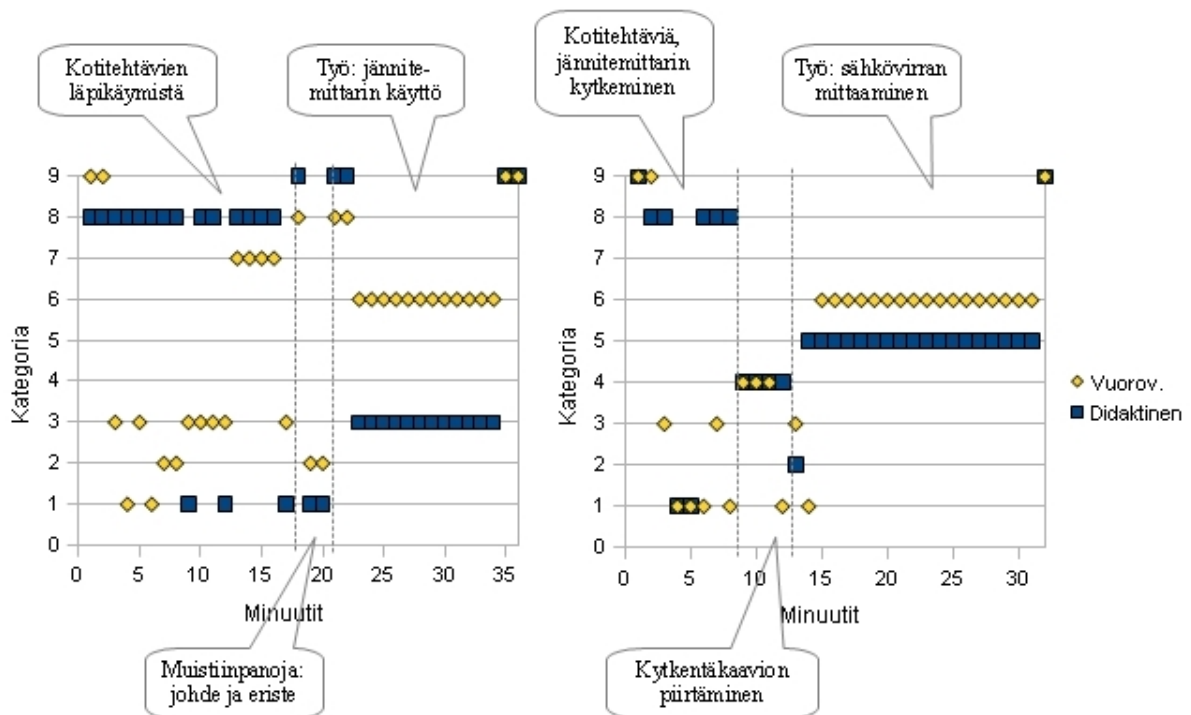


Kuva 9: Opettajan B kolmannen ja neljännen oppitunnin kulku

yhteenvetoa tähän asti käsitellystä: jännitteen ja sähkövirran määrittelyt sekä sähkövirta energian siirtämisen välineenä.

Neljännellä tunnilla kotitehtävissä keskityttiin aluksi lähinnä kytkentäkaavioiden piirtämiseen. Oppilaat olivat kuitenkin rauhattomia, ja noin kolmentoista minuutin kohdalla oppilaan saapuminen myöhässä aiheutti lisää rauhattomuutta, minkä vuoksi opettaja joutui keskeyttämään sisältöjen läpikäymisen ja puuttumaan oppilaiden käyttäytymiseen. Keskustelun jälkeen opetus pääsi jatkumaan ja käytiin läpi loput kotitehtävät mainiten samalla sähkövirran suunnan sopimuksesta. Tämän jälkeen opettaja teki vielä kotitehtäviin liittyen havainnollistavan kytkennän, jota tarkasteltiin yhdessä. Sitten opettaja esitteli jännite- ja virtamittarit, joita tulnaisiin käyttämään myöhemmin, ja lopuksi jatkettiin edellisen tunnin lopussa tehtyjä yhteenvetomuistiinpanoja jännitteestä, sähkövirrasta ja suljetusta virtapiiristä.

Viides ja kuudes oppitunti (kuva 10) koostuivat lähinnä kotitehtävien tarkistamisesta sekä jännitteen ja sähkövirran mittaamista käsittelevistä töistä. Viidennen tunnin alkupuolella tutkittiin vielä kytkentäkaavioita ja pohdittiin, missä esimerkkikytkennöistä lamppu hehkuu ja missä ei. Opettaja näytti lopuksi oikeat vastaukset taululla, ja oppilaat saivat tarkastaa niiden avulla omat vastauksensa. Samalla käsiteltiin lyhyesti erilaisten jännitelähteiden eroja ja

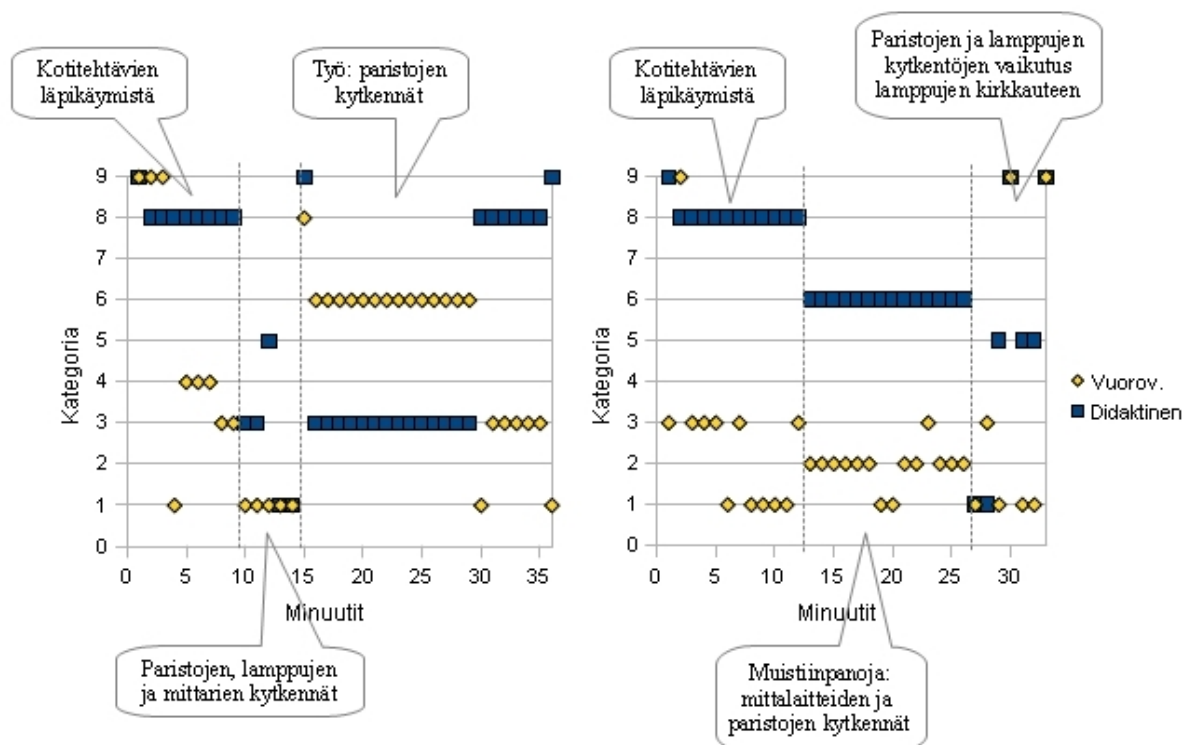


Kuva 10: Opettajan B viidennen ja kuudennen oppitunnin kulku

niiden piirrosmerkkejä sekä sähkömoottorin piirrosmerkkiä. Tehtävissä oli aiheena myös energian muuttuminen muodosta toiseen, joten niiden yhteydessä muisteltiin energian säilymlakia ja erilaisia energian muotoja. Sitten kirjoitettiin vielä hiukan muistiinpanoja johteista ja eristeistä, ennen kuin siirryttiin lopputunnin ajaksi tekemään ryhmissä oppilastyötä jännitemittarin käyttämisestä opettajan kierrellessä luokassa auttamassa tarvittaessa.

Kuudennen oppitunnin alussa oppilas tuli näyttämään oman ratkaisunsa kotitehtävänä olleeseen kytkentäkaavion piirtämiseen, ja opettajan huomautettua ratkaisussa olevan virhe pohdittiin yhdessä luokan kanssa, mikä kaaviossa oli väärin. Edellisen tunnin työn perusteella huomattiin, että jännitemittari pitää kytkeä mitattavan komponentin napoihin kahdella johtimella. Opettaja näytti vielä, miten kytkentä tehdään käytännössä ja piirsi oikean kytkentäkaavion. Tämän jälkeen puhuttiin virtamittarin kytkemisestä piiriin, minkä yhteydessä mainittiin rinnan- ja sarjaankytkennät termeinä ensimmäistä kertaa. Tästä siirryttiinkin luontevasti oppilastyöhön, jossa mitattiin sähkövirran suuruuksia virtapiireissä.

Seitsemäs ja kahdeksas oppitunti (kuva 11) olivat viimeiset, jotka kuvattiin. Näillä tunneilla keskityttiin eri kytkentöihin, erityisesti paristojen rinnan- ja sarjaankytkentöihin. Seitsemännen tunnin alussa tarkastettiin kotitehtävä, jossa piti kytkeä kaksi paristoa ja kaksi



Kuva 11: Opettajan B seitsemännen ja kahdeksannen oppitunnin kulku

lamppua sarjaan sekä mitata sähkövirtaa ja jännitettä. Tehtävän oikea ratkaisu näytettiin taululla, minkä jälkeen tehtävästä keskusteltiin. Tehtävän pohjalta siirryttiin sitten käsittelemään tarkemmin paristojen, lamppujen ja virtamittarin sarjaankytkemistä – mitä sarjaankytkentä tarkoittaa ja miten se käytännössä tehdään – sekä jännitemittarin kytkemistä ja kytkentöjen piirtämistä kytkentäkaavioon. Tämän jälkeen tehtiin oppilastyö erilaisista paristojen kytkennöistä, ja tunnin lopuksi tutkittiin työn tuloksia sekä työhön liittyviä tehtäviä ja huomattiin, että paristojen sarjaankytkentä kasvattaa jännitettä.

Kahdeksas oppitunti alkoi jälleen kotitehtävien tarkistuksella. Tehtävässä käskettiin yhdistää oikea kytkentäkaavio sitä vastaavaan jännitteeseen annetuista vaihtoehdoista, ja tätä läpikäydessä puhuttiin samalla paristojen erilaisten kytkentöjen vaikutuksesta kokonaisjännitteeseen. Tehtävissä piirrettiin myös kytkentäkaavio virtapiirille, jossa oli rinnan- ja sarjaankytkentöjä. Tehtävien jälkeen tehtiin vihkoon yhteenvetoa mittalaitteiden ja paristojen kytkennöistä siten, että opettaja rakensi samalla esimerkkikytkentöjä käytännössä. Tunnin loppuosa käytettiin siihen, että havainnoitiin opettajajohtoisesti ensin lampun kirkkauden muuttumista, kun piirissä olevien kahden pariston kytkentää muutettiin ja sitten kahden virtapiirissä olevan lampun kirkkauden muuttumista, kun ne kytkettiin sarjaan tai rinnan. Todettiin, että sarjaankytkennässä lamput himmenevät, sillä ne vastustavat virran kulkua tehokkaammin kuin vain yksi lamppu ja näin ollen sähkövirta pienenee. Resistanssin käsitettä ei kuitenkaan tässä otettu esille. Todettiin myös, että jos kaksi lamppua kytketään rinnan, sähkövirta yhden lampun läpi pysyy samana ja näin ollen niiden kirkkaus ei pienene, mutta paristo kuluu nopeammin, sillä kokonaisvirta on suurempi.

Sisällönesitystaulukon ja videon vertailua

Opettajan B opetuksessa sisällönesitystaulukon aiheet näkyivät seuraavasti:

- *Sähköinen vuorovaikutus ja se, miten sähkövaraukset vaikuttavat toisiinsa*, oli mahdollisesti käsitelty jo aiemmin, sillä siihen ei syvennyt millään kuvatuista oppitunneista. Sisällönesitystaulukossa tosin mainitaankin aiheen olevan jo osaksi tuttu. Oppilaille positiivisten ja negatiivisten varausten käsittely oli kuitenkin selvästi ymmärrettävää, joten luultavimmin aihe oli opetettu ennen kuvausten aloittamista.
- *Sähkövirrasta* oppilaiden tulisi opettajan B mukaan oppia, *mitä sähkövirta on ja miten sitä saadaan aikaiseksi*. Sähkövirran olemusta käsiteltiinkin ensimmäisellä tunnilla

puhumalla ja keskustelemalla, ja siihen palattiin myöhemmin kolmannella ja neljännellä oppitunnilla muistiinpanojen kirjoittamisen yhteydessä sekä sähkövirran suunnasta puhuttaessa. Jännitteen ja suljetun virtapiirin tarpeellisuus sähkövirran syntymiseksi tuli esille useassa yhteydessä niin opettajan puheen ja kotitehtävien kuin tunnilla tehtävien töiden ja demonstraatioiden kohdalla. Erityisesti suljettua virtapiiriä sähkövirran kulkemisen edellytyksenä havainnollistettiin useasti. Ennakkokäsityksissä mainittuun jännitteen ja sähkövirran käsitteiden sekoittumiseen puututtiin opettamalla selkeästi, mitä jännite ja sähkövirta ovat, ja korostamalla, että jännite aiheuttaa sähkövirran. Taulukon mukaan sähkövirrasta opetetaan vasta jännitteen jälkeen, mutta käytännössä näitä kahta aihetta opetettiin pitkälti rinnakkain.

- *Sähköisen tilan ero eli jännite* opetettiin käsitteenä heti ensimmäisellä tunnilla. Käytännössä jännitteeseen syvennyttiin pariston kautta, kertoen että paristossa kemialliset reaktiot synnyttävät sähköisen tilan eron, ja että jännite aiheuttaa sähkövirran. Tämä vastanneekin taulukossa olevaan kysymykseen ”*Mitä jännitteestä hyödytään?*”. Myöhemmin sama asia kerrattiin pariin otteeseen opettajan puheessa ja muistiinpanoja kirjoitettaessa. Erilaisista jännitelähteistäkin puhuttiin viidennellä oppitunnilla. Sisällönesitystaulukossa opettaja sanoo käyttävänsä aiheen opetuksessa hyödyksi kemiassa opiskeltua sekä oppilaiden ennakkokäsityksiä, ja tunnilla pariston toiminnasta puhuttaessa opettaja viittasikin siihen, että aihetta on käsitelty jo kemiantunnilla. Ennakkokäsityksiä ei ole kuitenkaan eritelty, eikä taulukosta ja videoista käy selville, miten käsityksiä käytännössä hyödynnetään.
- *Kytkenät* olivat osa opetusta käytännössä kaikilla kuvatuilla oppitunneilla. Taulukossa mainitaan erikseen *mittalaitteiden kytkenät* ja *lamppujen ja paristojen kytkenät* sekä kerrotaan käytettävän runsaasti aikaa, jotta kaikki oppilaat ehtisivät tehdä kytkentöjä. Kuudella tunnilla kahdeksasta oppilaat rakensivatkin virtapiirejä käytännössä opettajan kierrellessä luokassa neuvoen oppilaita tarvittaessa, ja loppuilla kahdella tunnillakin kytkentöjen tekemisestä puhuttiin. Lamppujen tai muiden vastusten rinnan- ja sarjaankytkentöjä ei kuvattujen tuntien aikana vielä rakennettu, mutta niistä puhuttiin kahdeksannen tunnin lopussa eikä seuraavaan aiheeseen vielä siirrytty, joten on mahdollista, että seuraavalla tunnilla niitäkin tehtiin.

Ennakkokäsitykset

Ainoa opettajan B mainitsema ja tunnilla selvästi huomioon ottama virhekäsitys oli sähkövirran ja jännitteen käsitteiden sekoittuminen. Kirjallisuudessa mainittujen ennakkokäsitysten nimenomaista huomioonottamista ei videoilla juuri ollut havaittavissa, tosin niistä vielä suurempi osa kuin opettajan A tapauksessa liittyi asioihin, joita ei käsitelty kuvatuilla tunneilla. Osbornen virhekäsitykset sähkövirran luonteesta tulivat kumotuiksi huolellisella sähkövirran kierron kuvauksella suljetussa virtapiirissä, lukuun ottamatta ehkä kuluvan virran mallia.

Borgesin ja Gilbertin seitsemästä osa-alueesta kaikkiin muihin paitsi sähkövirran säilyvyyteen kiinnitettiin tunnilla huomiota. Resistanssin vaikutus sähkövirtaan jäi tosin kuvatuilla tunneilla hyvin pintapuolisesti käsitellyksi, mutta aiheen käsittelyä todennäköisesti jatkettiin seuraavilla oppitunneilla. Käsitteistä jännite ja sähkövirta erotettiin toisistaan hyvin, mutta energiaan ei paneuduttu kovin tarkasti. Viidennellä oppitunnilla opettaja puhui kemiallisen energian muuttumisesta sähkövirran kautta lämmöksi ja valoksi, mutta käytti myös sähkövirran ja sähköenergian käsitteitä hiukan sekavasti, jolloin oppilaille nämä käsitteet saattoivat jossain määrin sekoittua.

Sivulla 20 mainittuihin virhekäsityksiin ei opettajan B tunneilla juurikaan puututtu, eikä niistä useimpien kohdalla ollut tunneilla havaittavissa todisteita sen enempää virhekäsityksen olemassaolosta kuin tarkoituksellisesta kumoamisestakaan. Moni mainituista virhekäsityksistä tosin liittyi tunneilla käsiteltyjen asioiden ulkopuolelle jääviin aiheisiin. Jossain määrin käsitellyiksi voidaan kuitenkin katsoa sarjaan- ja rinnankytkentöjen vaikutukset paristojen tapauksessa, mitä tutkittiin seitsemännellä oppitunnilla niin huolellisesti että virhekäsityksiä tuskin pääsi syntymään, sekä mittarit, joita käsiteltiin virhekäsityksen mukaisesti siten kuin ne eivät vaikuttaisi virtapiiriin lainkaan.

5.2 Opettajien A ja B keskinäinen vertailu

5.2.1 Sisällönesitystaulukot

Opettajien A ja B sisällönesitystaulukoiden vertailua vaikeuttaa se, että opettajan A käsittelemä aihepiiri oli kuvatuilla tunneilla laajempi kuin opettajalla B. Taulukoita voidaan kuitenkin vertailla keskenään siltä osin kuin niiden aiheet ovat samoja, mikä tarkoittaa

opettajan A taulukosta tässä vaiheessa vain kolmen ensimmäisen ison aiheen huomioonottamista. Näin nähdäänkin, että molemmilla opettajilla on mainittu isoina aiheina jännite ja sähkövirta, minkä lisäksi opettaja A mainitsee virtapiirin ja opettaja B sähköisen vuorovaikutuksen sekä kytkennät. Opettaja A on avannut isojen aiheiden sisältöjä huomattavasti tarkemmin kuin opettaja B, ja taulukoiden vertailu tapahtuneekin helpoimmin siten, että tutkitaan, millä tavoin opettajan B esittämät opetettavat aiheet löytyvät opettajan A taulukosta, ja mitä asioita ehkä mainitaan vain toisessa taulukossa.

Molemmat opettajat mainitsevat sähkövirran kohdalla ensimmäisenä kysymyksen ”Mitä sähkövirta on?”. Tähän opettaja B lisää kysymyksen ”Miten sitä saadaan aikaiseksi?”, ja opettajan A taulukosta jännitteen alta löytyy myös tähän viittaava kohta ”napojen varusero eli jännite saa aikaan sähkövirran”. Videolla opettaja B korostaa useaan kertaan suljetun virtapiirin tarpeellisuutta sähkövirran kulkemiselle, joten tähän taulukon kohtaan voidaan katsoa liittyvän myös suljettu ja avoin virtapiiri, jotka opettaja A mainitsee virtapiiri-aiheen alla. Edellä mainittu jännitteen määrittely napojen varuseroksi vastaa puolestaan hyvin opettajan B jännitteen kohdalla esittämää ”Mitä jännite on?”-kysymystä. Jännitteestä opettaja B esittää myös kysymyksen ”Mitä jännitteestä hyödytään?”, jota ei kuitenkaan avata sen tarkemmin. Kysymyksen epämääräisyyden vuoksi onkin vaikea yhdistää sitä mihinkään opettajan A taulukon aiheeseen, lukuunottamatta ehkä edellä mainittua lausetta ”jännite saa aikaan sähkövirran”. Kytkennöistä opettaja B mainitsee erikseen mittalaitteiden kytkennät ja lamppujen ja paristojen kytkennät. Opettajan A taulukossa jännite- ja virtamittarin kytkeminen ja lukeminen on mainittu erikseen kummankin suureen alla, ja jännitteen alla lisäksi myös rinnan- ja sarjaankytkentä. Kytkentäkaavioita opettaja B ei taulukossaan erikseen mainitse, mutta niiden voidaan katsoa liittyvän olennaisesti kytkentöihin yleensä ja niitä myös harjoiteltiin opettajan B tunneilla huomattavan paljon. Kytkentäkaaviot löytyvät opettajan A taulukosta virtapiiri-aiheen alta.

Kaikkiaan opettajan A taulukosta löytyvät kaikki muut opettajan B mainitsevat asiat paitsi aihe ”sähköinen vuorovaikutus”, jota tosin opettajan B tunneillakaan ei nähty käsiteltävän. Opettaja A käsitteli erimerkkisten varausten suhtautumista toisiinsa ensimmäisen kuvatus oppitunnin alussa kertausnomaisesti, joten luultavasti aihetta oli kyllä käsitelty aiemmilla tunneilla. Opettajan A taulukossa on puolestaan kaikkien kolmen ison aiheen alla opetettavia asioita, joita opettaja B ei omassa taulukossaan mainitse. Näistä kuitenkin suurinta

osaa, esimerkiksi virtalähteitä, suureiden lyhenteitä ja yksiköitä sekä sähkövirran suuntaa, opettaja B kyllä käsittelee videoiduilla tunneillaan. Ajankäytöllisesti merkittävimmät aiheet, jotka opettaja A mainitsee taulukossaan mutta opettaja B ei käsittele lainkaan, ovat kodin sähköturvallisuus ja sulake. Tosin nämäkin saatettiin käsitellä niillä opettajan B tunneilla, joita ei kuvattu.

Tiettyihin aiheisiin liittyviä ennakkokäsityksiä kumpikaan opettaja ei juuri mainitse, mutta yhteistä molemmille opettajille on se, että kummankin mielestä oppilaat tietävät tai uskovat tietävänsä jännitteestä jo valmiiksi paljon. Opettajan A mukaan myös sähkövirta ja virtapiiri ovat asioina tuttuja, mutta tarkat määritelmät puuttuvat. Samoin molemmat mainitsevat osan oppilaista olevan innottomia kokeilemaan kytkentöjä (opettaja B) tai laitteiden pelon (opettaja A). Vastaukset sisällönesitystaulukoiden viimeisiin kysymyksiin ovat varsin suppeita kummallakin opettajalla.

5.2.2 Oppitunnit

Kun vertaillaan opettajien A ja B tuntien kulkukaavioita, voidaan eri aiheiden käsittelytavoista huomata niin yhteneväisyyksiä kuin eroavaisuuksiakin. Opettaja A käsittelee ensimmäisellä kaksoistunnillaan jännitteen ja sähkövirran mittaamisen, paristojen rinnan- ja sarjaankytkennän sekä virtapiirien rakentamisen kytkentäkaavion avulla ensisijaisesti oppilastöiden avulla, samoin kuin opettaja B tekee ensimmäisellä ja toisella (virtapiirien rakentaminen), viidennellä ja kuudennella (suureiden mittaamiset) sekä seitsemännellä tunnilla (paristojen kytkennät). Erona näiden aiheiden käsittelyssä on se, että opettaja B käsitteli mitattavia suureita, mittareita ja kytkentöjä hiukan teoreettisesti ennen varsinaisen työn tekemistä, kun taas opettaja A teetti ensin työt ja sen jälkeen käsitteli teorian.

Nämä ensimmäisen kaksoistunnin työt olivat myös ainoat oppilastyöt, joita opettaja A kuvattujen tuntien aikana teetti, opettaja B puolestaan teetti kolmannella tunnilla työn myös eri aineiden johtavuuden tutkimisesta. Opettajan A tunneilla tehtiin tosin myös kaksi pitkäkööä käytännön demonstraatiota – aiheina sulakkeen toiminta ja hehkulanka sekä säätövastus – joissa opettaja tai oppilaspari teki käytännössä yhden oppikirjassa olleen oppilastyön siten, että muut luokan oppilaat tarkkailivat työtä. Kaiken kaikkiaan oppilaiden itse tekemiä töitä oli opettajan B tunneilla suhteellisesti suurempi määrä kuin opettajalla A, kuten voidaan havaita taulukosta 2, jossa on esitetty eri kategorioiden suhteelliset osuudet

kokonaisajasta kummankin opettajan tunneilla. Opettajan A tunneilla 5. ja 6. vuorovaikutuskategoriolla koodattuja eli pari- tai ryhmätöihin käytettyjä minutteja oli 51/350 eli 14,6 % kokonaisajasta, opettajalla B 75/282 eli 26,6 % kokonaisajasta. Kuitenkin, jos mukaan lasketaan aiemmin mainitut demonstraatiot (koodattu kategoriaan 9), opettajan A tunneilla käytännön töihin ja havainnollistamiseen käytetty aika nousee aavistuksen opettajan B tunteja korkeammaksi, kaikkiaan 28,6 prosenttiin (100/350 minuuttia).

Taulukko 2: Opettajien A ja B oppituntien videoilla eri vuorovaikutuskategorioiden käytetyt ajat minutteina sekä aikojen osuudet kokonaisajasta

Kategoria	Opettaja A (yht. 350 min)		Opettaja B (yht. 282 min)	
	Minuutit	Osuus kokonaisajasta (%)	Minuutit	Osuus kokonaisajasta (%)
0 – ei mitään	8	2	1	0
1 – luennointi	62	18	59	21
2 – muistiinpanot	7	2	27	10
3 – luokkakeskustelu	88	25	50	18
4 – yksilötyöskentely	29	8	15	5
5 – parityöskentely	51	15	0	0
6 – ryhmätyöskentely	0	0	75	27
7 – useita vuorovaikutustapoja	11	3	6	2
8 – siirtyminen	19	5	10	4
9 – muuta	75	21	39	14

Kolme ensimmäistä kategoriaa – luennointi, muistiinpanojen kirjoittaminen ja opetuskeskustelu – kattavat kummallakin opettajalla hiukan alle puolet koko ajankäytöstä. Opettajan luennoinnin (kategoria 1) osuus kokonaisajankäytöstä oli opettajalla B aavistuksen suurempi kuin opettajalla A (17,7 % ja 20,9 %), ja vastaavasti opetuskeskustelun (kategoria 3) osuus oli selvästi suurempi opettajalla A (25,1 % ja 17,7 %). Näiden kategorioiden erottaminen toisistaan oli tosin melko haasteellista, sillä usein vuorovaikutus oli käytännössä opettajan luennointia, jossa välillä tehtiin kysymyksiä oppilaille ja keskusteltiin niistä hetki. Kuten oppituntien etenemiskaavioista voidaan nähdä, usein tällaista vuorovaikutusta koodattiinkin molempiin kategorioiden vuorotellen, pyrkien siihen että luennoinnin ja keskustelun suhteelliset osuudet tulevat lopulta mahdollisimman todenmukaisiksi.

Kategoriassa 2 näkyy opettajien välillä selkeä ero: opettaja B käytti muistiinpanojen kirjoittamiseen lähes viisinkertaisen ajan opettajaan A verrattuna (2,0 % ja 9,6 %). Käytännössä tämä merkitsi tunneilla sitä, että opettaja B kirjoitutti vihkoon yhteenvetoja käsitellyistä kappaleista ja niiden aiheista, kun taas opettaja A jätti kirjalliset yhteenvedot tekemättä.

Kaiken kaikkiaan opettaja A käytti tuntien aikana opetusmenetelminä useita kertoja seuraavia (käytetyn minuuttimäärän mukaisessa järjestyksessä): opetuskeskustelu luokan kanssa, opettajajohtoinen luennointi, oppilastyöt, oppilaiden tai opettajan tekemät demonstraatiot, itsenäinen työskentely kirjallisen materiaalin parissa sekä aiheeseen liittyvät lyhyet opetusvideot. Opettaja B taas käytti pääasiallisesti oppilastoita, opettajajohtoista luennointia, opetuskeskustelua ja muistiinpanojen kirjoittamista. Pidempiä demonstraatioita opettaja B ei tehnyt, vaikka rakensikin joitakin yksinkertaisia virtapiirejä malliksi kytkentäkaavioiden ja teorian rinnalle kotitehtävien tarkistuksen sekä kahdeksannen tunnin kertausmuistiinpanojen kirjoittamisen yhteydessä. Opettajan A opetusmenetelmissä oli kokonaisuudessaan havaittavissa selvästi enemmän monipuolisuutta kuin opettajalla B.

.Asioiden opettamisjärjestys poikkesi opettajilla toisistaan jonkin verran. Opettaja A aloitti jännitteen ja sähkövirran käsitteiden opettelusta ja suureiden mittaamisesta myös rinnan- ja sarjaankytkennöissä, siirtyen sen jälkeen virtapiireihin ja kytkentäkaavioihin ja niistä edelleen sulakkeen toimintaan, sähköturvallisuuteen, resistanssiin ja johtavuuteen. Opettaja B puolestaan aloitti ensimmäiseksi virtapiirien rakentamisesta ja kytkentäkaavioista ja käsitteli sitten lyhyesti jännitteen ja sähkövirran käsitteet, mutta siirtyi niiden mittaamiseen vasta pidemmän virtapiirien rakentamisen sekä johtavuuden opettelun jälkeen.

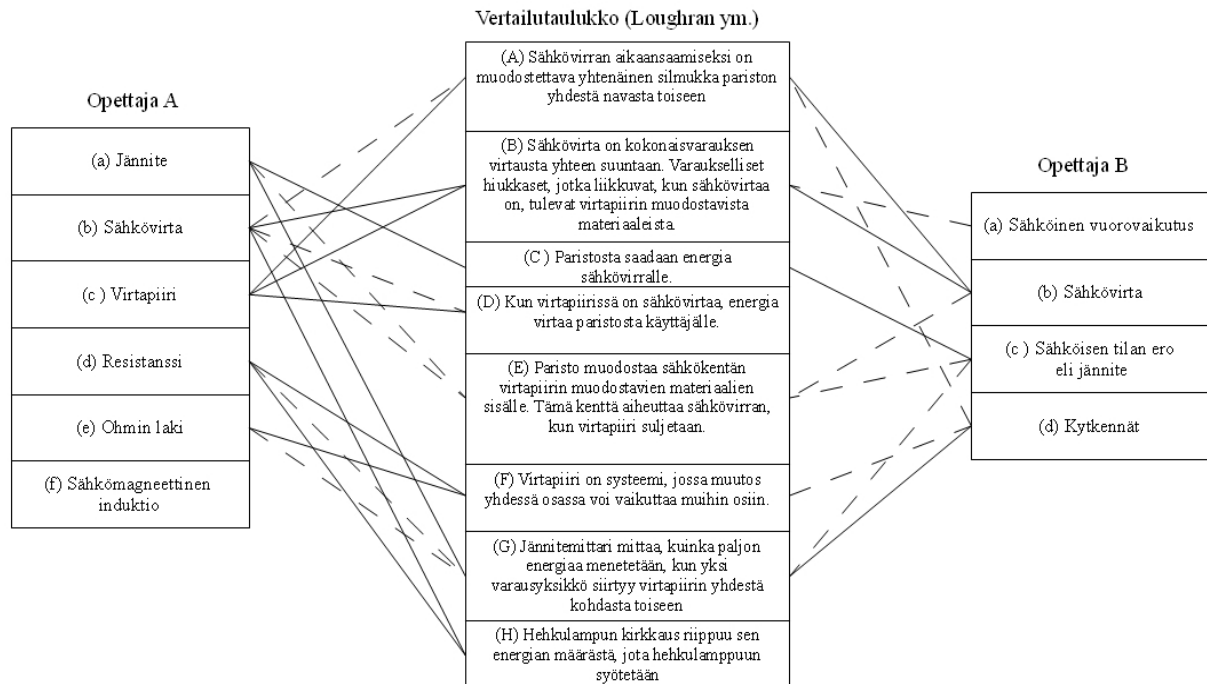
Oppituntien etenemisen suhteen silmiinpistävä piirre on se, että opetussisällöissä eteneminen noudattelee kummallakin opettajalla vahvasti oppikirjan esitystapaa, mikä toisaalta saattoi aiempien tutkimusten perusteella olla odotettavissakin. Opettajalla A oli käytössään Avain -kirjasarja, ja asioiden opettamisjärjestys onkin tunneilla täsmälleen oppikirjan mukainen. Myös oppitunneilla tehdyt työt ja demonstraatiot löytyivät oppikirjasta juuri siinä järjestyksessä kuin ne tunneilla tehtiin, lukuun ottamatta virtapiirien rakentamista kytkentäkaavioiden pohjalta, jossa opettaja piirsi työssä käytetyt kytkentäkaaviot taululle. Samanlainen oppikirjan noudattelu oli nähtävillä myös opettajalla B, joka ei tehnyt yhtään oppilastyötä, jota ei olisi ollut käytössä olleessa Aine ja Energia -kirjassa.

5.3 Kansainvälinen vertailu

5.3.1 Vertailu kirjallisuuteen

Sisällönesitystaulukoiden osalta vertailu Loughranin ym. kokoamaan taulukkoon osoittaa ensimmäiseksi, että valitut perusaiheet ovat tämän tutkimuksen taulukoissa huomattavasti epämääräisemmät kuin Loughranin ym. taulukossa, ja itse asiassa vasta sisällönesitystaulukon kysymys 1 (*Mitä tähän perusaiheeseen liittyen oppilaiden halutaan oppivan?*) avaa kunkin aiheen kohdalla tarkemmin sitä, mikä on opettajan mielestä varsinainen tärkeä opetettava sisältö vaikkapa jännitteestä. Loughran ym. kuvaavat muutenkin huomattavasti yksityiskohtaisemmin eri aiheiden opetettavia sisältöjä ja opetusmenetelmiä, joista jälkimmäisiä tosin ei tutkimuksessa käytetyssä taulukossa suoraan edes kysyty.

Kummankin tutkimuksen taulukon sisällöllinen vertailu Loughranin ym. taulukkoon on tehty kuvassa 12. Kuvassa näkyvät kootusti kussakin taulukossa esitetyt perusaiheet ja niissä havaitut sisällölliset yhteydet toisiinsa lähinnä taulukoiden kysymysten 1 perusteella.



Kuva 12: Opettajien A ja B sisällönesitystaulukoiden sisällön vertailu Loughranin ym. keräämään sisällönesitystaulukkoon. Jokaisessa laatikossa on yksi taulukossa esitetty perusaihe. Yhtenäinen viiva tarkoittaa selvää sisällöllistä yhteyttä taulukoiden perusaiheiden välillä, katkoviiva taas sitä, että perusaiheet käsittelevät samoja aiheita, mutta niiden varsinainen pääajatus on merkittävästi erilainen.

Opettajan B taulukko on sikäli vaikea vertailtava, että siinä on mainittu selkeästi vain osa aiheista, jotka virtapiirien kokonaisuuteen kuuluvat, ja lisäksi aiheiden sisältö oli kerrottu taulukossa hyvin suppeasti. Tämän vuoksi kuvan 12 oikean puolen viivoistakin suurin osa on katkoviivoja selvän sisällöllisen yhteyden puuttuessa. On kuitenkin huomattavissa, että aiheesta ”Sähkövirta” on linkki useaan aiheeseen vertailutaulukossa, vaikkakaan aiheen tarkempi kuvaus ”Mitä sähkövirta on ja miten sitä saadaan aikaiseksi” ei kerro, onko lähestymistapa vertailutaulukon aiheita vastaava. Videoiduista tunneista kävi kuitenkin ilmi, että opettaja B korosti suljetun virtapiirin tärkeyttä, minkä vuoksi voitiin vetää selvä yhteys vertailutaulukon aiheeseen (A). Opettajan A osalta taas huomataan, että yhteyksiä on löydettävissä kaikkiin vertailutaulukon perusaiheisiin, ja näin ollen asiakokonaisuuksien voidaan katsoa olevan ainakin jollain tasolla yhtenevät. Asioiden käsittelytavoiltaan taulukot kuitenkin poikkeavat monelta osin, mistä kertoo sekin, että kolme ensimmäistä opettajan A aihetta linkittyy vähintään kolmeen, sähkövirran tapauksessa peräti viiteen kahdeksasta vertailutaulukon aiheesta sen sijaan että aiheet kytkeytyisivät toisiinsa edes suunnilleen yksi yhteen -periaatteella.

Vertailtaessa Loughranin ym. taulukon aiheita molempiin tutkimuksen taulukoihin havaitaan se merkittävä eroavaisuus, että Loughranin ym. taulukossa ei mainita jännitettä itse perusaiheissa käsitteenä lainkaan, kun taas tutkimuksen taulukoissa se oli yksi pääaiheista. Tähän syy tosin vaikuttaa olevan kielellinen eikä niinkään sisällöllinen, kuten Loughranin ym. taulukossa asia perustellaankin (aihe G, kysymys 4, ks. liite 1): englannin kielen sana *voltage* on monimerkityksellinen ja voi aiheuttaa sekaannuksia, jolloin on parempi käyttää muita keinoja ilmaista, mistä asiasta varsinaisesti puhutaan. Suomen kielen sanalla jännite ei ole vastaavaa rasiitetta. Lisäksi jännitteen käsite tosin mainitaan jo opetussuunnitelman perusteissa, joten sen jättämisen pois opetuksesta voitaisiin katsoa olevan vastoin opettajaa velvoittavia asetuksia. Energiaa taas ei mainita tutkimuksen taulukoissa kertaakaan, kun taas vertailutaulukossa se esiintyy oleellisena käsitteenä peräti neljässä kahdeksasta perusaiheesta, ja samoin sähkökentän käsite löytyy vertailutaulukosta mutta ei kummastakaan tutkimuksen taulukosta sen enempää kuin videoiduilta tunneiltakaan.

Kysyttäessä osaamisen varmistamisesta molemmat tutkimuksen opettajat mainitsevat ensimmäisenä keskustelun oppilaiden kanssa, minkä lisäksi opettaja A mainitsee kotitehtävät ja kokeen, opettaja B taas oppilaiden tekemien kytkentöjen tarkastelun. Vertailutaulukossa

puolestaan korostetaan Predict-Observe-Explain -menetelmää, jossa käytännön työtä edeltää oppilaiden tekemä arvio siitä, mitä työssä tullaan todennäköisesti havaitsemaan, ja työn jälkeen selitetään havainnot. Kuten aiheisisältöjen kuvaus, myös ennakkokäsityksiin ja muuhunkin oppilaan ajatteluun liittyvä tieto oli tutkittujen opettajien taulukoissa melko suppeaa, mutta oppilaiden kokemattomuus kytkennöissä erityisesti tyttöjen osalta on huomioitu kaikissa taulukoissa. Kaikkiaan opettajien A ja B tapa käsitellä asioita ja valita käsiteltäviä sisältöjä oli varsin yhtenäinen verrattuna Loughranin ym. esittämään tapaan, mikä selittyy varmasti pitkälti eri maiden erilaisilla traditioilla fysiikan ja virtapiirien opettamisessa.

Analogioiden käyttöä, jota tutkimukset pitävät tehokkaana oppimista edesauttavana keinona, oli nähtävillä opettajan A opetuksessa ensimmäisellä tunnilla jännitteen ja sähkövirran käsitteiden esittelyn yhteydessä. Tällöin opettaja käytti kahtakin eri analogiaa käsitteiden selventämiseen, kun taas opettaja B ei käyttänyt analogioita kertaakaan. McDermottin ja Schafferin esittämästä kvalitatiivisesta kvantitatiiviseen vähitellen siirtyvästä opetustavasta taas oli enemmän merkkejä opettajan B oppituntien kulussa. Opettaja B aloitti virtapiirien opetteluun niiden rakentamisesta ja käsitteiden kvalitatiivisesta määrittelystä, ja kvantitatiivinen suureiden mittaaminen seurasi vasta myöhemmin. Opettaja A puolestaan siirtyi suoraan jännitteen ja sähkövirran kvantitatiiviseen mittaukseen, vaikkakin käsitteli toisaalta resistanssia ensin nimenomaan kvalitatiivisesti ilmiönä ennen varsinaisten lukuarvojen laskemiseen siirtymistä. Kummankin opettajan opetus kuitenkin poikkesi McDermottin ja Schafferin esityksestä sikäli ratkaisevasti, että opetus perustui enemmän yhden aiheen käsittelyyn kerrallaan kuin ensin usean aiheen kvalitatiiviseen käsittelyyn ja sitten samojen aiheiden kvantitatiivisempaan käsittelyyn.

5.3.2 Vertailu japanilaiseen oppituntiin

Vertailua varten tutkittiin neljää toukokuussa 2010 Japanissa kuvattua oppituntia, joiden etenemisestä tehdyt kirjalliset yhteenvedot löytyvät liitteestä 4. Noiden neljän tunnin aikana käsiteltiin jännitteen ja sähkövirran yhteyttä, resistanssia ja ohmin lakia. Ensimmäisellä neljästä tunnista tehtiin oppilastyö, josta saatujen tulosten avulla itse asia käytiin läpi seuraavilla oppitunneilla. Työssä mitattiin jännite-virta -pareja kahden erisuuruisen vastuksen tapauksessa ja piirrettiin kuvaajat mittaustuloksista. Näiden kuvaajien

avulla sitten nähtiin, kummalla vastuksella virran kulku oli vaikeampaa, mistä päästiin resistanssin määrittelyyn ja laskemiseen.

Japanilaisten oppituntien etenemisvauhti näyttää ainakin tässä aiheessa olevan selvästi suomalaista koulua hitaampaa. Tutkimuksen suomalainen opettaja A käytti resistanssin ja Ohmin lain esittelyyn ja harjoitteluun noin puolet kolmannesta sekä neljännessä kaksoistunnistaan, mikä vastaa yhteensä noin puolta siitä neljän oppitunnin ajasta, mikä japanilaisilla oppitunneilla aiheeseen käytettiin. Asioita käytiinkin läpi huolella, perustellen tehokkaasti miten ja miksi mikäkin vaihe, kuten suoran sovittaminen pistejoukkoon tai virran arvon lukeminen kuvaajasta vakiojännitteellä tehdään. Tärkeitä asioita, kuten sähkövirran ja jännitteen verrannollisuutta, saatettiin myös kysellä oppilailta useaan kertaan eri tunneilla. Kaiken kaikkiaan tuntien sisältö oli suomalaisiin tunteihin verrattuna yhtenäisempää, sillä asian käsittely tapahtui jatkuvasti ensimmäisellä tunnilla tehdyn oppilastyön kautta, kun taas suomalaisilla tunneilla aiempien oppituntien asioita käsiteltiin lähinnä vain kertaavasti, ei niinkään samaa yhtenäistä asiaa jatkaen.

Opetusmenetelmien osalta eroa oli ainakin siinä, että oppilastyö tehtiin vain yhdellä tunnilla neljästä, eikä käytännön demonstraatioitakaan nähty sen enempää, mikä tarkoittaa selvästi vähemmän asian havainnollistamista todellisilla laitteilla kuin opettajilla A ja B. Toisaalta opettajajohtoisen, puhtaasti luennoivan opetuksen käyttö uuden asian opettamisessa japanilaisilla oppitunneilla oli hyvin vähäistä. Lähes kaikki teoreettinen tieto johdettiin sitä kautta, että opettaja kyseli oppilailta heidän päätelmiään aiemmin kerrotuista tai mitatuista asioista. Kuitenkaan varsinaista opettajan ja oppilaiden välistä vuorovaikutuksellista opetuskeskustelua, jota suomalaisilla oppitunneilla nähtiin, ei ollut kovin paljoa, vaan kysymys oli lähinnä siitä, että opettaja kysyy ja oppilaat vastaavat. Oppilaiden omaaloitteinen kommunikaatio opettajaa kohtaan oli selkeästi suomalaisia oppitunteja vähäisempää, mikä toisaalta näkyi myös siinä, että häiritseviä opetuksen keskeytyksiä ei tullut käytännössä lainkaan. Oppilaat kuuntelivat opettajaa tai tekivät töitä keskenään tai itsenäisesti niin käskettäessä. Oppilaita kehoitettiin kahdesti myös neuvomaan toisiaan sekä tutkimaan, mitä oppikirja sanoo käsiteltävästä asiasta. Opetusmenetelmien monipuolisuuden suhteen japanilaiset oppitunnit vastasivat kohtalaisesti tutkimuksen opettajan B oppitunteja, opettajan A tunneilla menetelmien kirjo oli suurempi. Merkittävä ero molempiin suomalaisten opettajien tunteihin näkyi siinä, että kotitehtävien tarkastamiseen, joka vei suomalaisista

oppitunneista merkittävän osan jokaisen tunnin alusta, ei käytetty japanilaisilla tunneilla lainkaan aikaa. Opettaja tosin puhui kotitehtävien palauttamisesta ja niiden tekemättä jättämisestä, joten ilmeisesti oppilaat palauttivat kotitehtävänsä kirjallisesti.

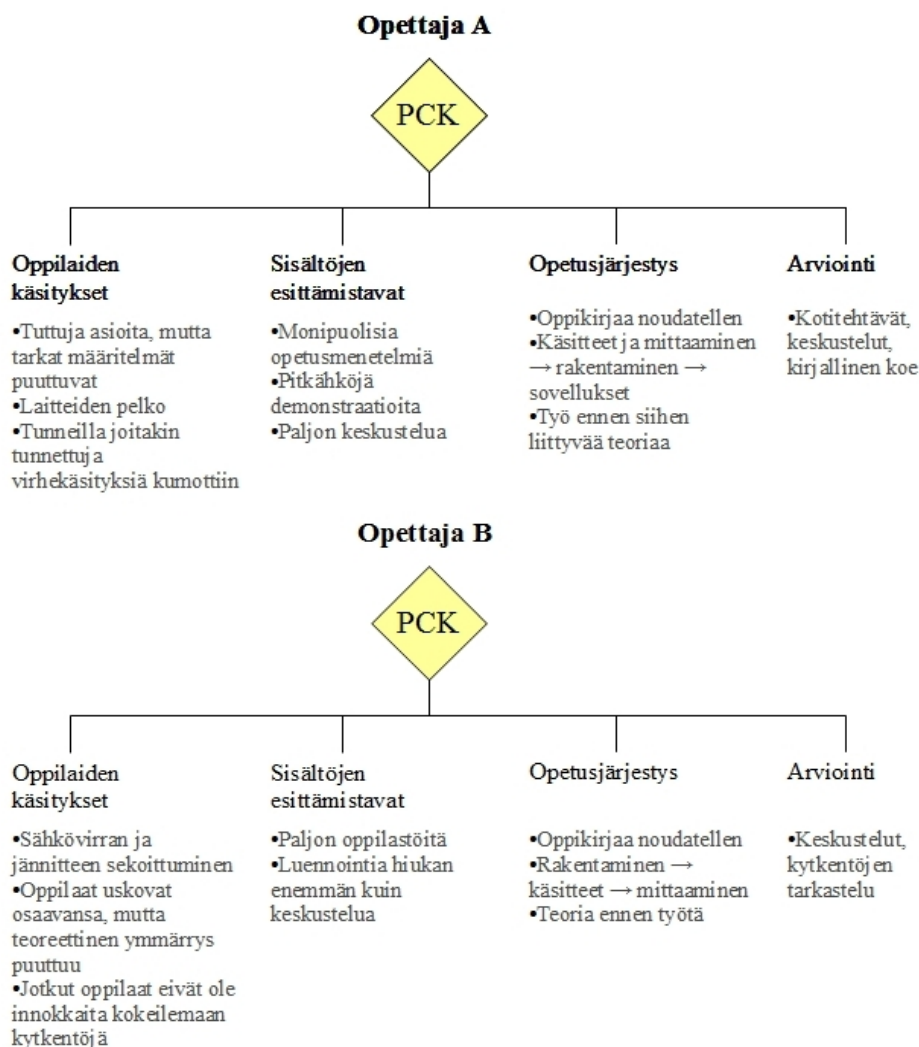
Japanin oppitunneilla asioiden käsittelytavan siirtyminen alun kvalitatiivisesta kohti kvantitatiivista toteutuu melko hyvin, sillä vaikka sähkövirran ja jännitteen lukuarvoja mitataankin alusta lähtien, niin kuvaajan tulkinnassa keskitytään aluksi nimenomaan siihen, kummalla vastuksella sähkövirran kulku on vaikeampaa ja kummalla helpompaa, ja vasta myöhemmillä tunneilla kiinnitetään tarkemmin huomiota resistanssin lukuarvoihin Ohmin lakia varsinaisiin laskutehtäviin sovellettaessa. Vastaavaa ajattelutapaa oli havaittavissa myös molemmilla suomalaisilla opettajilla: opettaja A käsitteli myös ensin resistanssia ilmiönä kiinnittämättä huomiota varsinaisiin lukuarvoihin, vaikka siirtyikin varsinaisiin laskuihin hiukan nopeammin. Opettajan B kohdalla suoraa vertailua resistanssin opetuksessa ei voida tehdä, mutta muissa aiheissa sama periaate näytti pätevän. Minkäänlaisia analogioita ei japanilaisilla tunneilla havaittu käytettävän.

6 Johtopäätökset

6.1 Millaista pedagogista sisältötietoa opettajilla oli havaittavissa?

Pääkohdat molempien opettajien pedagogisesta sisältötiedosta tehdyistä havainnoista on koottu kuvaan 13. Sisältötiedon osa-alueiden mukaisesti jaoteltuna voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

Ennakkokäsitykset: Ainoa sisällönesitystaulukoissa tai oppitunneilla eksplisiittisesti mainittu virhekäsitys oli sähkövirran ja jännitteen sekoittuminen opettajan B taulukossa, joten voidaan päätellä, että opettajat eivät ainakaan tietoisesti näytä juuri panostavan oppilaiden



Kuva 13: Opettajien A ja B pedagogisesta sisältötiedosta tehtyjen havaintojen ydinkohdat eri osa-alueissa

virhekäsityksien selville saamiseen tai niiden kumoamiseen. Toisaalta kuitenkin havaittiin, että suuri osa aiheista, joihin eri tutkimuksissa esille tulleet yleiset virhekäsitykset liittyvät, käsiteltiin joka tapauksessa opetuksessa siten, että mikäli oppilaalla oli jokin mainituista virhekäsityksistä, sen ja opettajan esittämän selityksen välinen ristiriita tuli melko suurella varmuudella esille. Arvailun varaan jää, miten tietoista tämä virhekäsitysten kumoaminen on. Oppikirjan ollessa merkittävä vaikuttaja opetuksen rakentamisessa voidaan pitää mahdollisena, että osa virhekäsityksistä on huomioitu oppikirjaa kirjoitettaessa. Ennakkokäsityksistä, joita ei voida lukea varsinaisesti virhekäsityksiksi, opettaja A mainitsi tyttöjen pelon laitteita kohtaan sekä sen, että asia on yleisellä tasolla oppilaille tuttu. Opettaja B puolestaan kertoi oppilaiden uskovan tietävänsä jännitteestä paljon, mutta teoreettinen ymmärrys ei ole kovin suuri, ja osa oppilaista ei ole innokkaita kokeilemaan kytkentöjä. Kaiken kaikkiaan ennakkokäsitysten huomioiminen, joka on Shulmanin mallissa toinen pedagogisen sisältötiedon pääosista, näyttää jäävän molemmilla opettajilla varsin vähäiseksi.

Opetusmenetelmät: Opettajalle B oli tyypillistä se, että eri aiheita käsiteltiin oleellisesti melko samanlaisilla menetelmillä, teoriakeskustelun/-luennoinnin, oppilastöiden ja kertaavien muistiinpanojen kirjoittamisen vuorotellessa, kun taas opettajalla A havaittiin enemmän eri menetelmien käyttöä eri aiheissa: opetusvideot sähkövirran ja jännitteen käsitteiden havainnollistamisesta, materiaalin vaikutuksesta resistanssiin, suprajohteista ja Ohmin laista sekä sähköturvallisuuden yhteydessä itsenäisesti tehty opetusvihkonen toivat enemmän vaihtelua siihen, miten mikäkin asia opetetaan. Epäselväksi tässä tutkimuksessa jäi, kuinka suuri osa eri opetusmenetelmistä oli todellisuudessa valittu Loughranin esittämän pedagogisen sisältötiedon kriteerin mukaisesti siksi, että oppilas juuri tämän opetusmenetelmän avulla ymmärtää opetettavan asian paremmin, eikä esimerkiksi pelkän vaihtelun vuoksi. Tämän selville saamiseksi olisi ollut hyödyllistä kysyä sisällönesitystaulukossa tarkemmin opetusmenetelmistä tai vaihtoehtoisesti haastatella opettajia tuntien jälkeen, jolloin olisi voitu kysyä, miksi mitään opetusmenetelmää käytettiin. Opettaja A mainitsee sisällönesitystaulukossaan opetuksellisena haasteena erilaiset oppijat, joten vaihtelevien menetelmien käyttö voi juontaa juurensa oppilaiden erilaisten oppimistapojen huomioonottamiseen. Tämän voidaan katsoa täyttävän edellä mainitun Loughranin ym. kriteerin ainakin siinä tapauksessa, että opettaja on opetusmenetelmiä valitessaan ottanut

huomioon menetelmien vaihtelevuuden lisäksi myös sen, mikä menetelmä auttaa parhaiten ymmärtämään mitäkin aihetta.

Opetusjärjestys: Asiakokonaisuuksien opettamisjärjestyksen voidaan katsoa olevan peräisin vahvasti oppikirjan kirjoittajilta. Opettajalla A havaittiin kuitenkin tietoinen tarkoitus käsitellä tunnilla esimerkkejä, kuten oppilastyö, ennen kuin käsiteltiin asiaan liittyvää teoriaa. Tästä opettaja oli maininnut jo sisällönesitystaulukossa, joten kyseessä on selvästi pedagogiseen sisältötietoon kuuluva opetusjärjestyksen arviointi. Sen sijaan opettajan B havaittiin tunnilla käsittelevän ensin teorian ja siirtyvän vasta sitten töihin.

Arviointi: Arvioinnissa molemmat opettajat luottivat tunnilla tapahtuvaan jatkuvaan arviointiin, ja opettaja A lisäsi arviointiin myös kirjallisen kokeen. Näiden arviointimenetelmien valintojen syitä ei kuitenkaan tiedetä, joten niiden lukeminen pedagogiseksi sisältötiedoksi on käytettävissä olevilla tiedoilla kyseenalaista.

6.2 Millaisia yhtäläisyyksiä opettajien pedagogisessa sisältötiedossa oli?

Yksiselitteisesti pedagogiseksi sisältötiedoksi luettavia asioita havaittiin kokonaisuudessaan varsin vähän, koska opettajien motiiveja tietyn menetelmän tai toimintatavan valitsemiselle ei päästy tutkimaan riittävästi. Yhtäläisyyksiä pedagogisen sisältötiedon osa-alueisiin kuuluvissa asioissa kuitenkin löydettiin. Opetusmenetelmien valintojen suhteen molemmilla opettajilla oli yhtenäiset perusmenetelmät, kuten kappaleesta 5.2.2 ja erityisesti taulukon 2 yhtenäisestä yleislinjasta voidaan havaita. Tunnin alussa käytiin läpi kotitehtäviä yhdessä koko luokan kanssa, heijastaen oikeita vastauksia taululle datatykillä tai piirtoheittimellä ja kerraten samalla tehtävien taustalla olevaa teoriaa, ensisijainen teorian esittelytapa oli opettajan luennoinnin ja vuorovaikutuksellisen opetuskeskustelun yhdistelmä, ja jokaiseen käsiteltävään asiakokonaisuuteen liitettiin ainakin yksi koulun välineistöllä tehty oppilastyö tai käytännön demonstraatio, jossa käsiteltävää ilmiötä mitattiin tai todennettiin käytännössä. Vahvana vaikuttajana molempien opettajien opetusjärjestyksen valinnassa oli selvästi oppikirja, jota kumpikin opettaja seurasi varsin tarkasti.

Sisällönesitystaulukossa molemmat opettajat mainitsivat ennakkokäsityksenä sen, että oppilaat tietävät tai uskovat tietävänsä jännitteestä valmiiksi melko paljon sekä haluttomuuden tai pelon kytkentöjen rakentamiseen. Näiden vaikutus opetuksen suunnitteluun jäi hämärän peittoon, mutta kyseessä ovat kuitenkin ennakkokäsitykset, jotka molemmat ovat

ilmeisesti ottaneet huomioon. Arvioinnissa yhtenäinen piirre oli jatkuvan arvioinnin korostaminen keskustelujen ja työskentelyn seuraamisen muodossa.

6.3 Oliko opetuskokemuksen määrällä vaikutusta?

Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että opetuskokemuksen määrä vaikuttaa positiivisesti pedagogisen sisältötiedon määrään. Opettajalla A oli selvästi enemmän opetuskokemusta kuin opettajalla B, ja hän myös käytti selvästi monipuolisempia opetusmenetelmiä kuin opettaja B. Yhdessä sisällönesitystaulukossa mainitun erilaisten oppijoiden huomioimisen kanssa tämän voidaan katsoa viestivän tarkemmin mietityistä opetusmenetelmien valinnoista, mikä on pedagogisen sisältötiedon oleellinen osa. Lisäksi vuorovaikutteisuus tunnilla oli opettajalla A suurempaa, mikä mahdollistaa oppilaiden käsitysten havaitsemisen ja huomioimisen paremmin, ja kirjallisuudessa mainittuja yleisiä oppilaiden virhekäsityksiä kumottiin opettajan A tunneilla enemmän kuin opettajan B tunneilla. Tulos vastaa hyvin kappaleessa 2.2 esiteltyjä tutkimustuloksia.

6.4 Millaisia eroja löydettiin verrattuna muiden maiden opettajiin?

Pedagogisen sisältötiedon kannalta merkittävimmät erot eri osa-alueilla olivat seuraavia:

Ennakkokäsitykset: Ennakkokäsitykset huomioitiin vertailutaulukossa selvästi tutkimuksen opettajien taulukoita kattavammin, mikä voi viitata siihen, että australialaiset opettajat ottavat ennakkokäsitykset huomioon suomalaisia paremmin. On kuitenkin huomattava, että Loughranin ym. tutkimuksessa oli mukana useita kymmeniä opettajia, kun taas tässä tutkimuksessa vain kaksi, joten tieto- ja kokemuspohja, josta Loughran ym. ovat taulukon koonneet, on selvästi suurempi. Pätevämmän vertailun tekemiseksi olisi tutkittava selvästi laajempaa suomalaisten opettajien joukkoa, jolloin saataisiin parempi käsitys siitä, kuinka laajasti suomalaiset opettajat yleensä tuntevat ja huomioivat ennakkokäsityksiä. Vertailtaessa suomalaisia oppitunteja japanilaiskoulussa kuvattuun oppituntiin ennakkokäsitysten huomioimisessa ei havaittu suuria eroja. Japanilaisella tunnilla ei otettu erikseen käsittelyyn mitään tunnettuja virhekäsityksiä, mutta asioiden huolellisen läpikäymisen voidaan olettaa näyttävän ristiriitoja joidenkin virhekäsitysten kohdalla.

Opetusmenetelmät: Suomalaisien ja australialaisten opettajien välillä näyttää olevan se yhteys, että käytännön töitä käytetään paljon, kuten havaitaan luvun 5.2.2 analyysistä ja liitteen 1 vastauksista kysymykseen 7. Niin vertailutaulukossa kuin molempien tutkimuksen opettajien tunneillakin virtapiirien käsittelyn alussa rakennettiin yksinkertainen virtapiiri, jossa pyrittiin saamaan lamppu palamaan. Opettaja A tosin liitti tähän myös virran ja jännitteen mittaamisen. Pariston ja siitä saatavan energian käsittelyssä opettaja A käytti hissianalogiaa, joka muistuttaa Loughranin ym. taulukossa mainittua painovoima-analogiaa (liite 1, aihe 4, kysymys 7). Samoin molemmat opettajat käyttivät jännitemittarin esittelyssä jännitemittauksia, kuten myös Loughran ym. esittävät. Analogioiden käyttöä suomalaisilla opettajilla näkyi kaiken kaikkiaan varsin vähän ja roolileikkejä ei lainkaan, kun taas molempia käytetään australialaisten opettajien taulukossa useampaan kertaan. Toisaalta esimerkiksi videoiden käyttöä ei mainittu Loughranin ym. taulukossa lainkaan, mutta tutkimuksen opettaja A käytti niitä kolmesti. Opettajan A sekä australialaisten opettajien opetusmenetelmät näyttävät olevan jokseenkin yhtä monipuolisia, vaikkakin erilaisia. Japanilaisten oppituntien opetusmenetelmät taas vastasivat melko tarkasti tutkimuksen opettajan B oppitunteja, mutta yleislinja japanilaisilla oppitunneilla oli suomalaisia tunteja opettajajohtoisempi ja teoreettisempi. Aiemmillä tunneilla tehtyihin töihin viittaaminen ja sen kautta opetuksen rakentaminen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi oli japanilaisilla oppitunneilla selkeästi suomalaisia tunteja määrätietoisemmin toteutettu.

Opetusjärjestys: Opetusjärjestyksen suhteen vertailua australialaisten opettajien kanssa on vaikea tehdä, sillä sisällönesitystaulukko ei varsinaisesti kerro, missä järjestyksessä siinä olevat asiat opetetaan. Jos kuitenkin oletetaan taulukon aiheiden järjestyksen vastaavan opetusjärjestystä, voidaan todeta opetuksen alkavan melko samalla tavalla kuin molemmilla suomalaisilla opettajilla, määrittelemällä virtapiiriin kuuluvat osat. Tämän jälkeen vertailutaulukossa siirrytään sähkövirran määrittelyyn, mutta suomalaiset ottavat jännitteen käsitteen esille samassa yhteydessä, opettaja B jopa ennen sähkövirtaa (ks. kuvat 4 ja 8). Loput vertailutaulukon aiheet poikkeavatkin selvästi tutkimuksen opettajien lähestymistavasta aiheisiin, kuten luvussa 5.3.1 havaittiin, joten opetusjärjestyksen vertailu muuttuu epämieliseksi, sillä se vaatisi edes kohtuullista vastaavuutta aiheiden esittämisessä. Japanilaiskoulusta materiaalina on vain yhden aiheen käsittely, joten eri aiheiden järjestystä ei pystytä vertaamaan. Aihekokonaisuuden sisällä tehtiin ensin työ ja käsiteltiin sitten siihen

liittyvä teoria, kuten tutkimuksen opettaja A tunneillaan teki, mutta aineiston kattaessa vain yhden aiheen käsittelyn ei tätä järjestystä voida yleistää yleiseksi käytännöksi Japanissa.

Arviointi: Japanilaiskoulun arviointiperusteista ei tutkimuksessa saatu tietoa, joten vertailun tekeminen on vaikeaa. Japanilaisilla tunneilla kuitenkin tehtiin kirjallinen testi ja kotitehtävistä puhuttiin, joten nämä lienevät osa arviointia samoin kuin tutkimuksen opettajalla A. Australialaisten ja suomalaisten opettajien välillä selkein yhtäläisyys arvioinnin järjestämisessä oli jatkuvan, tunnilla tapahtuvan arvioinnin korostaminen. Eroa on silti siinä, miten tämä käytännössä tapahtuisi: suomalaiset opettajat mainitsevat ensisijaisesti keskustelun, kun taas australialaiset luottavat enemmän Predict-Observe-Explain -järjestelmään, joka tosin vastaa jossain määrin opettajan B mainitsemaa kytkentöjen tutkimista. Australialaiset opettajat eivät mainitse kirjallista koetta tai kotitehtäviä.

6.5 Tulosten soveltaminen

Tutkimukseen osallistuneilta opettajilta löydetty pedagogisen sisältötiedon piirteet antavat suuntaa siihen, millaista pedagoginen sisältötieto suomalaisilla opettajilla yleisemmin saattaa olla. Tämä puolestaan voi auttaa opettajankoulutuksen kehittämisessä erityisesti havaittujen puutteiden osalta, vaikkakin tutkimuksen pienen otoskoon vuoksi tulosten yleistämisessä on syytä olla hyvin varovainen. Jatkotutkimuksia varten tulokset voivat toimia hyvänä pohjana, tarkempien tulosten saamiseksi olisi syytä kasvattaa otoskokoa sekä pyrkiä pääsemään paremmin käsiksi opettajien toiminnan syihin vaikkapa haastattelujen avulla. Kansainvälisen vertailun osalta tutkimus antaa yhden näkökulman opetuskulttuurien välisiin eroihin, ja voi näin toimia omalta osaltaan pohjana jatkotutkimuksille, mutta ei tutkimuksen suppeuden vuoksi itsessään riitä perusteellisemmän analyysin tekemiseen.

Lähteet

- Abell, S. K. (2007): Research on Science Teacher Knowledge, teoksessa *Handbook of Research on Science Education*, toim. S. K. Abell ja N. G. Lederman, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1105-1149
- Angell, C., Ryder, J & Scott, P. (2005): Becoming an expert teacher: Novice physics teachers' development of conceptual and pedagogical knowledge, esitetty European Science Education Research Associationin konferenssissa Barcelonassa, http://www.fys.uio.no/~carla/ARS_2005.pdf (viitattu 25.11.2010)
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H. & Viiri, J (2001): Aine ja energia. Fysiikan tietokirja, WSOY, Helsinki
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H. & Viiri, J (2003): Aine ja energia. Fysiikan työkirja 3: Sähkö – Luonnon rakenteet, WSOY, Helsinki
- Borges, A. T. & Gilbert, J. K. (1999): Mental models of electricity, *International Journal of Science Education* 21(1), 95-117
- Buaraphan, K. & Roadrangka, V. (2006): Preservice physics teachers' pathway of pedagogical content knowledge development in a physics methods course: a case study, *The Kasetsart Journal: Social Science* 27(2), 339-346
- Carpenter, T. P., Fennema, E., Peterson, P. L. & Carey, D. A. (1988): Teachers' pedagogical content knowledge of students' problem solving in elementary arithmetic, *Journal for Research in Mathematics Education* 19(5), 385-401
- Chiu, M-H. & Lin, J-W (2005): Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies, *Journal of Research In Science Teaching* 42(4), 429-464
- Engelhardt, P. V. & Belchner, R. J. (2003): Students' understanding of direct current resistive electrical circuits, *American Journal of Physics* 72(1), 98-115
- Etkina, E. (2010): Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers, *Physical Review Special Topics – Physics education research* 6, 020110

- Geddis, A. N. & Wood, E. (1997): Transforming subject matter and managing dilemmas: A case study in teacher education, *Teaching and Teacher Education* 13(6), 611-626
- Gess-Newsome, J. (1999): Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation, teoksessa *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*, toim. J. Gess-Newsome & N. G. Lederman, Kluwer, Boston, 3-17
- Gudmundsdottir, S. (1991): Ways of Seeing Are Ways of Knowing: The Pedagogical Content Knowledge of an Expert English Teacher, *Journal of Curriculum Studies* 23(5), 409-421
- Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. & Nyrhinen, K (2005): Avain. Fysiikka 3, Otava, Keuruu
- James, M. C. & Scharmann, L. C. (2007): Using analogies to improve the teaching performance of preservice teachers, *Journal of Research in Science Teaching* 44(4), 565-585
- Johnston, J. & Ahtee, M. (2006): Comparing primary student teachers' attitudes, subject knowledge and pedagogical content knowledge needs in a physics activity, *Teaching and Teacher Education* 22(4), 503-512
- Kari, J (1988) Luokanopettajan oppikirjasidonnaisuus: tutkimus ympäristöopin ja maantiedon opetuksesta peruskoulun ala-asteella, Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja A 13-14, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä
- Kuusisto, J (1989): Oppimateriaalit peruskoulun ylä- ja ala-asteella 1988, Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja A 25-26, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä
- Loughran, J., Berry, A.& Mulhall, P. (2004): In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice, *Journal of Research in Science Teaching* 41(4), 370-391
- Loughran, J., Berry, A.& Mulhall, P. (2006): Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge, Sense Publishers, Rotterdam
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999): Nature, Sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching, teoksessa *Examining*

pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education, toim. J. Gess-Newsome & N. G. Lederman, Kluwer, Boston, 95-132

- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992): Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding, *American Journal of Physics* 60(11), 994-1003
- Opetushallitus: Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. Web-versio: http://www02.oph.fi/ops/perusopetus/pops_web.pdf (viitattu 4.8.2011)
- Paatz, R. (2004): A case study analysing the process of analogy-based learning in a teaching unit about simple electric circuits, *International Journal of Science Education* 26(9), 1065-1081
- Seidel, T. (2005): Coding manual – Surface structures: Organization of classroom activities, teoksessa *How to run a video study*, toim. T. Seidel, M. Prenzel & M. Kobarg, Waxmann Münster, New York, 79-90
- Shaffer, P. S. & McDermott, L. C. (1992): Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies, *American Journal of Physics* 60(11), 1003-1013
- Shulman, L. S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching, *Educational Researcher* 15(2), 4-14
- Shulman, L. S. (1987): Knowledge and teaching: Foundations of the new reform, *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22
- Tsai, C.-C. (2003): Using a conflict map as an instructional tool to change student alternative conceptions in simple series electric-circuits, *International Journal of Science Education* 25(3), 307-327
- van Driel, J. H., Verloop, N. & de Vos, W (1998): Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Journal of Research in Science Teaching* 35(6), 673-695
- Viiri, J. (2003): Engineering teachers' pedagogical content knowledge, *European Journal of Engineering Education* 28(3), 353-359

Liitteet

Liite 1: Virtapiirien sisällönesitystaulukko

(Käännetty ja tiivistetty Loughranin, Berryn ja Mulhallin (2006) kokoamasta taulukosta.)

<i>PERUSAIHE</i>	(A) Sähkövirran aikaansaamiseksi on muodostettava yhtenäinen silmukka pariston yhdestä navasta toiseen	(B) Sähkövirta on kokonaisvarauksen virtausta yhteen suuntaan. Varaukselliset hiukkaset, jotka liikkuvat, kun sähkövirtaa on, tulevat virtapiiriin muodostavista materiaaleista.	(C) Paristosta saadaan energia sähkövirralle.	(D) Kun virtapiirissä on sähkövirtaa, energia virtaa paristosta käyttäjälle.
<i>1. Mitä tähän perusaiheeseen liittyen oppilaiden halutaan oppivan?</i>	Virtapiiriin kuuluu energianlähde, energian kuluttaja ja johdot, jotka kytkevät nämä toisiinsa.	Kaikissa aineissa on varattu hiukkasia, jotka voivat joissain tapauksissa liikkua helpostikin. Varaukset voivat olla negatiivisia tai positiivisia, mutta niiden suuruus, jota mitataan coulombeissa, on tärkeä. Virran suuruus saadaan siitä varausmäärästä, joka liikkuu annettuun suuntaan annetussa pisteessä sekunnin aikana, ja se on sama kaikkialla virtapiirissä.	Pariston toiminta on analoginen kappaleen nostamiseen painovoimakentässä ja siten potentiaalienergian antamiselle. Pariston volttimäärä kertoo, kuinka paljon energiaa se antaa yhtä pariston läpi kulkevaa coulombia kohti, ja tämä määrä pysyy vakiona.	Sähkövirta ei tarkoita vain varausten liikkumista, vaan myös energian siirtymistä paristosta laitteeseen, jossa se voi näkyä esimerkiksi lämpönä tai valona. Pieni osa energiasta kadotetaan johtimista lämpönä. Varauksen liikkeessä potentiaalienergiaa menetetään, ja tätä kahden pisteen välillä menetettyä energiaa coulombia kohti kutsutaan potentiaalieroksi. Potentiaaliero johtimissa on hyvin pieni. Energia säilyy, joten pariston antama energia on yhtä suuri kuin potentiaalierojen summa.
<i>2. Miksi oppilaille on tärkeää tietää tämä perusaihe?</i>	Tämä on peruslähtökohta virtapiirien oppimiselle.	Sähkövirran tieteellisen merkityksen käsittäminen on tärkeää virtapiirejä selittävien mallien ymmärtämisessä. Varattujen hiukkasten olemassaolo ja liikkuvuus kaikissa aineissa selittää johtavuutta ja resistanssia sekä auttaa ymmärtämään, miksi sähkövirta vaikuttaa välittömästi, kun katkaisijaa käännetään.	Tämä tieto on oleellinen virtapiiriin käyttäytymisen selittämisessä ja ennustamisessa.	Virtapiiriin merkitys energiantuottajana on tärkeää jokapäiväisessä elämässä, ja on oleellista ymmärtää, että virtapiiristä saatava energia lähtee jostakin lähteestä.
<i>4. Mitä ongelmia tai rajoituksia on aiheen opettamisessa?</i>	Ongelmia aiheuttaa se, että kysymys on näkymättömistä, mittarein havainnoitavista ilmiöistä	Kaikkia virtapiiriin ominaisuuksia ei voi selittää millään mallilla, ja varattujen hiukkasten liikkumista on vaikea todistaa. Oppilaiden tulisi myös ymmärtää yksinkertainen atomimalli sekä varauksen merkitys jonkin kappaleen tai hiukkasen ominaisuutena.	Muihin kysymyksiin vastaukset ovat yhteisiä aiheen D kanssa. =>	(Yhteistä aiheen C kanssa) Oppilaiden kannalta vaikeuksia tuottaa se, että energia yleensäkin on abstrakti käsite, potentiaalienergiasta puhumattakaan. Myös pariston toiminta on monimutkaista ymmärrettäväksi. Paristo tuottaa potentiaalienergiaa erottelemalla varautuneita hiukkasia, mutta tästä oppilas voi saada sen käsityksen, että nämä hiukkaset kuljettavat potentiaalienergiaa,

				<p>mikä saattaa johtaa käsitykseen, että sähkövirta aiheuttaa potentiaalieron. Termien potentiaaliero, jännite ja jännitehäviö satunnainen käyttö vaikeuttaa ymmärtämistä edelleen.</p>
<p>5. Tiedetäänkö jotain oppilaan ajattelutavasta liittyen opetettavaan perusaiheeseen (ennakkokäsitykse t?)?</p>	<p>Oppilailla on käsityksiä, joiden mukaan tarvitaan vain yksi johto, paristolla on vain yksi napa, sähkövirta lähtee molemmista navoista tai että sähkövirta kuluu.</p>	<p>Oppilaat ajattelevat usein pariston olevan varausten lähde, eivätkä automaattisesti osaa yhdistää sähköopin asioita aiemmin opittuihin, vaikkapa sähkövirtaa elektroneihin. Myös kokonaisvarauksen käsite ja sähkövirran suuruus ovat vaikeita hahmotettavia.</p>	=>	<p>Oppilaiden ajattelu keskittyy usein enemmän sähkövirtaan kuin energiaan, mutta pariston merkitystä energian tuottajana voidaan korostaa puhumalla volttien sijaan jouleista/coulombi.</p>
<p>6. Mitkä muut tekijät vaikuttavat aiheen opettamiseen?</p>	<p>Monilla oppilailla, erityisesti tytöillä, ei ole juuri kokemusta virtapiireistä. Lamppujen tekninen epäluotettavuus ja epätasaiset kirkkaudet edellyttävät opettajalta kaikissa käytännön töissä lamppujen tarkistamista ja testaamista etukäteen.</p>	<p>Atomin rakennetta ja erilaisten varausten käyttäytymistä on syytä kerrata, ja samalla on mahdollisuus osoittaa yhteyksiä eri tieteiden aiheiden, esimerkiksi atomin rakenteen, kemiallisten reaktioiden, metallien rakenteen ja lämmönjohtavuuden, välillä.</p>	=>	<p>Erilaiset mallit ja analogiat ovat hyvä tapa lähestyä näitä asioita, kun vain pysytään selvillä kunkin mallin vahvuuksista ja heikkouksista.</p>
<p>7. Mitä opetusmenetelmiä käytät tähän aiheeseen liittyen ja miksi?</p>	<p>Opetuksessa voidaan antaa oppilaille paristo, lamppu ja johtoja, ja pyytää yhdistämään nämä siten, että lamppu syttyy. Näin saadaan oppilaat löytämään tarvittavat edellytykset sähkövirran syntymiselle ja havaitsemaan virran kulkureitti.</p>	<p>Opetuksessa voidaan käyttää hyväksi mallia vesiputkistosta, jossa paristoa vastaa pumppu, hehkulamppua turbiini ja johtimen varauksia vesi.</p>	=>	<p>Käyttökelpoisia analogioita ovat ainakin vertailu painovoimaan ja sen aiheuttamaan potentiaalienergiaan tai siihen, kuinka polkupyörän ketju välittää energiaa pyöräilijältä takapyörään. Potentiaaliero energiana/coulombi voidaan havainnollistaa roolileikillä, jossa kukin oppilas edustaa yhtä coulombia, ja virtapiirissä liikkeessaan luovuttaa paristolta saamiaan karamelleja ("energiaa") kullekin piiriin vastukselle.</p>
<p>8. Miten oppilaan ymmärrys liittyen aiheeseen tarkistetaan?</p>	<p>Oppilaiden ymmärtämistä voidaan varmistaa POE-menetelmällä (Predict-Observe-Explain) lampun syyttämisen yhteydessä.</p>	<p>Oppilaiden ymmärtämistä voi testata kysymällä, millaisia eroja vesiputkistomallissa on virtapiiriin nähden, sekä POE-menetelmällä, kun oppilaille näytetään yhden lampun virtapiiri ja pyydetään ennustamaan lamppujen kirkkaudet, kun kaksi muuta lamppua lisätään sarjaan. Tällä POE:lla voidaan haastaa käsityksiä siitä, että paristo syöttäisi piiriin varauksia, jotka sitten "kuluvat" edetessään piirissä.</p>	=>	<p>Analogioiden yhteydessä voidaan kysyä oppilailta, kuinka esitetyt mallit eroavat virtapiiriin toiminnasta. Myös käsittekarttaa voi käyttää oppilaiden ymmärtämisen varmistamiseen.</p>

PERUSAIHE	(E) Paristo muodostaa sähkökentän virtapiirin muodostavien materiaalien sisälle. Tämä kenttä aiheuttaa sähkövirran, kun virtapiiri suljetaan.	(F) Virtapiiri on systeemi, jossa muutos yhdessä osassa voi vaikuttaa muihin osiin.	(G) Jännitemittari mittaa, kuinka paljon energiaa menetetään, kun yksi varausyksikkö siirtyy virtapiirin yhdestä kohdasta toiseen	(H) Hehkulampun kirkkaus riippuu sen energian määrästä, jota hehkulamppuun syötetään
<i>1. Mitä tähän perusaiheeseen liittyen oppilaiden halutaan oppivan?</i>	Pariston aiheuttama sähkökenttä työntää kaikkia liikkuvia varauksellisia hiukkasia komponentissa/johtimessa, ja näiden hiukkasten törmäily paikallaan oleviin hiukkasiin synnyttää lämpöä, mikä puolestaan näkyy potentiaalienergian menetyksenä. Jos kahden pisteen välillä virtapiirissä on potentiaaliero, voidaan päätellä, että niiden välillä on oltava sähkökenttä, ja mitä suurempi potentiaaliero tietyn komponentin/johtimen päiden välissä on, sitä suurempi on myös sähkökenttä.	Tietyllä paristolla sähkövirran suuruus riippuu piirissä olevien komponenttien määrästä ja tyypeistä. Kun piirissä on yksi komponentti, potentiaaliero sen yli on sama kuin pariston antama potentiaalienergia coulombia kohti. Jos toinen komponentti lisätään, kummankin potentiaaliero riippuu niiden resistanssista.	Kun virtapiirin kahden pisteen välillä on varausten liikettä, niiden välillä myös menetetään potentiaalienergiaa. Jännitemittarissa on hyvin suuri resistanssi, ja se toimii päästämällä hyvin pienen virran lävitseen ja mittaamalla, paljonko potentiaalienergiaa häviää jokaista sen läpi virtaavaa coulombia kohti. Tämä antaa potentiaalieron niiden pisteiden välillä, joihin jännitemittari on kytketty.	Kun hehkulangassa on virta, se voi kuumentua hyvin paljon suuren resistanssinsa vuoksi. Riittävässä lämpötilassa hehkulanka alkaa loistaa. Energia tähän lämpenemiseen tulee siitä potentiaalienergiasta, joka menetetään virtapiiristä, kun lampussa on sähkövirtaa. Mitä kuumeempi hehkulanka on, sitä kirkkaammaksi se muuttuu, ja sitä nopeammin energiaa siirtyy hehkulankaan. Energian siirtymisen nopeutta sanotaan hehkulangan tai lampun tehoksi, ja lampun merkitty teho merkitsee sitä tehoa, jolla saadaan optimaalinen kirkkaus.
<i>2. Miksi oppilaille on tärkeää tietää tämä perusaihe?</i>	Fysiikassa kentän käsite selittää etävuorovaikutuksia, ja erityisesti nyt sähkökenttä auttaa selittämään, miten paristo voi vaikuttaa samanaikaisesti virtapiirin kaikkiin varattuihin hiukkasiin. Kenttä auttaa myös selittämään energian häviämistä vastuksissa tai lampuissa, sekä sitä, miksi potentiaaliero aiheuttaa sähkövirran.	Nämä aiheet ovat tärkeitä energiankulutuksen ja virran ennustamiseen ja selittämiseen virtapiirin eri osissa.	Jännite- ja virtamittari vaativat virtaa toimiakseen ja ne itse muuttavat mittaamaansa virtapiiriä, mutta vain hyvin vähän. Nämä vaikutukset voivat olla kuitenkin merkittäviä, jos virtapiirin resistanssi on riittävän pieni virtamittariin verrattuna tai suuri jännitemittariin verrattuna.	Oppilaiden ajattelu keskittyy usein lähinnä sähkövirtaan, mutta lampun kirkkauden pohtimisessa he voivat ajatella myös tehoa ja ymmärtää, että virta ei kulu piirissä, vaan energia, toisin kuin he usein ajattelevat. Oppilaat voivat myös saada vahvistusta sille, että virtapiireistä on hyötyä energian tuottamisessa hyödyllisissä muodoissa.
<i>4. Mitä ongelmia tai rajoituksia liittyy opetettavaan aiheeseen?</i>	Kentän käsite on hyvin abstrakti, ja kenttä riippuu pariston lisäksi myös johtimista ja piirin komponenteista. Potentiaalieron käsittelemättä jättäminen aiheuttaa ongelmia, kun yritetään ymmärtää sähkövirran syytä tai erilaisia energiahäviöitä eri komponenteissa.	Aiheet ovat monimutkaisia ymmärtää, ja edellyttävät useita malleja ja demonstraatioita. Ohmin lakiin vetäytyminen on helppoa, muttei juuri edistä oppilaiden ymmärrystä.	Jännitemittarin lukemaan on helppo viitata vain jännitteenä, mutta käsitteen monitulkintaisuuden vuoksi on tärkeää korostaa, että kyseinen lukema tarkoittaa sitä energiaa coulombia kohti, jonka paristo luovuttaa tai muu komponentti käyttää.	Lamppujen käyttö virtamittareina on voinut saada oppilaat ajattelemaan, että niiden kirkkaus riippuu vain virrasta, joten tehon merkitystä on syytä korostaa.

<p>5. Tiedetäänkö jotain oppilaan ajattelutavasta liittyen opetettavaan perusaiheeseen (ennakkokäsitykset?)</p>	<p>Potentiaalieron kytkeminen sähkökenttään selittää edellä mainittuja asioita. Kenttien ymmärtämistä auttaa, jos pystytään vertaamaan sähkökenttää painovoimakenttään.</p>	<p>Oppilaiden ajattelu on usein lokaalia, ja usein he ajattelevat muutoksen virtapiirissä vaikuttavan vain siihen osaan piiriä, jossa muutos tehtiin. Myös virtaa pidetään usein vakiona silloinkin, kun muutoksia virtapiirissä tapahtuu.</p>	<p>Oppilaiden voi olla vaikea ymmärtää, että mittarit vaikuttavat siihen, mitä mittaavat, toisin kuin vaikkapa viivoitin.</p>	
<p>6. Tiedetäänkö jotain muuta oppilaan ajattehuun vaikuttavista tekijöistä liittyen tähän opetettavaan perusaiheeseen?</p>		<p>Oppilaiden keskittymistä ymmärtämiseen auttaa, jos kaavoja vältetään ja keskitytään ensisijaisesti kvalitatiiviseen lähestymistapaan.</p>		<p>Kvalitatiivinen päättely on tärkeää, sillä se auttaa oppilaita ymmärtämään.</p>
<p>7. Millä tavalla tämä aihe opetetaan ja miksi?</p>	<p>Opetusmenetelmistä edellisen aiheen analogioita, niiden arviointia ja käsitekarttoja voidaan käyttää myös tässä.</p>	<p>Opetusmenetelmänä POE-menetelmä on käyttökelpoinen: pyritään ennustamaan lampun kirkkautta, kun paristoja tai lamppuja vaihdellaan tai lisätään. Analogiana resistanssin muutoksille toimivat polkupyörän takarenkaan vaihtaminen raskaampaan tai narumalli, jossa oppilaat muodostavat virtapiiriin, sähkövirtaa kuvaa oppilaiden ("vastukset") käsissä löyhästi oleva naru, jota paristoksi valittu oppilas vetää. Lämpö vastusten käsissä kasvaa, kun he pitävät tiukemmin kiinni tai paristo vetää lujempaa.</p>	<p>Oppilaille on syytä antaa käytännön harjoituksia potentiaalierojen mittaamisesta erilaisissa virtapiireissä ja eri kohdista virtapiirejä.</p>	<p>POE-menetelmässä voidaan tässä aiheessa käyttää tilannetta, jossa ennustetaan 40 ja 75 watin lamppujen kirkkautta verkkovirtaan kytkettynä, ensin yksittäin ja sitten sarjassa, jolloin voidaan todeta wattimäärän tarkoittavan optimikirkkautta.</p>
<p>8. Miten oppilaan ymmärrys liittyen aiheeseen tarkistetaan?</p>		<p>Oppilaiden ymmärtämistä voi testata antamalla heille tehtäväksi kehittää virtapiiristä malli tai roolipeli, joka selittää tieteellistä näkökulmaa.</p>	<p>Ymmärtämisen varmistamisessa POE-menetelmä on jälleen käyttökelpoinen: sovelletaan sitä tilanteeseen, jossa mitataan potentiaaliero yhden lampun ympäriltä piirissä, jossa on pariston lisäksi kaksi identtistä lamppua sarjaan kytkettynä, ja pyritään ennustamaan potentiaaliero samojen pisteiden välillä, kun niiden välissä oleva lamppu ruuvataan irti.</p>	

Liite 2: Tyhjä sisällönesitystaulukko

Sisällönesitystaulukko: Virtapiirit

Kirjoita taulukkoon virtapiirien opettamisessa oleellisimmat sisällölliset perusaiheet ja vastaa kunkin kohdalla esitettyihin kahdeksaan kysymykseen. Aiheita voi olla vähemmän kuin tämä kahdeksan (sarakkeita voi jättää tyhjäksi), mutta mielellään ei enempää. Älä anna ruutujen koon määrittää vastauksiasi, vaan vastaa niin pitkästi tai lyhyesti kuin on tarpeellista.

Perusaihe (perusaiheen määrittely ja tiedon esitys)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Ajattelutapa opetettaessa								
I Mitä tähän perusaiheeseen liittyen oppilaiden halutaan oppivan?								
II Miksi oppilaille on tärkeää tietää tämä perusaihe?								
III Liittyykö tähän perusaiheeseen asioita jotka aiotaan jättää opettamatta oppilaille?								

<p>IV Mitä vaikutuksia tai rajoituksia on aiheen opettamisessa?</p>				
<p>V Tiedetäänkö jotain oppilaan ajattelutavasta liittyen opetettavaan perusaiheeseen (ennakkokäsitykset)?</p>				
<p>VI Tiedetäänkö jotain muuta oppilaan ajatteluun vaikuttavista tekijöistä liittyen tähän opetettavaan perusaiheeseen?</p>				
<p>VII Missä järjestyksessä tämä aihe opetetaan ja miksi?</p>				
<p>VIII Miten oppilaan ymmärrys liittyen aiheeseen tarkistetaan?</p>				

Liite 3: Kuvauslupalomake

Hyvät vanhemmat!

Tämä kirje on tiedote tutkimuksesta, jonka yhteydessä _____ koululla videoidaan joitakin lapsenne luokan fysiikan oppitunteja. Opettajana tunneilla on _____.

Olen valmistumassa Jyväskylän yliopistosta fysiikan- ja matematiikanopettajaksi ja tutkin pro gradu -tutkielmassani sähköopin opetusta yläkoulutasolla. Tutkimukseen liittyy virtapiirejä käsittelevien oppituntien videointi aidoissa opetustilanteissa, ja koulunne fysiikan opettaja on ystävällisesti lupautunut auttamaan näiden videointien toteuttamisessa. Saimme kuvausluvan myös koulun rehtorilta, ja videointi tulee toteutumaan kevätlukukauden aikana. Videolla kuvataan pääasiassa opettajan opetusta. Tutkimuksessa ei arvioida opettajan tai oppilaiden suorituksia, vaan pyritään ymmärtämään paremmin sitä, millä tavoin opettaja käytännössä toimii todellisessa tilanteessa, ja miten tieto oppiaineesta yhdistyy pedagogisiin tietoihin ja taitoihin. Materiaalin pohjalta tehdään myös vertailua suomalaisen ja japanilaisen opetuksen välillä. Kuvausmateriaali tulee ainoastaan tutkimuskäyttöön, eikä nauhoituksia näytetä julkisesti. Tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti ja raportoidaan nimettöminä niin, ettei kenenkään henkilöllisyys paljastu.

Annan mielelläni tarvittaessa lisätietoja.

Yhteistyöterveisin:

Aineenopettajaopiskelija

Timo Aho

Osoite

050- xxx xxxx

email: timo.aho@jyu.fi

Tutkimusta ohjaava professori

Jouni Viiri

professori (matematiikan ja luonnontieteiden pedagogiikka)

Opettajankoulutuslaitos

PL 35

40014 Jyväskylän yliopisto

014-260 1709

Kiitos yhteistyöstä!

Olen tutustunut yllä olevaan kirjeeseen ja

- annan luvan omasta ja lapseni puolesta videoida yllä mainittuja fysiikan tunteja, joilla lapseni on läsnä.
- en anna lupaa videoida mainittuja tunteja, joilla lapseni on läsnä

oppilaan nimi: _____

huoltajan allekirjoitus ja nimenselvennys

Liite 4: Taulukot japanilaisten oppituntien etenemisestä

Taulukko 3: Japanin tuntien kulku aihealueittain ja työtavoittain – **tunti 12.5**

Aika (minuutit)	Käsiteltävä aihe	Käytetty työtapa, huomioiko opettaja jotenkin havaittavasti ennakkokäsityksiä?
1		Tunnin aloitus, tervehdykset
2-5		Puhuttelee oppilaita jotka eivät olleet tehneet tehtäviään
5-8		Oppilaat kaivelevat muistiinpanovälineitä
8-12	Paristot sarjaan kytkettynä	Opettaja piirtää taululle 1) lampun ja pariston suljetussa piirissä ja 2) kaksi paristoa ja lampun sarjaan kytkettynä sen taululle pariston ja lampun kuvia apuna käyttäen. Kumpi palaa kirkkaammin? Seuraava kysymys, kummassa suurempi jännite? Suuremmalla jännitteellä sähkövirtakin on suurempi.
12-21	Virran ja jännitteen välinen yhteys	Jakaa oppilaille paperit ja kääntää puolta oppilaista hakemaan jännitelähteet joita käytetään pariston sijasta työssä. Kertoo miten käytetään.
22-25	Virran ja jännitteen välinen yhteys – työohjeet	Opettaja esittelee käytettäviä komponentteja. Kuvien piirretyn kytkentäkaavion ja opettajan selityksen mukaan oppilaat rakentavat virtapiirin jossa on vastus, jännite- ja virtamittari, jännitelähde ja katkaisija.
25-36	Virran ja jännitteen välinen yhteys – kytkennän rakentaminen	Opettaja antaa oppilaille 10 min aikaa rakentaa piirinsä pienissä ryhmissä. Opettaja kiertää luokassa.
37-43	Virran ja jännitteen välinen yhteys	Käskää valmiita ryhmiä raivaamaan jälkensä sitä mukaa kun saavat valmiiksi.
44-47	Virran ja jännitteen välinen yhteys – saatujen tulosten esittäminen kuvaajan avulla.	Opettaja antaa ohjeita ja oppilaat alkavat pienissä ryhmissään piirtää kuvaajia.
48-50	Virran ja jännitteen välinen yhteys	Suurimmalla osalla kuvaajien piirto yhä kesken, mutta opettaja kääntää niiden jotka saavat nopeammin tehtyä, perehtyä siihen mitä oppikirja sanoo aiheesta. Kaikki eivät saaneet kuvaajiaan valmiiksi.
51-54		Tunnin lopetus, lisää nuhtelua ja ohjeistusta.

Taulukko 4: Japanin tuntien kulku aihealueittain ja työtavoittain – **tunti 14.5**

Aika (minuutit)	Käsiteltävä aihe	Käytetty työtapa, huomioiko opettaja jotenkin havaittavasti ennakkokäsityksiä?
1		Tunnin aloitus ja puhetta kotitehtävien palautuksesta

2	Jännitteen ja sähkövirran yhteyden ymmärtäminen	Opettaja kirjoittaa taululle tunnin tavoitteen.
3-17	Edellisen päivän kokeen käsittelyä	Opettaja piirtää taulukon taululle. Oppilailla on edellisen tunnin monisteet joihin he sitten kirjaavat eri vastusta käyttäneen kaverin tulokset. Lopuksi kaikilla pitäisi siis olla kahdella eri vastuksella (A ja B) saadut mittaustulokset. Oppilaat käyvät täyttämässä opettajan taulukkoon mittaustuloksiaan.
18-27	Sähkövirran ja jännitteen yhteyden esittäminen kuvaajassa	Mittaustulokset sovitetaan kuvaajaan. Opettaja piirtää taululle akselit, kaksi oppilasta tulee piirtämään niihin skaalat ja kaksi muuta oppilasta merkitsemään vastus A:n ja vastus B: n tapauksissa mitatut pisteet. (Taulukossa $Y =$ sähkövirta ja $X =$ jännite, kulmakerroin ei siis suoraan resistanssi). Opettaja käskee niitä, jotka eivät osaa, kysymään apua vierustoverilta.
28-36	Suoran sovittaminen	Opettaja kysyy oppilailta mitä täytyy pitää mielessä suoraa sovittaessa ja sitten pyytää heitä katsomaan vielä mitä oppikirja sanoo asiasta. Opettaja piirtää yhden esimerkin siitä, miten kuvaajaan piirretään suora. Oppilaat piirtävät suorat kuvaajiinsa. Opettaja kiertää luokassa ja käy sitten lisäämässä suorat taululle piirrettyyn kuvaajaan.
37-48	Kuvaajan tulkinta, päätelmät	Opettaja merkitsee suorille minkä vastuksen tapaus on missäkin suorassa kyseessä. Opettaja kysyy oppilailta mikä on sähkövirran ja jännitteen yhteys. Todetaan että sähkövirta on verrannollinen jännitteeseen. Opettaja kysyy vastusten A ja B eroa ja antaa oppilaille minuutin aikaa keskustella asiasta parin kanssa. Kaksi oppilasta vastaa, että A:n tapauksessa kulkee suurempi virta kuin B:n tapauksessa samalla jännitteellä. Opettaja haluaa kuitenkin esittää asian virran kulun vaikeuden ja/tai helppouden avulla.
49- 51	Virrankulun vaikeus ja helppous	Opettaja käsittelee kuvaajaa virrankulun vaikeuden ja helppouden kautta. Määritellään kumman vastuksen tapauksessa virrankulku on helpompaa ja kumman tapauksessa vaikeampaa.
52-53		Tunnin lopetus, muistutus pikkukokeesta

Taulukko 5: Japanin tuntien kulku aihealueittain ja työtavoittain – tunti 17.5

Aika (minuutit)	Käsiteltävä aihe	Käytetty työtapo, huomioiko opettaja jotenkin havaittavasti ennakkokäsityksiä?
1-2		Tervehdykset, tunnin aloitus. Opettaja muistuttaa huomisesta testistä.
3-10	Jännitteen ja virran yhteys, Ohmin laki	Opettaja piirtää jännite-virta -kuvaajan kahdella vastuksella (A ja B), tutut edellisiltä tunneilta mutta nyt jännite on y- ja virta x- akselilla. Opettaja kysyy millainen yhteys jännitteellä ja virralla on, vain muutama viittaa. Opettaja kysyy yhdeltä oppilaalta, ja tämän vastattua kysyy muulta luokalta ovatko samaa mieltä. Opettaja pyytää tekemään muistiinpanoja ja sanoo virran olevan

		verrannollinen vastuksen yli kulkevaan jännitteeseen. Kysyttäessä oppilas tietää kyseessä olevan Ohmin laki.
11-20	Resistanssin käsite, yksikkö	Oppilaat lukevat kirjasta Ohmin laista, opettaja kertoo seuraavaksi mentävän sähkövirran kulun vaikeuteen, jolla on yksikkönä ohmi. Kirjoittaa taululle: Resistanssi ilmaisee virran kulun vaikeutta. Puhuvat yksiköstä ja sen käytöstä, kirjoitetaan taululle ja vihkoihin, että kun jännite on 1V ja virta 1A, on resistanssi 1 Ω .
21-25	Ohmin lain käyttö	Opettaja kirjoittaa kuvaajan alle Ohmin lain sanallisesti (Resistanssi=jännite/virta), kysyen oppilailta suureiden yksiköt. Suureiden viereen kirjoittaa niiden symbolit.
26-29	Eriolaisten vastusten vaikutukset, resistanssi kuvaajasta	Opettaja kysyy oppilailta, kummassa tapauksessa kuvaajassa (A vai B) virran kulku oli vaikeampaa. Oppilas sanoo B, sillä siinä virta oli samalla jännitteellä pienempi. Opettaja näyttää tämän kuvaajasta ja kertoo, että A:ssa virta kulki helpommin. Opettaja näyttää miten lasketaan kulmakerroin kuvaajasta, ja että näin saadaan resistanssi..
30-32	Virran kulun helppous ja virran kulun vaikeus.	Opettaja puhuu luokan edessä, ei kysy varsinaisia kysymyksiä oppilailta. Opettaja korostaa, että aiemmin piirretyssä kaavassa oli kyse virran kulun vaikeudesta ja kuvaajan avulla piirretyssä kaavassa kyse on virrankulun helppoudesta. Eli mitä suurempi kulmakerroin tässä kuvaajan tapauksessa on, sitä helpommin sähkövirta pääsee kulkemaan. Opettaja esittelee helppojen lukujen avulla mitä käänteisluku ja tässä tapauksessa virran kulun helppouden ja vaikeuden yhteys toimii laskennallisesti.
32-34	Virran kulun vaikeus on resistanssi	Opettaja käskää oppilaita ottamaan tekstikirjat esiin ja lukee heille sieltä avainkohtia, jotka tulivat jo aiemmin tunnilla esiin.
35-44	Resistanssin laskeminen	<ul style="list-style-type: none"> · Opettaja kirjoittaa resistanssin laskukaavan taululle. · Opettaja pyytää heitä selvittämään mikä on virran arvo jännitteen ollessa 5 voltia vastuksen A tapauksessa. Opettaja pyytää välillä oppilaita jotka ymmärtävät, nostamaan käden ylös merkiksi. Oppilaan vastattua opettaja näyttää miten vastaus voidaan lukea piirretystä kuvaajasta. Opettaja pyytää niitä jotka ovat ymmärtäneet, nostamaan käden ylös ja selittämään niille, jotka eivät nostaneet kättään ylös. · Opettaja näyttää taululla miten resistanssi saadaan, pyytäen välillä oppilaita sanomaan mitä mihinkin tulee. · Oppilaat laskevat resistanssin, opettaja kiertelee luokassa · Opettaja kysyy mitä resistanssiksi saadaan. · Opettaja näyttää että (ilmeisesti aiemmalla tunnilla tehdyssä työssä käytetyssä) vastuksessa lukee saatua tulosta vastaava arvo.
44-49	Resistanssin laskeminen	<ul style="list-style-type: none"> · Opettaja pyytää oppilaita laskemaan vastuksen B resistanssin samaan tapaan. Opettaja auttaa selvittämällä taululle piirretystä kuvaajasta mistä luvut saadaan. · Opettaja pyytää oppilaita jotka ovat saaneet laskettua, nostamaan kätensä jotta hän voi käydä tarkistamassa tuloksen.
49-50	Tunnin lopetus	Opettaja käskää oppilaiden nousta ylös ja käskää heidän harjoitella seuraavan päivän pikkutestiin

Taulukko 6: Japanin tuntien kulku aihealueittain ja työtavoittain – **tunti 18.5**

Aika (minuutit)	Käsiteltävä aihe	Käytetty työtapa, huomioiko opettaja jotenkin havaittavasti ennakkokäsityksiä?
1		Tervehdykset, tunnin aloitus
2-11		Pikkutesti. Opettaja jakaa koepaperit ja selittää mitä saa olla pöydällä ym. Kokeen tekemiseen aikaa 7min. + vähän lisäaikaa.
12-19		Kokeet tarkistetaan tunnilla siten, että oppilaat vaihtavat papereita keskenään ja opettaja kertoo oikeat vastaukset. Vastauksista päätellen tehtävät olivat enimmäkseen laskennallisia. Opettaja kerää koepaperit ja yksi oppilaista jakaa tunnin monisteet.
20-21		Opettaja puhuu muutaman sanan kokeesta ja oppilaat kirjoittavat monisteisiin nimiään ja ottavat kirjoitusvälineitä esiin.
22-26	Resistanssin (kaavan) kertaus	Opettaja kirjoittaa taululle resistanssin kaavamudossa jättäen jännitteen ja virran merkkeämättä Opettaja käyttää sanoja ja yksiköitä (ei symboleita). Oppilailta aikaa täyttää osoittajaan ja nimittäjään jännite ja virta, minkä jälkeen opettaja kysyy oppilailta mitä mihinkin tulee. Seuraavaksi opettaja kysyy oppilailta suureiden symbolit.
27-36	Resistanssin kaavan pyöritystä	Opettaja haluaa, että laskeminen sujuisi paremmin, joten kirjoituttaa oppilailta äsken kirjoitetun kaavan vielä muodossa sähkövirta on... ja jännite on... ja sitten kysellen kirjoittaa laskukaavat taululle. Lopuksi opettaja näyttää vielä ”laskuympyrän”, jonka avulla saadaan helposti pyöriteltyä kaavoja jos muuten tuntuu hankalalta.
37-43	Resistanssin laskeminen	Opettaja jakaa monisteet, selittää hieman tehtäviä ja oppilaat ryhtyvät laskemaan. Opettaja kiertää luokassa.
44-50		Oppilaat kirjoittavat vastaukset taululle. Opettaja tarkistaa, että vastaukset ovat oikein.
51-53		Tunnin lopetus.