



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Simulaatioiden käyttö oppikirjoissa

Pekka Korpioksa

Fysiikka (opettajalinja)

Pro gradu -tutkielma

Laajuus: 20 op

27.5.2025

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Pääaine: Fysiikka

Tekijä: Pekka Korpioksa

Otsikko: Simulaatioiden käyttö oppikirjoissa

Ohjaaja: Tommi Kokkonen

Sivumäärä: 59 sivua + liitteet 27 sivua

Päivämäärä: 27.5.2025

Tieto- ja viestintäteknologia on nykyään oleellinen osa suomalaisten koulukäyntiä. Se on tuonut uudenlaisia mahdollisuuksia käyttää monipuolisia digitaalisia apuvälineitä osana oppikirjoja. Tämä tutkielma keskittyy digitaalisista apuvälineistä simulaatioihin, joista on tehty vähän tai ei ollenkaan tutkimusta osana oppikirjoja.

Simulaatioita tutkitaan lähinnä kokeellisuuden näkökulmasta, minkä takia tutkielmassa esitellään mm. kokeellisuuden avulla opittavia sisältöjä ja kokeellisia taitoja. Muita pohdittavia asioita ovat kokeellisuudella eri tiedontasot, jotka ovat kvalitatiivinen tiedontaso ja kvantitatiivinen tiedontaso. Itse simulaatioista esitellään kirjallisuuden avulla niiden heikkouksia ja vahvuuksia sekä muutamia opetusstrategioita, joissa voidaan käyttää simulaatioita opetuksen apuna. Esimerkkinä tällaisesta strategiasta on simulaatioiden käyttäminen virtuaalilaboratoriona.

Opetussuunnitelmien perusteissa puhutaan itse simulaatioista vain vähän, mutta simulaatioita voidaan silti käyttää saavuttamaan tieto- ja viestintäteknologialle sekä kokeellisuudelle kirjattuja tavoitteita.

Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan kolmeen kysymykseen: Miten kirjantekijät hyödyntävät simulaatioita? Miten niiden käyttö vertautuu kirjallisuudessa esitettyihin tapoihin käyttää kokeellisuutta ja simulaatioita? Miten simulaatioiden käyttö vastaa opetussuunnitelmien perusteisiin kirjattuja tapoja käyttää kokeellisuutta sekä tieto- ja viestintäteknologiaa?

Näihin kysymyksiin pyritään vastaamaan teorialähtöisellä sisällönanalyysillä. Analyysiluokat perustuivat kokeellisuuden avulla opittaviin kokeellisiin ja sisällöllisiin taitoihin.

Simulaatioita käytetään oppikirjoissa paljon saamaan erilaisia ilmiöitä näkyviin. Kokeellisista taidoista kirjantekijät painottavat eniten havainnointia. Yllättävin eri kirjoja ja kirjasarjoja jakavista luokista on mallintaminen eri tasolla. Tämä on yllättävää, koska kirjallisuudessa sitä pidettiin simulaatioiden vahvuutena.

Oppikirjoissa simulaatioita käytetään enemmän kvalitatiivisella tiedontasolla kuin kvantitatiivisella tiedontasolla sekä peruskoulussa että lukiassa. Lukioon siirryttäessä simulaatioiden käyttö kvantitatiivisella tasolla kuitenkin lisääntyy selvästi. Simulaatioiden kvalitatiivisuus sopii osaan perusopetuksen opetussuunnitelman fysiikan sisältöalueista hyvin, mutta toisiin sisältöalueisiin kirjattu kvantitatiivisuus jää tutkituissa oppikirjoissa puutteelliseksi.

Asiasanat: fysiikka, simulaatio, kokeellisuus, oppikirja-analyysi

Sisältö

Johdanto	1
1. Taustateoriaa	2
1.1. Kokeellisuus fysiikan opetuksessa	2
1.2. Kokeellisuuden rooli käsitteiden oppimisessa	5
1.2.1. Kokeellisuus eri tiedontasoilla	5
1.2.2. Sisällölliset tavoitteet tiedontasoissa	8
1.3. Simulaation määritelmä ja aikaisempia tutkimuksia simulaatioista	10
1.4. Tutkimuksia oppimateriaaleista	15
2. Simulaatiot, tietotekniikka ja kokeellisuus opetussuunnitelmissa	17
2.1 Perusopetuksen opetussuunnitelma	17
2.2. Lukion opetussuunnitelma	19
3. Tutkimuskysymykset	23
4. Analyysimenetelmä	24
4.1. Tutkimusmateriaali	24
4.2. Tutkimusmenetelmä	24
4.2.1. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi	24
4.2.2. Tutkimuksen eteneminen	25
4.2.3. Teorialähtöisen analyysin teoria ja aineiston luokittelu	25
5. Tulokset ja pohdinta	37
5.1. Simulaatioiden käyttö oppikirjoissa	37
5.1.1. Simulaatioiden vahvuuksia kirjoissa	43
5.1.2. Simulaatioiden heikkouksia kirjoissa	45
5.2. Simulaatioiden tiedontasot	46
5.2.2. Simulaatioiden tiedontasot perusopetuksessa	46
5.2.2. Simulaatioiden tiedontasot lukiossa	48
5.3. Simulaatioiden käytön kirjoissa vertailu opetussuunnitelmien perusteisiin	50
5.3.1. Simulaatiot ja peruskoulun opetussuunnitelman perusteet	51
5.3.1. Simulaatiot ja Lukion opetussuunnitelman perusteet	53
6. Yhteenveto	54
Kirjallisuusviitteet	56
Liite A: Analyysin taulukot	60

Johdanto

Nykyään tieto- ja viestintäteknologialla on suuri rooli ihmisten elämässä. Monen henkilön työnteko perustuukin suurilta osin tieto- ja viestintäteknologian hyödyntämiseen. Suomalaisessa koulumaailmassakin tieto- ja viestintäteknologia on tullut oleelliseksi osaksi oppimista ja muuta koulunkäyntiä opetussuunnitelmien perusteiden päivittämisen yhteydessä (Opetushallitus, 2014, 2019) ja ylioppilaskirjoitusten muuttuessa kokonaan sähköisiksi keväällä 2019.

Simulaatioita on ollut mahdollista hyödyntää fysiikan opetuksen osana jo ennen uusien opetussuunnitelmien perusteiden tekemistä. Esimerkiksi Wieman ym. (2010) kirjoittivat, kuinka simulaatioita kannattaa heidän mielestään käyttää opetuksessa neljä vuotta ennen kuin perusopetuksen opetussuunnitelman perusteita päivitettiin. Viimeisten 15 vuoden aikana simulaatiot ovat olleet monen muunkin tutkimuksen kohteena. Bandan ja Nzabahimanan (2021) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa löytyi yli 3000 PhET-simulaatioiden käyttöä opetuksessa käsittelevää tutkimusta vuoden 2010 ja maaliskuun 2021 välillä. Kaikkia näitä ei tosin analysoitu tarkemmin tässä kirjallisuuskatsauksessa. Simulaatioita koskevien tutkimuksien avulla on voitu luoda erilaisia ohjeita, opetusmenetelmiä ja vinkkejä opettajille kuinka simulaatioita kannattaa käyttää ja minkälaisiin tarkoituksiin ne sopisivat parhaiten (Banda & Nzabahimana, 2021; Girwidz & Kohnle, 2021; Wieman ym., 2010).

Tutkimusta simulaatioiden käytöstä digitaalisten kirjojen osana ei ole kuitenkaan tehty, joten tässä tutkielmassa pyritään selvittämään, millä tavalla simulaatioita hyödynnetään digitaalisissa oppikirjoissa. Lisäksi tarkoituksena on selvittää kuinka hyvin kirjantekijöiden tavat käyttää simulaatioita vastaavat kirjallisuudessa esitetyt toimivia tapoja hyödyntää kokeellisuutta ja simulaatioita osana fysiikan opetusta. Viimeinen tutkittava asia on verrata simulaatioiden käyttöä näissä digitaalisissa oppikirjoissa opetussuunnitelmien perusteissa määriteltyihin tapoihin käyttää kokeellisuutta sekä tieto- ja viestintäteknologiaa osana fysiikan opetusta.

1. Taustateoriaa

1.1. Kokeellisuus fysiikan opetuksessa

Koska fysiikka on kokeellinen luonnontiede, pitää opetuksenkin perustua kokeellisuuteen. Kokeellisuus onkin keskeinen osa käsitteen muodostumisesta fysiikassa (Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001). Kokeellisilla töillä ja demonstraatioilla tulee aina olla jokin tarkoitus tai merkitys opetuksen osana ja opettajan sekä oppijoiden pitää ymmärtää, minkä takia jokainen koe tehdään (Hämäläinen, 2017). Jos kokeen tarkoitus ei ole tullut selväksi oppijoille, kokeeseen on Hämäläisen (Hämäläinen, 2017) mukaan käytetty turhaa aikaa. Nämä kokeellisten töiden tarkoitukset ja niillä saavutettavat tavoitteet vaihtelevat tehtävän työn ja työtä ohjaavan opettajan mukaan. Erään työn tavoite voi olla havainnollistaa jotain fysiikan ilmiötä, kun taas toisella työllä pyritään motivoimaan oppijoita opiskelemaan ja tutkimaan fysiikan ilmiötä. Nämä kokeellisen työskentelyn tavoitteet opetuksessa voidaan jakaa sisällön oppimisen tavoitteisiin, kokeellisten taitojen kehittämiseen tähtääviin tavoitteisiin, sosiaalisia- ja ryhmätyötaitoja kehittäviin tavoitteisiin (Girwidz ym., 2021). Muita Girwidzin ym. (2021) mainitsemia mahdollisia käyttötarkoituksia ovat mm. oppijoiden motivointi ja heidän ymmärryksensä kasvattaminen tieteellisen tutkimuksen tekemisestä ja tieteellisistä metodeista. Käytännössä kokeellisuus toimii apuvälineenä joidenkin näiden tavoitteiden saavuttamiseksi (Girwidz ym., 2021).

Girwidz ym. (2021) jakavat sisällölliset tavoitteet ja kokeellisten taitojen tavoitteet erilaisiin luokkiin. Nämä heidän erittelemänsä luokat kuvaavat tarkemmin, mitä kokeellisuudella voidaan saavuttaa fysiikassa. Alla on listattu kaikki sisältöihin liittyvät tavoitteet.

- Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin
- Fysiikan mallien hahmottelu
- Oppijan intuition kehittäminen
- Fysiikan lakien kokeminen
- Kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmistaminen
- Käsitteellisen muutoksen aloittaminen
- Demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä

- Mallintaminen eri tasoissa
- Fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti
- Lähtemättömän vaikutuksen tekeminen
- Merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen
- Fysiikan ilmiöihin syventyminen

Girwidz ym. (2021) avaavat jokaisen näiden tarkoitusta selittämällä ja antamalla esimerkkikokeita. Näitä esitellään tarkemmin tarvittaessa. Osassa tavoitteita otsikot ovat itsensä selittäviä ja niitä ei sen takia tarvitse esitellä tarkemmin. Tällaisia tavoitteita ovat esimerkiksi fysiikan ilmiön saaminen näkyviin ja kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden vahvistaminen. Vaikeammin ymmärrettäviä tavoitteita, joista on tarkemmat kuvailut alla, ovat oppilaan intuition kehittäminen, fysiikan lakien kokeminen ja fysiikan ilmiöihin syventyminen.

Oppijan intuition kehittämisen selittämiseksi käytetään kokeellista työtä, jossa tutkitaan tasaista ympyräliikettä (Girwidz ym., 2021). Oppijoiden tavoitteena oli tässä kokeessa saada pallo liikkumaan lattiaan merkittyä ympyränmuotoista rataa pitkin pienillä oikeaan aikaan ja oikealla voimalla annetuilla tönäisyillä kohti ympyrän keskipistettä, eli oppilas ymmärtää intuitiivisesti tutkittavan ilmiön. Tässä esimerkissä oppilas ymmärtää, että tarvitaan ulkoinen voima, jonka on muutettava pallon suuntaa, sen pitämiseksi ympyräradalla.

Fysiikan lakien kokemista Girwidz ym. (2021) havainnollistavat koejärjestelyllä, jossa oppijoiden tulee käsikäyttöisen dynamon avulla saada virtapiiriin kytketty lamppu palamaan eri kirkkauksilla. Lampun kirkkaus riippuu siitä, kuinka kovaa dynamoa pyörittää. Tällöin oppijat havaitsevat omin aistein, että mitä kovempaa dynamoa pyörittää, sitä kirkkaammin lamppu palaa. Tämä esimerkki ei suoraan sovellu simulaatioihin, koska simulaatioissa ei voi käyttää kaikkia aisteja samalla tavalla kuin edellä mainitussa kokeessa. Tämän tavoitteen soveltamista simulaatioiden kanssa kuvaillaan kappaleessa 3.2.2.

Fysiikan ilmiöihin syventymisestä Girwidz ym. (2021) käyttävät kuvien suunnanmuutoksia peileissä esimerkkinä. Heidän koejärjestelyssään paperista leikataan sanat LEFT ja RIGHT ja ne asetetaan peilin eteen siten että sana LEFT on pöydällä ja RIGHT telineessä pystyssä. Peilikuvassa nähdään, että vain sana RIGHT näkyy peilissä

oikeinpäin. Kokeen tavoitteena on saada oppija pohtimaan syvällisemmin suunnanmuutoksia peileissä.

Girwidz ym. (2021) esittelevät artikkelissaan myös kokeellisia taitoja, joita voidaan oppia kokeellisia töitä tehdessä. Nämä taidot ovat:

- Kysymyksen muodostaminen
- Oletuksen tai hypoteesin muodostaminen tutkittavasta aiheesta
- Kokeen suunnittelu
- Sopivanlaisen koejärjestelyn rakentaminen
- Kokeen havainnointi, mittauksen tekeminen ja ylös kirjaaminen
- Kerätyn tiedon käsittely
- Lopputulosten tekeminen

Näiden kokeellisten taitojen oppimista voidaan painottaa eri tavoilla suunnittelemalla erilaisia oppilastöitä (Girwidz ym., 2021). Esimerkiksi jokin työ voidaan suunnitella sellaiseksi, että se painottaa kokeen suunnittelua ja mittauslaitteiston rakentamista. Muut kokeelliset taidot jäävät tällaisessa kokeellisessa työssä vähemmälle huomiolle.

Muita mahdollisia tapoja käyttää kokeellisuutta on käyttää niitä testaamaan ennusteita ja luomaan uusia merkityksiä. Näistä kahdesta uusien merkitysten luominen on tärkeämpää kuin ennusteiden testaaminen, mutta ennusteidenkin testaamista on hyvä käyttää osana opetusta. Uusia merkityksiä luovalla kokeiden tarkoituksena on oppia jokin uusi käsite tai luoda uudenlainen yhteys aiemmin opittujen käsitteiden välille (Hämäläinen, 2017). Esimerkiksi sähköopissa oppilailla tutut käsitteet virta ja jännite on voitu yhdistää kokeellisesti toisiinsa Ohmin lain kautta. Myöhemmin voidaan tehdä toinen koe, jossa tutkitaan virtapiirin komponenttien tehoa ja voidaan havaita yhteys tehon, komponentissa tapahtuvan jännitehäviön ja piirissä kulkevan virran välillä. Ennusteiden testaamisen huono puoli on, että siinä ei opita uusia käsitteitä tai uusia tapoja luoda yhteyksiä käsitteiden välille (Hämäläinen, 2017). Sitä voidaan kuitenkin käyttää apuna Girwidzin ym. (2021) kokeellisten taitojen tavoitteiden saavuttamiseen ja oppilaan ymmärryksen testaamiseen tutkittavasta aiheesta.

Mahdollisia kompastuskiviä kokeellisuuden hyödyntämisessä opetuksessa ovat mm. puutteellinen ohjaus, oppijoiden kiinnostuksen puute kokeelliseen työskentelyyn, kokeellisen työn suorittaminen ilman ajattelemista (Girwidz ym., 2021; Stiller ym.,

2017). Puutteellinen ohjaus kokeellisissa töissä johtaa keskimäärin heikompiin oppimistuloksiin kuin hyvin ohjatut kokeelliset työt (Girwidz ym., 2021). Stillerin ym. (2017) mukaan eräissä tutkimuksissa on havaittu, että kokeellinen osa opetusta voi olla oppilaille hämmentävää, häiritsevää ja turhaan käytettyä aikaa, koska ne eivät edistä oppimistavoitteiden saavuttamista, eli Hämäläisen (2017) ehto kokeen tarkoituksen välittymisestä oppijoille ei täyty. Syy tähän voi olla, että kokeellinen työ ja siihen liittyvät toimintatavat ovat liian monimutkaisia eikä ne välttämättä motivoi oppilaita (Stiller ym., 2017). Kokeellisen työn suorittamista ilman syvällisempää ajattelua tutkittavasta ilmiöstä kutsutaan hands-on but minds-off -ilmiöksi, jossa oppijat vain keskittyvät vain kokeen tekniseen suorittamiseen eivätkä sen sisältöön (Stiller ym., 2017). Tämän ilmiön syntymisen todennäköisyyttä voidaan vähentää tekemällä kokeellisen työn ohjeista vähemmän reseptinomaisia eli suositellaan avoimempia tehtäviä. Toinen tapa on käyttää oikeanlaisia opetusstrategioita oppilaiden motivointiin.

Oppilaiden motivointiin voi käyttää itseohjautuvuusteoriaa (engl. self-determination theory, SDT). Sen mukaan motivoivan toiminnan pitää täyttää kolme psykologista tarvetta (Stiller ym., 2017). Nämä kolme tarvetta ovat tarve autonomialle, kyvykkyyden tunteelle ja yhteisöllisyydelle (Kalijärvi, 2019; Stiller ym., 2017). Koulussa näiden vaatimusten täytyminen saa oppilaat todennäköisemmin kiinnostumaan opittavasta sisällöstä, jolloin myös heidän oppimistehokkuutensa kasvaa (Stiller ym., 2017). Oikeantasoisella tuella, ohjaamisella ja oppilaiden autonomiaa tukevien oppimisympäristöjen rakentamisella voidaan tueta oppilaiden oppimista kokeellisissa töissä (Stiller ym., 2017).

1.2. Kokeellisuuden rooli käsitteiden oppimisessa

1.2.1. Kokeellisuus eri tiedontasoilla

Fysiikan sisältöjen oppimisessa käsitteiden oppimisella on suuri merkitys. Kokeellisuuden rooli käsitteiden muodostumisessa ja oppimisessa on suuri ja kokeellisuutta voidaan käyttää tässä prosessissa eri tavoilla. Tärkeä huomio kokeellisuuden käyttämisessä käsitteen oppimisessa on, että minkään yksittäisen kokeen roolin ei kuulu olla ratkaisevan tärkeä käsitteen oppimisen kannalta. Tärkeintä on, että kokeita ylipäänsä tehdään (Hämäläinen, 2017). Tällöin käsite muodostuu useamman eri kokeellisen työn ja oppitunnin aikana, joten oppija voi olla poissa ainakin yhdeltä oppitunnilta ja oppia käsitteen kokeellisuuden avulla olettaen, että hän on paikalla muilla

samoja käsitteitä koskevilla oppitunneilla. Käsitteiden oppiminen ja niiden ymmärtäminen vaatii oppijoilta kykyä luoda tietoa aiemmista kokemuksista ja soveltaa tätä tietoa uudenlaisiin tilanteisiin (Banda & Nzabahimana, 2021).

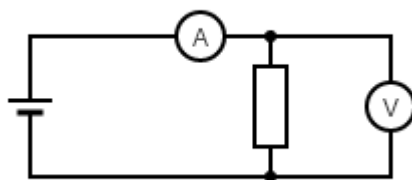
Girvidz ym. (2021) kertovat, että kokeellisia töitä voidaan käyttää tukemaan oppijoiden oppimista kolmella eri tiedontasolla, joista ensimmäistä kutsutaan fenomenologiseksi kehukseksi. Toinen tason on fysiikan lait ja kolmas on selittävät teoriat. Samankaltaisia tiedontasoja mainitaan myös muussa kirjallisuudessa. Girwidzin ym. (2021) mainitsema fenomenologinen kehys vastaa hyvin Hämäläisen (2017) esittelemää kvalitatiivista tasoa. Hämäläisen (2017) ja Koposen ym. (2001) mukaan kaikki käsitteet syntyvät aluksi kvalitatiivisina jonkin ilmiön tai ilmiöön liittyvän ominaisuuden havaitsemisen seurauksena, minkä takia tämä taso on luonnollinen lähtökohta myös kokeellisen tutkimuksen aloittamiselle. Hämäläinen (2017) jakaa kokeellisuuden vain kvalitatiiviseksi ja kvantitatiiviseksi kokeiksi, eli hän ei tee erillistä jaottelua Girwidzin ym. (2021) mainitsemien fysiikan lakien ja selittävien teorioiden välille, mutta Koposen ym. (2001) artikkelissa voidaan paremmin nähdä yhteneväisyyksiä Girwidzin ym. (2021) esittelemien tiedontasojen kanssa. Näitä yhteneväisyyksiä voidaan havaita, kun aletaan siirtyä kvalitatiiviselta tasolta kohti kvantitatiivisia tasoja.

Ensimmäinen askel kohti kvantitatiivisia tasoja on vielä kvalitatiivisella tasolla tapahtuva esikvantifiointi. Tällä tarkoitetaan vertailua ilmiöiden ja niiden eri ominaisuuksien arvojen välillä (Koponen ym., 2001). Tämä on tavallaan välimalli Girwidzin ym. (2021) fenomenologisen kehyksen ja lakien tason välillä.

Täysin lakien tasolle siirrytään Koposen ym. (2001) mukaan esikvantifioinnin jälkeen tapahtuvan ilmiön ja sen ominaisuuksien kvantifioinnin jälkeen. Kvantifioinnissa ilmiöön liittyviä ominaisuuksia aletaan kutsua suureiksi, koska ne saavat yksikön ja niitä voidaan mitata numeroarvoilla. Tämän jälkeen suureet ovat kytkettävissä toisiinsa erilaisten relaatioiden kautta, joita voidaan kutsua laeiksi. Tämä kvantifiointi voidaan tehdä erikseen kokeilla, jotka perustuvat aikaisempiin kokeisiin, jolloin oppijoille kehittyy järjestelmällinen käsite- ja lakiverkosto (Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Nämä verkostot toimivat rakennuspalikkoina oppijan fysiikan tiedon järjestelyssä osana empiirisestä käsitteen muodostumisesta (Mäntylä & Hämäläinen, 2015).

Ohmin lakia voidaan havainnollistaa kaikilla eri tiedontasoilla. Aluksi siihen voidaan tutustua kvalitatiivisesti havainnoimalla, minkä jälkeen voidaan siirtyä kohti

kvantitatiivisia tasoja esikvantifioinnin kautta (Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Mäntylän ja Hämäläisen (2015) tutkimuksen kvalitatiivisessa kokeessa tarkoitus on havainnoida, mitä virralle tapahtuu, kun muutetaan johtimien pituutta, paksuutta ja materiaalia. Tällöin havaitaan, että pidemmissä johtimissa kulkee vähemmän virtaa ja samanpituisissa mutta paksummissa johtimissa kulkee enemmän virtaa kuin ohuemmissa. Tässä vaiheessa liikutaan vielä täysin kvalitatiivisella tasolla tai fenomenologisessa kehyksessä (Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Seuraavaksi voidaan tutkia piiriä, joka koostuu muutettavasta jännitelähteestä ja jostain virran kulkea vastustavasta komponentista, kuten vastuksesta tai lampusta. Kuva 1 havainnollistaa virtapiiriä. Jännitettä kasvattaessa havaitaan, että virtakin kasvaa ja voidaan näiden kahden suureen välille tehdä kvalitatiivinen yhteys (Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Tämä on ilmiön esikvantifiointia (Koponen ym., 2001).



Kuva 1: Mäntylän ja Hämäläisen (2015) Ohmin lain kvantifioivassa kokeessa käyttämä esimerkkipiiri.

Ohmin lakia ja resistanssia kvantifioivassa kokeessa käytössä on sama virtapiiri kuin edellisessä kohdassa. Tässä tapauksessa mitataan virtaa, kun jännitteen arvoa muutetaan, minkä jälkeen virran kulkua vastustava komponentti vaihdetaan toiseksi ominaisuuksiltaan erilaiseksi komponentiksi. Uusi komponentti voi olla esimerkiksi alkuperäistä johdinta ohuempi tai paksumpi. Komponentin vaihdon jälkeen toistetaan aiemmat mittaukset. Lopulta tuloksista piirretään kuvaaja (I , U) -koordinaatistoon. Tuloksena on monta suoraa erilaisilla kulmakertoimilla, joista voidaan havaita, että jännite ja virta ovat suoraan verrannollisia ja suorien yhtälöistä saadaan empiirinen kaava Ohmin laille (Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Näiden kokeiden jälkeen ollaan saavutettu lakien taso (Girwidz ym., 2021). Selittävien teorioiden tasoa ei voida saavuttaa pelkillä kokeilla, koska selittävät teoriat voivat usein olla hyvinkin abstrakteja, ja niitä on vaikeaa hahmotella käytössä olevilla välineillä. Selittävien teorioiden taso voidaan kuitenkin saavuttaa aiempiin kokeisiin viittaavalla opetuksella. Ohmin lain tapauksessa selittävänä

teoriana voidaan käyttää virran määritelmää varattujen hiukkasten liikkeenä ja resistiivisyyden kautta aineen ominaisuuksia sekä sähköistä potentiaaliero.

Edellä mainittuja käsitteen muodostumisen näkemykset (Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015) käsitteen syntymisestä kvalitatiivisena, muuttumisesta esikvantifioinnin ja kvantifioivien kokeiden avulla osaksi oppijoiden omaa käsitteverkostoa perustuvat hahmottavaan didaktiseen lähestymistapaan. Tämän lähestymistavan eräs ongelma on, että käsitteet eivät aina synny tällä tavalla vaan niillä on voi olla toisenlaisia synty- ja kehitysmekanismia (Koponen & Nousiainen, 2015). Vaikka käsitteiden muodostuminen ei aina tapahdukaan tällä tavalla, tämä jaottelu jäsentää sitä.

1.2.2. Sisällölliset tavoitteet tiedontasoissa

Osiassa 1.1 esitellyt sisällölliset tavoitteet voidaan jakaa eri Girwidzin ym. (2021), Koposen ym. (2001) ja Hämäläisen (2017) esittelemille tiedontasoille. Kvalitatiiviselle tasolle, jota Girwidz ym. (2021) kutsuivat fenomenologiseksi kehikseksi, kuuluu ainakin fysiikan ilmiön saaminen näkyviin, oppilaiden intuition kehittäminen, kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen. Kvantitatiivisille tiedontasoille, eli lakien ja selittävien teorioiden tasolle (Girwidz ym., 2021) voidaan laskea kuuluvaksi sisällöllisistä tavoitteista fysiikan ilmiöihin syventyminen ja fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti. Sekä kvalitatiiviselle, että kvantitatiiviselle tasolle käyttötarkoituksen mukaan voivat kuulua seuraavat luokat fysiikan mallien hahmottelu, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen ja mallintaminen eri tasossa. Fysiikan lakien kokeminen ja fysiikan hyödyntämisen demonstroiminen teknologiassa ja muuten arjessa eivät kuulu kvalitatiiviselle tasolle eivätkä kvantitatiivisille tasoille. Näiden sisällöllisten tavoitteiden tarkoituksena on paremminkin saada oppijaa motivoitumaan ja kiinnostumaan fysiikan oppimisesta. Motivointi on osa muitakin tavoitteita, mutta näissä kahdessa tavoitteessa oppijoiden motivointi on ainoa tarkoitus.

Fysiikan ilmiöiden saaminen näkyviin kuuluu kvalitatiiviselle tasolle, koska tämän tavoitteen idea on vain saada jokin ilmiö näkyviin, jonka havainnoimisen jälkeen käsitteitä voi alkaa syntyä tai jo olemassa olevien käsitteiden välille voidaan löytää uudenlaisia yhteyksiä.

Oppilaiden intuition kehittäminen ja kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden testaaminen kuuluvat kumpikin tälle tiedontasolle. Oppilaan intuition kehittämisen yllä esitetyn kuvailun perusteella sen tarkoituksena oli auttaa oppilaita ymmärtämään fysiikan ilmiöitä intuitiivisesti, mikä on ilmiön kvalitatiivista ymmärtämistä. Jo nimen perusteella voidaan sanoa, että kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmistaminen kuuluu kvalitatiiviselle tasolle.

Fysiikan ilmiöihin syventyminen kuuluu pelkästään kvantitatiivisille tasoille. Girwidzin ym. (2021) esittämässä havainnollistuksessa tälle tavoitteelle tutkitaan syvällisemmin heijastuslain toimintaa peileissä. Tätä heidän tekemänsä kuvailua on referoitu jo osiossa 1.1.

Kvantitatiivisesti fysiikan lakien testaaminen kuuluu jo nimen perusteella kvantitatiivisille tasoille.

Fysiikan mallien hahmottelussa voidaan liikkua useammalla tasolla. Kvalitatiivisella tasolla liikutaan, kun käytetään kuvailevia malleja. Esimerkiksi valoa kuvaileva sädemalli kuuluu tälle tasolle. Tämä tavoite voi kuulua kvalitatiivisella tasolla silloin, kun siirrytään kuvailevista malleista selittäviin ja matemaattisiin malleihin. Kokeellisuuden kontekstissa selittäviä malleja voidaan havainnollistaa kokeilla, joissa mittaustulosten perusteella lasketaan tutkittavalle suurelle tarkka arvo. Tällöin kokeilla voidaan myös havainnollistaa fysiikan matemaattisia malleja lakien tasolla (Girwidz ym., 2021).

Käsitteellisen muutoksen aloittaminen voi myös kuulua sekä kvalitatiiviselle tasolle, että kvantitatiivisille tasoille. Kvalitatiiviselle tasolle kuuluvuutta voidaan perustella Hämäläisen (2017) ja Koposen ym. (2001) näkemyksellä, jonka mukaan käsitteet syntyvät kvalitatiivisina ja sitä kautta käsitteellinen muutoskin voi tapahtua tällä tiedontasolla. Myöhemmin voi olla tarvetta syventää oppijoiden ymmärrystä tietyistä käsitteistä, jolloin voidaan käyttää kvantifioivia kokeita (Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015) aiheuttaakseen käsitteellisen muutoksen kvalitatiiviselta tasolta kvantitatiiviselle lakien tasolle. Esimerkkinä voidaan käyttää Mäntylän ja Hämäläisen (2015) kvantifioivaa koetta, jossa määritetään kvantitatiivisesti Ohmin laki, kun sitä on aluksi tutkittu kvalitatiivisesti.

Mallintaminen eri tasolla kuuluu perinteisten kokeiden osalta pelkästään kvalitatiiviselle tasolle, mutta simulaatioiden kanssa tätä voidaan hyödyntää myös kvantitatiivisilla

tasoilla. Girwidzin ym. (2021) käyttämä esimerkki Aurinkokunnan tai Maan ja Kuun havainnollistamisesta lampulla ja erikokoisilla palloilla on kvalitatiivista. Simulaatioiden kanssa voidaan siirtyä tutkimaan paremmin mikrotason tai kosmisen tason ilmiöitä, jolloin voidaan oppikirjoissa lakien tasolla tutkia esimerkiksi satelliitin ja Maan painovoimasta johtuvaa vuorovaikutusta (Kiuru ym., 2021d).

Merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen voi kuulua kummallekin tasolle. Tämä taso riippuu siitä mihin kokeeseen tutustutaan ja millä tavalla siihen tutustutaan. Esimerkiksi Vipu 6 -digikirjassa (Kiuru ym., 2022a) tutustutaan kvantitatiivisesti Millikanin kokeeseen ja Vipu 7 -digikirjassa (Kiuru ym., 2022b) tutustutaan kvalitatiivisesti mustan kappaleen säteilyyn.

1.3. Simulaation määritelmä ja aikaisempia tutkimuksia simulaatioista

Kun tutkitaan simulaatioita, on hyvä määritellä simulaatio huolellisesti. Franco Landriscina (2013) antaa simulaatioille seuraavanlaisia ehtoja, joita käytetään tässä tutkielmassa:

- 1) Simulaatio on interaktiivinen malli jostain systeemistä.
- 2) Simulaatio on yksinkertaistus oikeasta tai kuvitellusta systeemistä
- 3) Simulaatio pyrkii jäljittelemään jotain systeemiä tai tilannetta

Simulaatioiden ja muiden digitaalisten tai muuten multimedialla käyttävien työvälineiden kirjallisuudessa mainittavia vahvuuksia opetuksessa ja oppimisessa on mahdollisuus käyttää useita aisteja työskennellessä, opittavan sisällön monipuoliset esitystavat ja digitaalisten työvälineiden interaktiivisuus (Girwidz & Kohnle, 2021). Tämä viimeinen kohta pätee erityisesti simulaatioihin niiden määritelmän takia. Digitaaliset työvälineet sallivat vain kuulo- ja näköaistin samanaikaisen käyttämisen, kun taas aidoissa kokeellisissa töissä voidaan hyödyntää kuulon ja näön lisäksi myös tunto- ja hajuaistia, eli tässä suhteessa perinteisemmät kokeet ovat monipuolisempia kuin simulaatiot. Digitaaliset työvälineet ovat kuitenkin parempi tapa oppia kuin asian lukeminen pelkästään oppikirjasta, mikä käyttää aisteista vain näköä. Monipuoliset esitystavat tarkoittavat asian esittämistä esimerkiksi kuvien, tekstien ja matemaattisten kaavojen avulla. Tämä on asia mitä perinteisten kokeellisten töiden aikana on vaikea tehdä. Yllä mainitut vahvuudet koskevat vain oppimisympäristöihin kuuluvaa pintarakennetta. Oppimistuloksiin vaikuttavaan syvää rakennetta ei voi niin helposti määritellä.

Esimerkiksi digitaalisten työvälineiden mahdollistama useiden esitystapojen käyttö voi opettajan valitsemasta käyttötavasta ja oppijoiden kyvykkyyksistä riippuen olla joko hyödyllistä tai haitallista oppimisen kannalta (Girwidz & Kohnle, 2021).

Kaikki edellä mainitut asiat pätevät kaikkiin multimedialla hyödyntäviin opetusmenetelmiin, kuten videoihin. Jokaisella niistä on myös omia vahvuuksia, joita ei muilla välttämättä ole. Simulaatioiden omia vahvuuksia on, että niitä voidaan käyttää vaihtoehtoina oppilastöille, jos ei ole saatavilla oikeanlaista mittauslaitteistoa tai ei ole muuten vain mahdollista tehdä kouluympäristössä. Simulaatioissa voi myös todella helposti muuttaa tutkimukseen vaikuttavia muuttujia ja niiden kanssa voidaan poistaa systemaattiset virheet kokeellisista töistä (Girwidz ym., 2021; Girwidz & Kohnle, 2021). Simulaatioiden avulla pystytään helposti myös havainnollistamaan mikrotason ilmiötä tai muita ilmiöitä, jotka ovat näkymättömiä normaalioloissa, ja käyttämään simulaatioita hyvin kohdennetusti jonkin ongelman tai ilmiön tutkimiseen (Girwidz & Kohnle, 2021; Pucholt, 2021; Wieman ym., 2010). Esimerkiksi oppikirjoissa havainnollistetaan, mitä atomeille ja molekyyileille tapahtuu olomuodon muutoksissa (Andersin ym., 2021c; Kiuru ym., 2021b).

Simulaatioiden käyttäminen ei ole kouluun sidottua, mikä mahdollistaa niiden käyttämisen myös kotona, jolloin voidaan antaa kokeellista työskentelyä muistuttavia kotitehtäviä (Girwidz & Kohnle, 2021; Wieman ym., 2010). Hyviä tapoja käyttää simulaatioita kotitehtävinä on antaa kertaavia tehtäviä tuntien jälkeen tai tutustuttaa oppilaita simulaatiokotitehtävän kanssa seuraavan tunnin aiheeseen (Wieman ym., 2010). Simulaatiota voitiin käyttää aitojen kokeellisten töiden korvikkeina COVID-19 pandemian aikaisina etäopetusjaksoina (Ametepe & Khan, 2021; Lager & Lavonen, 2023).

Simulaatiot perustuvat laskettuun dataan, joten yksi mahdollinen käyttötarkoitus olisi käyttää niitä kokeellisten töiden rinnalla vertaillessa fysiikan lakien avulla laskettuja arvoja kokeellisiin tuloksiin (Girwidz ym., 2021). Muita mahdollisia tapoja käyttää simulaatioita on hyödyntää niitä käsitteen oppimisen tukena osana erilaisia opetusmenetelmiä. Banda ja Nzabahimana (2021) esittelevät neljä tällaista tapaa. Ne ovat tutkimuspohjainen oppiminen, ongelmapohjainen oppiminen, virtuaalilaboratoriokokeet ja oppimisen oikea-aikainen tukeminen (engl. scaffolding learning). Tutkimuspohjainen oppiminen simulaatioiden kanssa pohjautuu heidän mukaansa viiteen eri osaan.

Ensimmäisessä osassa oppilaiden on tarkoitus keskustella aiheesta, jolloin he voivat saada selville omia virhekäsityksiään. Tämän jälkeen oppilaat tekevät ennusteita ja päätelmiä. Tällöin oppilaiden aiemmat käsitykset aiheesta selkiytyvät. Kolmannessa vaiheessa testataan kaikkia oppilaiden aikaisempia mahdollisia käsityksiä aiheesta simulaatioiden avulla. Tämän vaiheen jälkeen oppilaat ja opettajat keskustelevat aiheesta ja yhdistävät simulaatioista saadut havainnot tieteellisiin käsityksiin käydyn keskustelun ja omien tuotostensa avulla. Viimeisenä vaiheena on metakognitiivinen arviointi ja jatkotutkimukset. Banda ja Nzabahimana (2021) analysoivat muita simulaatioita käsitteleviä tutkimuksia. Heidän tekemänsä analyysin mukaan on hyödyllistä käyttää simulaatioita osana tutkimuksellista opetusta oppijoiden käsitteiden ymmärtämisen kehittämiseksi. Samalla simulaatioiden käyttö tutkimuspohjaisessa oppimisessa saa oppilaat osallistumaan enemmän, tukee heidän itsenäisyyttään, auttaa eriyttämään opetusta ja lisää kiinnostusta fysiikkaa kohtaan.

Ongelmapohjaiseen oppimiseen Banda ja Nzabahimana (2021) antavat viisi vaihetta simulaatioiden käytölle voidakseen olla osa tätä luokkaa. Ensimmäinen vaihe on ratkaistavan ongelman antaminen oppilaille ennen kuin tutkiminen aloitetaan. Toisessa vaiheessa oppilaat arvioivat ja syntetisoivat eri lähteistä kerättyä tietoa. Nämä lähteet voivat olla mm. kirjoja, lehtiä tai internet-sivustoja. Tämän tiedon keräämisen ja arvioinnin jälkeen oppilaat tekevät sen perusteella hypoteesin ja suunnittelevat miten lähtevät testaamaan tätä hypoteesia. Neljännessä vaiheessa testataan luotua hypoteesia simulaatioiden avulla. Lopuksi oppilaat keräävät tulokset, tekevät niistä tulkintoja, vertaavat tuloksia heidän tekemiinsä hypoteeseihin ja tekevät tästä kaikesta johtopäätöksiä. Bandan ja Nzabahiman (2021) analyysin mukaan simulaatioita voidaan hyödyntää ongelmapohjaisessa oppimisessa oppilaiden käsitteiden ymmärtämisen kasvattamiseen. Samalla he kuitenkin huomauttavat, että asiasta tarvitaan lisää tutkimusta, jotta saataisiin lisää tietoa asiasta.

Virtuaalilaboratoriokokeissa Banda ja Nzabahimana (2021) eivät anna mitään suoria ohjeita tai vaiheita siitä, miten simulaatioita käytetään hyödyllisesti tässä yhteydessä. He esittelevät muiden tutkimuksien tuloksia, joissa kerrotaan, miten virtuaalilaboratorioita voidaan käyttää hyödyksi oppilaiden käsitteen muodostumisen ja ymmärtämisen parantamisessa. Yksi näistä tutkimuksista oli Faourin ja Ayoubin (2018) tekemä tutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako virtuaalilaboratorion käyttäminen oppilaiden tasavirran käsitteistön ymmärtämiseen sekä miten virtuaalilaboratorion

käyttäminen opetuksessa vaikuttaa oppilaiden mielipiteeseen fysiikasta oppiaineena ja asenteeseen fysiikkaa kohtaan. Heidän mukaansa virtuaalilaboratoriota käyttävät oppilaat ymmärsivät tasavirtapiirin toimintaa kontrolliryhmää paremmin vain kahdessa kohdassa heidän käyttämässään luokittelussa. Kontrolliryhmä teki samat tehtävät perinteisellä laitteistolla, mitä virtuaalilaboratorioita käyttänyt ryhmä teki käyttäen PhET tasavirtapiirilaboratoriota (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025c). Virtuaalilaboratoriot tukivat oppilaiden ymmärrystä tasavirran mikroskooppisesta luonteesta. Oppilaat osaavat myös virtuaalilaboratorioiden avulla soveltaa virran suuruuden riippuvuutta patterin aiheuttamasta potentiaalierosta ja piirin resistanssista. Oppilaiden mielipiteeseen fysiikasta oppiaineena ja heidän asenteeseensa fysiikka kohtaan virtuaalilaboratorioiden käyttämisellä oli merkittävä positiivinen vaikutus, kun taas kontrolliryhmällä ei ollut merkittävää eroa tilanteeseen ennen tasavirtapiirien käsittelyä.

Muissa Bandan ja Nzabahimana (2021) esittelemissä tutkimuksissa havaittiin, että käyttämällä virtuaalilaboratorioita aaltojen ja äänen opettamiseen vaikuttaa oppilaiden kognitiivisiin kykyihin, kuten oppilaiden muistiin, käsitteen oppimiseen, kykyyn soveltaa, analysoida ja arvioida opittua tietoa sekä kehittää kokeellisia taitoja (Maulidah & Prima, 2018). Tässä tutkimuksessa tutkitaan kolmea eri asiaa PhET-simulaatioilla aalto langassa (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025a). Oppilaiden kognitiivisten taitojen kehittymistä tutkitaan kokeiden aikana erilaisilla välineillä, kuten työmonisteilla ja kognitiivisilla testeillä.

Oppimisen oikea-aikaisella tukemisella pyritään auttamaan oppilaita täyttämään aukkoja heidän tiedoissa ja taidoissa siten, että he voivat tehdä annetun työn tai tehtävän loppuun saavuttaen samalla työlle tai tehtävälle asetetut tavoitteet (Banda & Nzabahimana, 2021). Banda ja Nzabahimana (2021) keskittyvät tämän opetusmetodin osaan, joka käsittelee käsitteiden rakentumista (engl. conceptual scaffolding). Simulaatioiden kanssa tämä saa muodon, jota voidaan kutsua ammattilaisen mallinukseksi. Tämä tarkoittaa, että ammattilainen, eli tässä tapauksessa opettaja, keskustelee oppilaiden kanssa siitä, mitä tutkittavan asian puolia heidän kannattaisi ottaa huomioon ratkaistaessa jotain ongelmaa. Toisin sanoin opettaja nostaa oppimistavoitteiden kannalta oleellisia asioita esiin. Yleisiä löydöksiä tutkimuksista, joita Banda ja Nzabahimana (2021) analysoivat olivat, että simulaatioiden käyttö tässä opetusmetodissa vahvistaa oppilaiden käsitteiden ymmärtämistä, ja auttaa heitä saavuttamaan merkityksellistä oppimista, mitä

simulaatioiden visuaalisuus tukee. Tutkimuksissa, jotka koskevat simulaatioiden käyttämistä oppimisen oikea-aikaisen tukemisen osana, on epäjohdonmukaisuuksia tuloksissa. Siksi saadut tulokset eivät ole täysin luotettavia (Banda & Nzabahimana, 2021). Tämä johtuu osittain tutkimuksissa käytetyistä pienistä otannoista, minkä takia Banda ja Nzabahimana suosittelivatkin uusia tutkimuksia suuremmilla otannoilla.

Lisäksi kirjallisuudessa annetaan erilaisia ohjeita simulaatioiden hyödyntämiseen. Girwidz ja Kohnle (2021) antavat opettajille kahdeksan osaisen ohjeen simulaatioiden käyttöön, jonka he ovat luoneet Wiemanin ym. (2010) artikkelin pohjalta. Nämä ohjeet ovat seuraavanlaiset:

- 1) Määritellään selkeä oppimistavoite
- 2) Kannustetaan oppilaita päättämään ja selittämään itse
- 3) Rakennetaan oppilaiden jo olemassa olevan tiedon päälle
- 4) Kytetään tutkittavat asiat oikean maailman ilmiöihin ja todellisiin kokemuksiin
- 5) Tuetaan rakentavaa yhteistyötä oppilaiden välillä
- 6) Ei rajoiteta liikaa oppilaiden luovuutta ja tutkimisen halua
- 7) Vaaditaan oppilailta perustelua monipuolisilla esitystavoilla
- 8) Auttaa oppilaita seuraamaan omaa ymmärrystään tutkittavasta ilmiöstä

Käytännössä kaikki nämä ohjeet sopivat myös perinteisten kokeiden tekemiseen ja osa näistä ohjeiden kohdista on nostettu esille muissakin julkaisuissa. Esimerkiksi Hämäläinen (2017) mainitsi selkeiden tavoitteiden asettamisen tärkeyden opettajille ja oppilaille. Lisäksi näissä ohjeissa painotetaan oppilaan omaa toimintaa, ajattelua ja luovaa työskentelyä. Tällaista työskentelyä tukee Stillerin ym. (2017) ehdottamat avoimet tehtävät oppilaiden motivoimiseksi kokeelliseen työskentelyyn.

Simulaatioiden heikkouksina voidaan pitää mm. seuraavanlaisia asioita: Simulaatiot perustuvat fysiikan teorioiden mukaan laskettuihin tuloksiin, minkä takia niillä eivät voi korvata perinteisiä kokeellisia töitä (Girwidz ym., 2021). Simulaatiot eivät ota huomioon kaikkia tutkittavaan ilmiöön liittyviä tekijöitä, jolloin jonkinlainen riippuvuus eri asioiden välillä voi jäädä huomaamatta (Pucholt, 2021). Simulaatiot antavat valmiiksi alustan, jossa kokeet voidaan suorittaa, Girwidzin ym. (2021) mainitsemista kokeellisen taitojen tavoitteista sopivanlaisen koejärjestelyn rakentaminen jää pois (Pucholt, 2021). Tämä viimeinen kohta eliminoi laitteistosta johtuvat systemaattiset virheet, mitä voidaan ajatella sisällön oppimisen kautta simulaatioiden vahvuutena, mutta kokeellisten taitojen

kanssa tämä on selvä heikkous. Missä tahansa kokeellisessa tieteessä on hyvä oppia, mitä virhelähteitä mittauksiin voi liittyä, miten niitä voi tunnistaa ja miten niitä voidaan korjata. Esimerkiksi virtapiirejä tutkiessa voi oppijaryhmällä olla käytössä viallinen johdin, minkä takia virtaa ei kulje piirissä. Tällöin oppijoiden olisi hyvä tunnistaa vaihtoehtoja, mistä ongelma voisi johtua ja pohtia miten ongelma saataisiin korjattua.

1.4. Tutkimuksia oppimateriaaleista

Oppikirjojen analysointi on hyvin yleistä opinnäytetöissä (Karvonen ym., 2017). Esimerkiksi UTUPubissa tehdyn haun perusteella pelkästään Turun yliopistolta on ilmestynyt aikavälillä 2018–2025 yli kymmenen oppikirjoja ainakin osittain tutkivaa pro gradu -tutkielmaa eri aloilta fysiikasta historiaan. Haussa käytettiin asiasanana sanaa ”oppikirja”. Oppikirjoja tutkivat muutkin kuin opinnäytteitään tekevät opiskelijat. Tutkimusta niistä yleensä tekevät sekä kasvatuksen, opetuksen ja oppimisen tutkijat, että historioitsijat, sosiologit ja kielentutkijat (Karvonen ym., 2017). Oppikirjojen analysointia voidaan tehdä hyvin monipuolisesti. Joissain oppikirja-analyyseissä voidaan tutkia minkälaista maailmankuvaa oppikirjoilla rakennetaan, kun taas toiset voivat keskittyä tutkimaan oppikirjojen kieltä tai kuinka opettajat niitä käyttävät (Karvonen ym., 2017). Maailmankuvan analysoinnissa on yksistään paljon mahdollisia lähtökohtia. Esimerkiksi näissä voidaan tutkia millä tavalla eri sukupuoliä esitetään kirjojen tekstissä ja kuvissa (Koskinen, 2019; Palmu, 2003). Edellä mainitut tavat tutkia oppikirjoja pätevät yleisesti kaikkiin mahdollisiin oppikirjoihin ja ne ovat vain muutama esimerkki mahdollisista tavoista tutkia oppikirjoja.

Jokaisella oppiaineella on omanlaisiaan sisältöjä, joita voidaan tutkia analysoimalla oppikirjoja. Fysiikassa oppikirjoista voidaan tutkia esimerkiksi kuvien käyttöä lämpöopin oppikirjoissa luokittelemalla kuvia käyttötarkoitusten mukaan (Lintu, 2022), kuinka hyvin oppikirjat vastaavat sisällöltään opetussuunnitelman perusteita (Kostian, 2018) tai pohdintaa tehtävätyypeistä ja niiden jaottelua (Suomi, 2021). Viimeisin kohta on lähimpänä tämän tutkielman aihetta, sillä analysoiduissa kirjoissa simulaatiot esiintyvät yleensä jonkin tehtävän yhteydessä, jolloin tämä tehtävä vaikuttaa tehtyyn analyysiin.

Simulaatioiden käyttöä koskevia oppikirja-analyyseja ei löydy suomeksi, eikä englanniksi, eli tutkimuksia on vähän tai ei ollenkaan. Muutama mahdollinen syy tutkimuksien puuttumiselle voi olla, että digikirjat ovat Suomessa suhteellisen uusi ilmiö, minkä takia niistä ei ole ehditty tekemään niin paljon tutkimusta kuin painetuista kirjoista

eikä simulaatiota välttämättä ollut aluksi otettu osaksi digikirjoja. Painetuissa kirjoissa simulaatioita on hankalaa ottaa suoraan mukaan osaksi kirjaa.

2. Simulaatiot, tietotekniikka ja kokeellisuus opetussuunnitelmissa

2.1 Perusopetuksen opetussuunnitelma

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) puhutaan paljon epäsuoraan kokeellisuudesta. Eräs tällainen epäsuorasti kokeellisuutta koskeva osuus on monipuolisten työtapojen käyttäminen. Monipuolisia työtapoja voidaan käyttää erilaisiin tarkoituksiin, kuten tuottamaan oppilaille oppimisen iloa, tukemaan heidän luovaa toimintaa, parantamaan heidän motivaatiansa ja tietenkin myös auttaa oppilaita oppimaan. Työtapojen valintaan vaikuttaa mm. oppilaiden tarpeet, kiinnostuksen kohteet, oppimiselle asetetut tavoitteet ja oppiaineiden erityispiirteet (Opetushallitus, 2014). Fysiikan ja muiden luonnontieteiden erityispiirteenä voidaan pitää kokeellisuutta.

Kokeellisuus tulee epäsuorasti esille myös laaja-alaisen kokonaisuuden yhteydessä (Opetushallitus, 2014). Yksi laaja-alainen osa, joka voidaan kytkeä kokeellisuuteen, käsittelee turvallisuutta, minkä mukaan oppilaita tulee ohjata ennakoimaan vaaratilanteita ja toimimaan niissä oikealla tavalla sekä saada heidät ymmärtämään, että omalla toiminnalla vaikutetaan oman turvallisuuden lisäksi myös muiden turvallisuuteen (Opetushallitus, 2014). Kokeellisissa töissä tämä on erittäin tärkeä kohta, koska niissä voidaan käyttää mahdollisesti vaarallisia työvälineitä, kuten kaasupoltinta, jotka väärinkäytettyinä voivat aiheuttaa vaaratilanteita oppilaalle itselleen ja muille tilassa oleville henkilöille. Vaikka tämä turvallisuusnäkökulma liittyy vahvasti fysiikkaan ja kokeellisuuteen, simulaatioiden kanssa sen merkitys pienenee käytännössä olemattomaksi. Toinen kokeellisuuteen liittyvä laaja-alainen kokonaisuuden osa käsittelee ryhmätyötaitojen kehittämistä, koska usein kokeellisia töitä tehdään ryhmä- tai paritöinä.

Fysiikan kokeellisen luonteen takia jokaisessa fysiikan sisältöalueessa voidaan käyttää kokeellista työskentelyä oppimisen tukena (Opetushallitus, 2014). Yksi sisältöalueista on omistettu kokonaan luonnontieteellisen tutkimuksen tekemiseen, missä ohjeistetaan valitsemaan muista sisältöalueista oppilaita kiinnostavia sopivia aiheita joko tarkasti ohjeistettuihin töihin tai avoimiin tutkimuksiin (Opetushallitus, 2014). Tämän ideana on tutustuttaa oppilaita luonnontieteellisen tutkimuksen eri vaiheisiin. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) kerrotaan, että tutkimuksellinen lähestymistapa tukee oppilaiden käsitteiden oppimista, mistä useat tutkimukset ovat samaa mieltä (Girwidz ym., 2021; Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001).

Kokeellisuutta voidaan käyttää opetuksen eriyttämisen välineenä. Tällöin oppilaat voivat toimia erilaisissa rooleissa tutkimuksellisissa töissä (Opetushallitus, 2014). Esimerkiksi opettaja voi laittaa osaamistasoltaan erilaisia oppilaita samaan ryhmään. Ideaalitulanteessa tällaisesta seuraa, että etevämmät oppilaat pystyvät työn aikana tukemaan heikommin osaavia oppilaita, jolloin sekä heikommin osaavat että etevämmätkin oppilaat oppivat tutkimuksen kohteena olevan asian paremmin.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) tieto- ja viestintäteknologiaa kuvaillaan sekä oppimisen kohteeksi että välineeksi. Oppimisen kohteena tieto- ja viestintäteknologiassa on monia arkielämässä hyödyllisiä taitoja, kuten ergonominen työskentely sekä yksityisyyden ja henkilökohtaisten tietojen suojaaminen. Ylipäänsä opetuksen tarkoituksena on opettaa oppilaita käyttämään tieto- ja viestintäteknologiaa vastuullisesti ja turvallisesti sekä kannustaa oppilaita omaaloitteisesti hyödyntämään sitä erilaisissa oppimistehtävissä käyttäen tehtäviin sopivia työtapoja ja -välineitä. Muita tieto- ja viestintäteknologiaan liittyviä kehitettäviä taitoja ovat mm. omien tuotosten tekeminen sekä luovassa että tutkivassa työskentelyssä ja tiedonhallintaan, -käsittelyyn sekä -hakuun liittyvät taidot. Edellä mainitut asiat ja koodaamisen opettelu ovat oppiaineen rajoja ylittäviä kokonaisuuksia, joita harjoitellaan muun opetuksen yhteydessä.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2014) mukaan tieto- ja viestintäteknologia muodostaa oleellisen osan monipuolisista oppimisympäristöistä, joiden avulla pyritään vahvistamaan oppilaiden osallisuutta, yhteistyötaitoja ja tuetaan oppilaiden henkilökohtaisia oppimispolkuja. Tällöin tieto- ja viestintäteknologia muuttuu oppimisen kohteesta oppimisen välineeksi. Se toimii oppimisen välineenä etenkin, jos joudutaan poikkeustilanteissa opettamaan etäyhteyksiä käyttäen. Esimerkkinä poikkeustilanteista perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) annetaan oppilaan pitkään kestänyt sairausjakso.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) mainitaan fysiikalle ominaisista tavoista hyödyntää tieto- ja viestintäteknologiaa käyttämällä sitä kokeellisten tutkimuksen mittauksia tehdessä, tuloksia käsiteltäessä ja mahdollisia tuotoksia esitellessä. Lisäksi mainitaan oppilaan oppimisen tukeminen simulaatioilla.

Simulaatiot mainitaan perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) lyhyesti välineenä tukea oppilaan oppimista. Muita mahdollisia käyttötapoja

simulaatioille ovat niiden käyttäminen oppilaiden henkilökohtaisten oppimispolkujen tukemiseen ja niiden hyödyntäminen muissakin perusopetuksen opetussuunnitelman esittelemissä tieto- ja viestintäteknologiaa käsittelevissä kohdissa sekä perinteisten kokeellisten töiden lisänä. Erityisesti simulaatiot sopivat mahdolliseen etäopetukseen, jolloin saadaan fysiikalle ominaista kokeellisuutta mukaan etäopetukseen. Oppilaita voidaan myös kannustaa hyödyntämään simulaatioita oma-aloitteisesti tehtävissä, jos ne olisivat kyseiseen tehtävään sopivia työvälineitä.

2.2. Lukion opetussuunnitelma

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2019) oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on seurausta opiskelijan omasta aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta. Toiminnalliset tehtävät ja tutkimukset sopivat hyvin tähän oppimiskäsitykseen, sillä ne aktivoivat opiskelijoita tutkimaan erilaisia ilmiöitä ja sitä kautta myös oppimaan ilmiöön liittyviä käsitteitä ja fysiikan lakeja.

Aistit ovat osa lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) mainittua oppimiskäsitystä kielen ja kehollisuuden kanssa. Aistien monipuolinen käyttö on opetussuunnitelman perusteiden mukaan oleellista oppimisen kannalta. Kokeellisuuden avulla voidaan aisteja käyttää monipuolisesti osana fysiikan opetusta. Esimerkiksi ääniä tutkiessa voidaan havaita, miten äänen taajuus vaikuttaa äänen kuulemiseen. Tuntoaistia voidaan käyttää vertaillessa eri pintojen karheutta ja pohtia karheuden merkitystä pintojen kitkakertoimiin. Suurimmassa osassa kokeita on mukana näkemiseen perustuvaa havainnointia. Esimerkkinä erilaisten mittareiden seuraaminen tai selkeästi näkyvät ilmiöt.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) kerrotaan, että opiskeluympäristöjä tulee hyödyntää monipuolisesti opetuksessa. Tutkimukseen ja luovaan ajatteluun pohjautuvan oppimisen mahdollistamiseksi tulee hyödyntää sekä rakennettuja ympäristöä että luontoa (Opetushallitus, 2019). Fysiikan tapauksessa rakennetuista ympäristöistä on mahdollista käyttää esimerkiksi koulun käytäviä, portaikkoja ja koulun pihan rakennettua aluetta. Luonnossa taas voidaan esimerkiksi käyttää lampia.

Laaja-alaisissa kokonaisuuksissa ei mainita tutkimuksellisuutta tai kokeellista työskentelyä suoraan, mutta osa laaja-alaisista kokonaisuuksista voidaan tulkita olevan osa myös tutkimuksellisuutta ja kokeellista työskentelyä (Opetushallitus, 2019).

Ensimmäinen laaja-alainen kokonaisuus, joka on mukana tutkimuksellisessa oppimisessa, on vuorovaikutusosaaminen. Usein tutkimuksia tehdään vuosiluokkien 7–9 tapaan pari- tai ryhmätöinä. Ryhmätyöskentelyssä tarvitaan sekä sosiaalisia- että ryhmätyötaitoja. Samalla niitä voidaan kehittää. Toinen kokonaisuus on hyvinvointiosaaminen. Kokeellisia töitä ja tutkimuksia tehdessä voidaan käsitellä aineita, joilla voi vahingoittaa itseä tai muita opiskelijoita, jolloin opiskelijoiden tulee toimia aktiivisesti sekä omansa että muiden turvallisuuden edistämiseksi. Tämä ei kuitenkaan ole simulaatioiden kanssa oleellista. Viimeinen kokonaisuus on monitieteinen ja luova oppiminen. Monitieteisyyttä voidaan hyödyntää hyvin suunnitellulla tutkimuksella, joka on eri tieteiden rajalla. Esimerkiksi fysiikassa ja kemiassa on mahdollista tehdä tutkimus yhdessä, mikä yhdistelee kumpaakin tiedettä sopivasti. Luovaa oppimista voidaan kehittää myös hyvin suunnitelluilla tutkimuksilla, jotka motivoivat opiskelijaa oppimaan, etsimään uusia merkityksiä ja yhdistelemään asioita uudennlaisilla tavoilla.

Fysiikassa opetuksen yhtenä tavoitteena on tukea luonnontieteellisen ajattelun ja maailmankuvan kehittymistä sekä tutustua fysiikalle ominaiseen kieleen ja käsitteistöön. Kokeellisuus ja tutkimukset muodostavat oleellisen osan luonnontieteellisestä maailmankuvasta, koska luonnontieteet ovat empiirisiä tieteitä (Opetushallitus, 2019). Fysiikan opetuksessa opiskelijan ymmärrys fysiikan käsitteistä rakentuu ja opiskelija ymmärtää niitä sekä kvalitatiivisella että kvantitatiivisella tasolla. Lopullisena tavoitteena on, että opiskelija osaa käyttää fysiikan käsitteitä johdonmukaisesti ja oikeissa asiayhteyksissä.

Ensimmäinen suora maininta kokeellisuudesta koskee fysiikan opetuksen lähtökohtaa (Opetushallitus, 2019). Lähtökohtana fysiikan opetuksessa on ympäristöstä tehdyt havainnot. Kokeellisuuden on tuettava kaikissa muodoissaan käsitteiden ja tutkimisen taitojen oppimista kokonaisvaltaisesti ja kohdennetusti moduulien aiheen mukaan. Tutkimisen taidoista lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) annetaan opiskelijoille saavutettavia tavoitteita. Yhdessä tavoitteessa opiskelijan on ymmärrettävä luonnontieteellisen tiedon luonnetta ja ymmärrettävä tämän tiedon kehittymistä sekä tapoja tuottaa uutta tietoa. Toisessa ideana on, että opiskelija osaa muodostaa kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä ja osaa kehittää kysymyksiä toisten tutkimusten lähtökohdiksi. Lisäksi opiskelijoiden tulee osata suunnitella ja toteuttaa kokeellisia töitä sekä tunnistaa virhelähteiden vaikutuksia mittauksissa.

Moduuleissa voidaan tarkentaa tarpeen mukaan tilanteita, joihin kokeellisuutta kuuluu käyttää. Esimerkkinä moduulissa 1 kerrotaan, että opiskelijat osaavat suunnitella ja toteuttaa yksinkertaisia kokeellisia töitä sekä moduulissa kolme annetaan tavoitteeksi, että opiskelija osaa tutkia ilmiöitä, jotka liittyvät aineiden olomuodon muutoksiin ja termodynaamiseen tilaan (Opetushallitus, 2019). Lisäksi kaikissa moduuleissa annetaan myös valmiita tutkimusideoita, joilla voidaan tutkia moduulien keskeisiä sisältöjä. Esimerkiksi moduulissa 3 ehdotetaan, että moduulin aikana voitaisiin absoluuttinen nollapiste määrittää ekstrapoloimalla.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa kerrotaan (Opetushallitus, 2019), että tieto- ja viestintäteknologian avulla opiskeluympäristöä tulee laajentaa oppilaitoksen ulkopuolelle ja opiskelijaa tulee ohjata ja tuoda mahdollisuuksia hyödyntää erilaisia digitaalisia oppimisympäristöjä, oppimateriaaleja ja työvälineitä tiedonhankintaan, käsittelyyn, arviointiin, tuottamiseen ja jakamiseen sekä yhteisölliseen oppimiseen. Samalla opiskelijoiden tulee oppia hyödyntämään tieto- ja viestintäteknologiaa monipuolisesti sekä itsenäisesti että ryhmän kanssa työskennellessä.

Yhteiskunnallisen ja yksilöllisen osaamisen kehittämistä lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) kerrotaan, että kouluissa tulee pohtia, miten teknologia ja digitalisaatio tukevat yksilöiden ja yhteisöjen kyvykkyksiä. Yksilöiden kyvykkyksien tukemista auttaa se, että yksilöllistä etenemistä ja osaamisen kehittymistä voidaan tukea verkko-opinnoilla.

Fysiikalle ja muille kokeellisille tieteille ominaisista tavoista käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) mainitaan sen käyttäminen kokeellisten havaintojen keräämiseen, mittaustulosten käsittelyyn ja tulkitsemiseen, tuotosten laatimiseen ja esittelemiseen sekä mallintamiseen ja simulointiin.

Simulaatioista ja niiden mahdollista käyttötarkoituksista puhutaan lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) hyvin vähän. Kun simulointi otetaan esille, se liittyy enemmänkin simulointiin, jonka opiskelija on tehnyt tulosten perusteella kuin simulaatioiden hyödyntämiseen opetuksessa. Simulaatioita voidaan kuitenkin hyödyntää tässä kohdassa ja myös muissa kohdissa, joissa mainitaan tieto- ja viestintäteknologian käyttäminen tai kokeellisuus. Esimerkkinä simulaatioita voitaisiin hyödyntää oppimisympäristön laajentamisessa oppilaitoksen ulkopuolelle ja kehittäessä

opiskelijan taitoja hyödyntää digitaalisia oppimisympäristöjä tiedon hankintaan, arviointiin sekä tuottamiseen opettajan antamien simulaatioita sisältävien kotitehtävien tai kotona tehtävien projektien avulla. Simulaatioita voi ylipäänsä käyttää mahdollistamaan fysiikassa lukion opetussuunnitelman perusteissa mainittu vaihtoehto verkko-opinnoista, jolloin verkko-opintoihinkin saadaan jonkinlainen kokeellisuuden kaltainen osa.

Näitä peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa mainittuja tapoja hyödyntää kokeellisuutta sekä tieto- ja viestintäteknologiaa etsitään oppikirjoissa esiintyvistä simulaatioista, ja pohdintaan kuinka hyvin nämä simulaatiot täyttävät opetussuunnitelmien perusteissa annettuja ehtoja ja tavoitteita.

3. Tutkimuskysymykset

Tämän tutkielman on tarkoitus tutkia simulaatioiden käyttöä suomalaisissa digitaalisissa oppikirjoissa ja vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten kirjantekijät hyödyntävät simulaatioita kokeellisuuden lähtökohdista?
2. Miten niiden käyttö vastaa kirjallisuudessa esitettyjä tapoja hyödyntää simulaatioita ja kokeellisuutta?
3. Miten simulaatioiden käyttö digitaalisissa oppikirjoissa vastaa opetussuunnitelmien perusteissa esitettyjä tapoja hyödyntää tieto- ja viestintäteknologiaa ja kokeellisuutta?

Ensimmäiseen kysymykseen vastaus pyritään selvittämään suoraan laadullisella sisällönanalyysillä, josta kerrotaan lisää kappaleessa 4. Toiseen kysymyksen kanssa käytetään samaa analyysiä ja verrataan analyysistä saatuja tuloksia kirjallisuuteen, jolloin selviää, että käytetäänkö simulaatioita oppikirjoissa kirjallisuudessa toimivaksi havaitulla tavalla. Viimeisen kysymyksen kanssa vertaillaan saatuja tuloksia ja oppikirjojen tehtäviä peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2014, 2019) annettuihin tapoihin hyödyntää kokeellisuutta ja tieto- ja viestintäteknologiaa.

4. Analyysimenetelmä

4.1. Tutkimusmateriaali

Tutkittavaksi materiaaliksi valikoituivat Otavan ja Sanomapron kustantamat vuosiluokkien 7–9 ja lukion sähköiset oppikirjat fysiikasta. Sanomapron digikirjat olivat käytössä 7.12.2023-30.4.2024 ja Otavan digikirjat olivat käytössä 27.11.2023-30.4.2024.

4.2. Tutkimusmenetelmä

4.2.1. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi

Tuomi ja Sarajärvi (2009) kertovat, että sisällönanalyysiä voidaan pitää sekä yksittäisenä laadullisen tutkimuksen metodina että väljänä teoreettisena kehyksenä, joka on liitettävissä useisiin erilaisiin analyysikonaisuuksiin. Heidän mukaansa sisällönanalyysia käyttäen voidaan tehdä monenlaista tutkimusta ja sen kohteena voi olla kirjoitettu aineisto, haastattelu tai jokin nähty aineisto.

Tuomi ja Sarajärvi (2009) esittelevät yleisen kuvauksen sisällönanalyysistä, jossa kerrotaan sisällönanalyysin etenemisestä. Tätä heidän esittelemäänsä tapaa käytetään tämän tutkimuksen tekemisessä. Ensimmäisenä vaiheena on päättää mikä tutkimuksen aineistossa kiinnostaa. Toista vaihetta kutsutaan aineiston litteroinniksi tai koodaamiseksi. Tässä vaiheessa aineisto käydään läpi ja siitä erotetaan, merkitään ja kerätään erilleen kaikki kiinnostukseen kuuluvat asiat. Kolmannessa vaiheessa jäljelle jäänyt aineisto luokitellaan, teemoitetaan tai tyypitellään. Tämä vaihe ymmärretään yleensä varsinaisena analyysina. Neljäs ja viimeinen vaihe on yhteenvedon kirjoittaminen.

Laadullinen analyysi jaetaan kolmeen eri muotoon: aineistolähteiseen, teoriaohjaavaan ja teorialähtöiseen analyysiin. Aineistolähtöisessä analyysissa aiempi teoria ei vaikuta analyysiyksikköjen (luokkien, teemojen tai tyyppien) luomiseen vaan ne ovat suoraan aineistosta lähtöisin. Teorialähtöisessä analyysissa lähtökohtana on taas jokin valmis teoria, malli, tms., jonka perusteella voidaan luoda analyysiyksiköt. Teoriaohjaava analyysi pyrkii olemaan näiden kahden välimuoto, jossa on teoreettisia kytkentöjä, mutta ei pohjaudu suoraan teoriaan. Toinen tapa, miten teoria yhdistetään teoriaohjaavaan analyysiin, on teorian käyttäminen apuna analyysin ohjaamisessa. (Tuomi & Sarajärvi, 2009)

Tämä tutkielma toteutetaan teorialähtöisesti. Tutkimuksessa käytettyä teoriaa esitellään osiossa 1.1 ja käydään osittain uudelleen läpi osiossa 4.2.3, kun esitellään tutkimuksessa käytetyt luokat ja kuvaillaan luokkien käyttöä simulaatioiden kanssa.

Hyvin yksinkertaisessa luokittelussa aineistoista määritellään luokkia ja lasketaan, kuinka kertaakaan monta jokainen luokka esiintyy aineistossa (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Tässä tutkielmassa ei kuitenkaan käytetä tätä yksinkertaisinta muotoa, vaan pohditaan, kuinka hyvin jokainen simulaatio sopii jokaiseen määriteltyyn luokkaan asteikolla 0–3. Asteikolla 0 tarkoittaa, että simulaatio ei sovi luokkaan ollenkaan. Tällä asteikolla 3 taas tarkoittaa, että simulaatio sopii luokkaan erittäin hyvin.

4.2.2. Tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksen tekeminen eteni seuraavalla tavalla:

1. **Analyysiluokkien tekeminen.** Aluksi luotiin teorian avulla analyysissä käytettävät luokat
2. **Oppikirjojen käyminen läpi.** Tässä vaiheessa oppikirjoista etsittiin kaikki tehtävät ja teoriaosuuksien kohdat, joissa oli simulaatioiden kaltaisia digitaalisia apuvälineitä, kuten simulaatioita, animaatioita, interaktiivisia kuvia tms.
3. **Aineiston koodaus ja luokittelu.** Tutkittavaksi materiaaliksi rajataan simulaatiot käyttäen Landriscinan (2013) määritelmää simulaatioille. Tämän jälkeen jokainen simulaatio ja siihen liittyvä konteksti analysoidaan ja määritetään pisteet jokaiselle analyysiluokalle simulaatiokohtaisesti.
4. **Simulaatioiden toinen pisteytys ja kerätyn tiedon käsittely.** Kaikki simulaatiot pisteytetään toisen kerran itsenäisesti samalla luokituksella kuin aiemmin. Näistä eri pisteytyskerroista otetaan keskiarvo. Viimeisenä otetaan vielä kirjasarja kohtaisesti keskiarvo jakamalla edellä mainittu keskiarvo kirjasarjan simulaatioiden määrällä, jolloin saadaan vertailukelpoisempia tuloksia.

4.2.3. Teorialähtöisen analyysin teoria ja aineiston luokittelu

Simulaatioita lähdetään tässä tutkielmassa analysoimaan kokeellisuuden kautta hyödyntäen analyysin tekemisessä Girwidzin ym. (2021) luomia tavoitteita sekä sisällön oppimiselle että kokeellisten taitojen oppimiselle. Nämä tavoitteet esiteltiin osiossa 1.1. Tässä osiossa kuvaillaan tarkemmin, kuinka tavoitteita tulkitaan simulaatioiden kanssa, kerrotaan mitä muokkauksia tavoitteisiin tehtiin, ja annetaan esimerkkejä, miten osiossa 4.2.1 tehty pisteytysjärjestelmää käytetään muutaman luokan kanssa tutkittaessa

perinteisten kokeiden sijaan simulaatioita. Lisäksi esimerkkinä annetaan kaksi hyvin eri tavoin simulaatioita käyttävää esimerkkitehtävää analysoiduista oppikirjoista ja perustellaan tehtävien jokaisen luokan saamat pisteet.

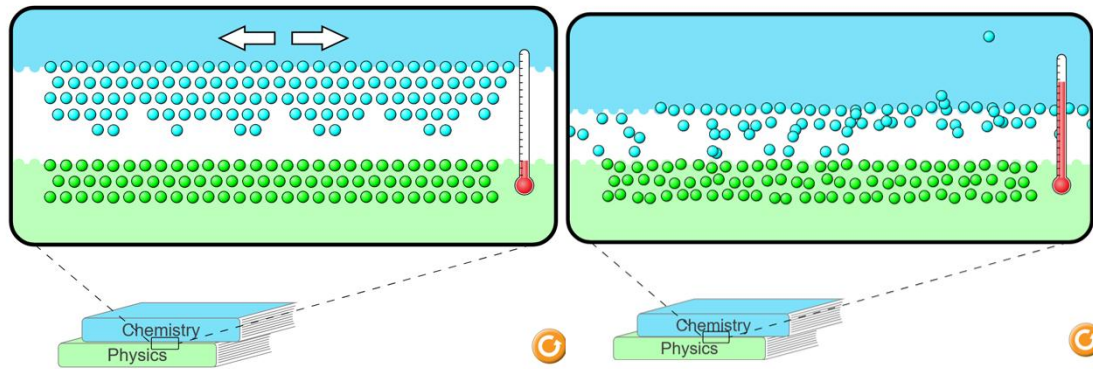
Tutkimuksessa ei ole voitu suoraan käyttää kaikkia Girwidzin ym. (2021) osiossa 1.1. esiteltyjä sisällöllisiä tavoitteita tai kokeellisia taitoja. Osa on muokattu tutkimuksen tarpeisiin paremmin sopivaksi ja osa on jätetty kokonaan pois, koska ne eivät sovi joko oppikirja-analyysin tekemiseen tai simulaatioiden tutkimiseen.

Kokonaan pois jätettiin lähtemättömän vaikutuksen tekeminen, kysymyksen muodostaminen ja sopivanlaisen koejärjestelyn rakentaminen. Lähtemättömän vaikutuksen tekeminen jätettiin pois, koska kirjan perusteella ei voida arvioida, tekeekö jokin simulaatio oppijaan lähtemättömän vaikutuksen. Sen selvittämistä varten pitäisi haastatella oppijoita. Kysymyksen muodostaminen jätettiin pois, sillä kirjoissa annetaan valmiina simulaatioihin liittyvät tehtävät ja kysymykset silloin kun niitä tarvitaan. Toisinaan niitä ei tarvita ollenkaan, mikä riippuu siitä, missä simulaatioita käytetään. Teoriaosuuksissa esiintyvissä simulaatioissa joko havainnollistetaan, mitä tekstissä on käsitelty simulaatioilla tai pyritään antamaan lisää tietoa simulaatioon liitetyillä valmiilla kysymyksillä, jolloin oppijoiden ei tarvitse itse muodostaa kysymyksiä. Tehtävissä esiintyvillä simulaatioilla on taas valmiiksi annetut kysymykset tai tehtävä, joihin vastataan simulaatioiden avulla. Sopivanlaisen koejärjestelmän rakentaminen hylättiin, koska simulaatiot tarjoavat valmiiksi sopivan koejärjestelmän kyseisen tehtävän tutkimuksiin.

Ainoastaan kokeen havainnointia, mittausten tekemistä ja ylös kirjaamista muokattiin jakamalla se kahteen eri luokkaan. Ensimmäinen uusi luokka on pelkästään havainnointi. Toinen uusi luokkaa on mittausten tekeminen ja ylös kirjaaminen. Luokat jaettiin kahteen, koska havainnointia voi tapahtua kokeissa ilman, että niissä suoritetaan mittauksia. Esimerkiksi paineen vaikutusta jään sulamispisteeseen voidaan tutkia ilman mittauksia kiinnittämällä raskas paino rautalankaan ja asettamalla rautalanka jääpalan päälle siten, että paino pääsee roikkumaan vapaasti. Tällöin paino kohdistaa rautalangan kautta jäähän suhteellisen ison paineen, joka sulattaa jäätä. Lopulta rautalanka on mennyt kokonaan jään läpi ja paino putoaa lattialle. Samalla vesi jäätyy uudelleen, kun jääpalaan kohdistunut paine katoaa. Tällöin havaitaan kvalitatiivisesti, että paine laskee veden sulamispistettä.

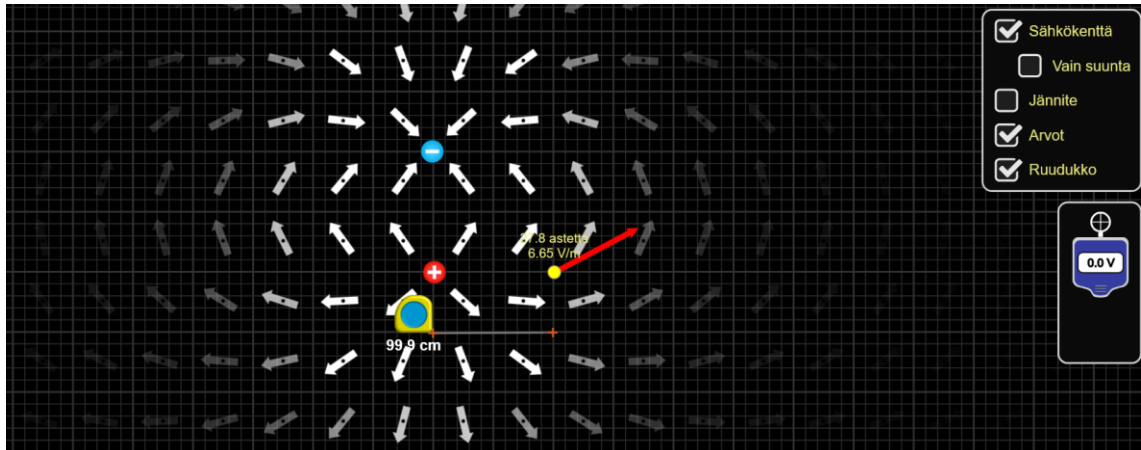
Lopulliset luokat ovat siis fysiikan ilmiön saaminen näkyviin, fysiikan mallien hahmottelu, oppilaiden intuition kehittäminen, fysiikan lakien kokeminen, kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, fysiikan ilmiöihin syventyminen, merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen, fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti, mallintaminen eri tasossa, fysiikan hyödyntämisen demonstroiminen teknologiassa ja jokapäiväisessä elämässä, havainnointi, mittaaminen ja kirjaaminen, lopputulosten tekeminen, hypoteesin tai oletuksen tekeminen sekä viimeisenä luokkana kokeen suunnittelu. Alla kerrotaan, kuinka simulaatioiden käyttöä tutkitaan käyttäen neljää eri luokkaa esimerkkeinä. Tämän jälkeen esitetään vielä kaksi esimerkkitehtävää ja kerrotaan tarkemmin, kuinka pisteytys tehtiin näissä tehtävissä. Kaikki simulaatioita koskevat tulkinnat perustuvat Girwidzin ym. (2021) kuvailuihin kokeellisuuden sisällöllisistä tavoitteista. Näitä kuvailuja on muokattu yleispätevimmiksi ja paremmin simulaatioille sopiviksi. Osa Girwidzin ym. (2021) esittelemistä sisällöllisistä tavoitteista kuvailevista kokeista käytiin läpi osiossa 1.1.

Fysiikan ilmiön näkyviin saaminen on yksinkertaisimpia luokkia arvioida. Tässä luokassa arvioidaan kuinka hyvin simulaatio havainnollistaa tutkittavaa ilmiötä. Esimerkiksi *FyKe*-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) on tehtävä, jossa tutkitaan kitkasimulaatioita (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025d). Tämän toimintaa havainnollistetaan kuvassa 2. Tähän simulaatioon liittyvässä tehtävässä pyydetään havainnoimaan, mitä tapahtuu simulaation lämpömittarille, kun kirjoja hangataan toisiaan vasten. Tehtävän toisessa vaiheessa oppilaita pyydetään selittämään, mitä simulaatiossa tapahtuu. Tämä simulaatio havainnollistaa hyvin, että kitka aiheuttaa pintojen kulumista ja lämpötilan kasvua. Nolla pistettä tähän luokkaan tulee, kun simulaatio havainnollista ilmiötä ollenkaan. Esimerkissä käytettyyn tehtävään voidaan kytkeä myös muita luokkia, kuten fysiikan lakien kokeminen ja mallintaminen eri tasolla.



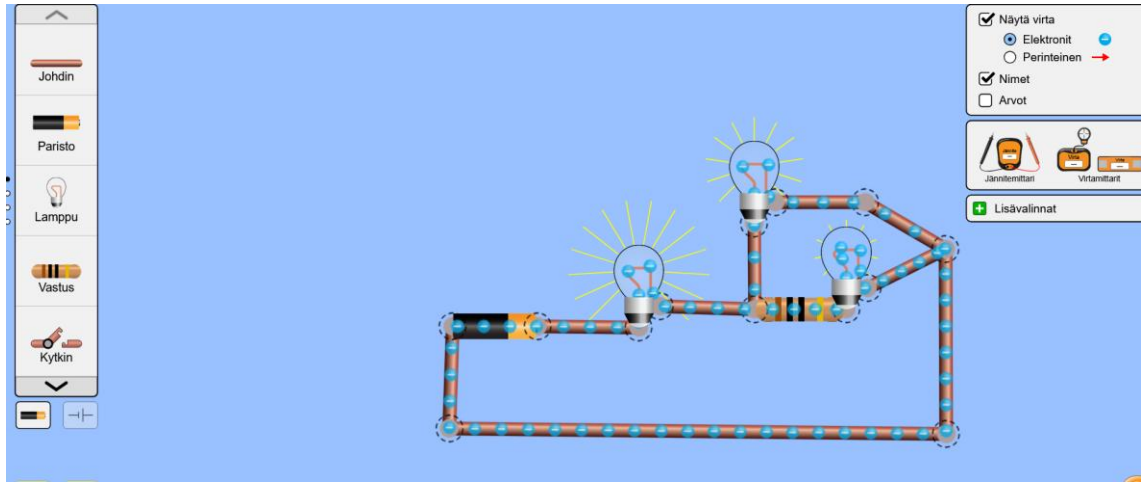
Kuva 2: Simulaatio, jonka avulla saadaan fysiikan ilmiö näkyviin, pystytään ”kokemaan” fysiikan ilmiötä ja mallinnetaan eri tasolla. Vasemmalla on alkutilanne ja oikealla on tilanne hankaamisen jälkeen. (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025d)

Fysiikan mallien hahmottelussa tutkitaan, kuinka hyvin ja ymmärrettävästi simulaatiot esittävät erilaisia fysiikan malleja. Esimerkiksi *Fysiikka FY4 sähkö* -digikirjassa (Andersin ym., 2022) on tehtävä ja simulaatio (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025f), jonka a-kohdassa simulaatiota käytetään havainnollistamaan, miten etäisyys varauksen ja anturin välillä vaikuttaa sähkökentän suuruuteen. B- ja c-kohdat vaativat vähän syvällisempää ymmärrystä. B-kohdassa pohditaan, miten sähkökentän voimakkuuden suuruudeksi saadaan 0 V/m kahden varauksen avulla jossain pisteessä. C-kohdan tarkoituksena on selvittää, minkälaisen voimavektorin kaksi eri merkkistä itseisarvoltaan 1 nC varaukset kohdistavat kolmanteen pistevaraukseen, jonka suuruus on $+0,0040 \text{ nC}$. Simulaatiota havainnollistetaan kuvassa 3. Samaan kuvaan on merkitty näkyviin tehtävän c-kohdan varauksien paikat. Nolla pistettä tulee tästä luokasta, kun simulaatioissa ei käytetä mitään fysiikan mallia tai niitä käytetään todella epäselvällä tavalla.



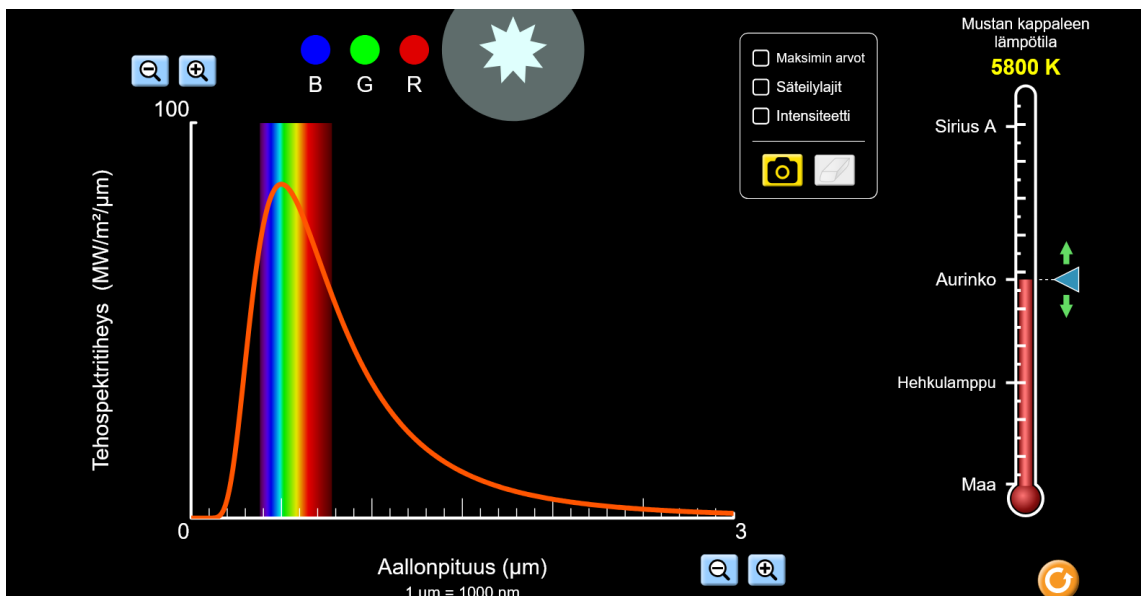
Kuva 3: Simulaatio, jossa havainnollistetaan fysiikan malleja (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025f). Simulaatioon on merkitty näkyviin esimerkkitehtävän c-kohdassa käytettävät varauksien paikat.

Oppilaiden intuition kehittämistä arvioidaan simulaatioiden kanssa pohtimalla, kuinka hyvin tehtävät ja siihen liittyvät simulaatiot tukevat oppilaiden intuitiivisen ymmärryksen kasvua tutkittavasta ilmiöstä. Esimerkkinä *Vipu 6* (Kiuru ym., 2022a) kirjassa käytetään piirirakennussarjasimulaatiota (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025c), johon liittyvässä tehtävässä oppilaiden pitää rakentaa virtapiiri, jossa on yksi paristo, yksi vastus, johtimia ja kolme eri kirkkaudella valaisevaa lamppua. Tässä tehtävässä ei tarvitse mitata mitään, vaan hyvällä virtapiirien ymmärryksellä ja intuition johdattelemalla päättelyllä tehtävästä voi selvitä hyvinkin nopeasti. Lisäksi oppilaan mahdollinen yrityksen ja erehdyksen ratkaisutaktiikka auttaa ymmärtämään intuitiivisesti virtapiirien toimintaa. Esimerkkivirtapiiri ja simulaation havainnollistus näkyvät kuvassa 4. Huonosti oppilaan intuitiota kehittävien simulaatioiden piirteitä ovat mm. tehtävien turhan tarkat ohjeet ja simulaation rajoittavuus intuitiiviseen työskentelyyn. Yksi esimerkki on kirjoissa *Vipu 7* (Kiuru ym., 2022b) ja *Fysiikka FY3 Energia ja lämpö* (Andersin ym., 2021c) käytetty simulaatio mustan kappaleen säteilystä (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025b). *Vipu 7* -kirjan tehtävässä katsotaan vain mustan kappaleen säteilyn spektristä, missä kohtaa kunkin kappaleen intensiteettimaksimit ovat, tai pohditaan kappaleen lämpötilaa, kun intensiteettimaksimin paikka tunnetaan. Tätä simulaatiota havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 4: Oppilaan intuition kehittämistä havainnollistava simulaatio (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025c). Samassa kuvassa tehtävän esimerkkipiiri.

Simulaatioiden kanssa fysiikan lakien kokemisessa tutkitaan, kuinka hyvin oppilaan oma toiminta näkyy simulaatiossa, jolloin oppilaat voivat ”kokea” oman toimintansa vaikutuksen tutkittavaan asiaan. Esimerkkinä voidaan käyttää samaa tehtävää *FyKe*-digikirjasta (Lavonen ym., 2024) kuin fysiikan ilmiön havainnollistamisessa. Tässä simulaatiossa oppilaiden oma toiminta näkyy selkeästi lämpömittarin lukeman nousuna, kemian kirjan pinnan kulumisena ja hiukkasten suurempana liikkeenä.



Kuva 5: Havainnollistus Mustan kappaleen säteily -simulaatiosta (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025b)

Esimerkkinä simulaatiosta, jossa oppilaan oma toiminta ei näy käytännössä ollenkaan, on mustan kappaleen säteilyä havainnollistava PhEt-simulaatio (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025b). Tämä simulaatio täyttää kaikki simulaatioiden ehdot, mutta toisin kuin kitkasimulaatiossa, oppilaat eivät pysty näkemään selkeästi oman toimintansa vaikutusta, kun he liikuttelevat simulaation säädintä. Lisäksi tämä simulaatio havainnollistaa huonosti fysiikan ilmiötä, koska itse ilmiötä simulaatiossa ei havainnollisteta kovin hyvin. Simulaatiossa näkyy vain ilmiöön liittyviä käyriä ja värinmuutoksia riippuen intensiteettimaksimin paikasta. Havainnollistus tästä simulaatiosta on kuvassa 5.

Seuraaviin esimerkkitehtäviin valittiin tehtäviä oppikirjoista, joiden kaikkien luokkien pisteiden summat ensimmäisessä pisteytyksessä eroavat mahdollisimman paljon toisistaan, ja molemmissa tehtävissä käytetään Phet-simulaatioita. Kummankin tehtävän luokkakohtaiset pisteet on kirjattu taulukkoon 1. Pisteet eivät ole absoluuttisia, ja ne saattavat erota pisteytyskertojen välillä useissa kohdissa, mutta tässä keskitytään vain ensimmäiseen pisteytykseen ja pyritään perustelemaan mahdollisimman hyvin pisteiden logiikkaa.

Taulukko 1: Esimerkkitehtävien pisteet luokittain ensimmäisessä analyysissä

	Esimerkkitehtävä 1	Esimerkkitehtävä 2
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	1
Fysiikan mallien hahmottelu	2	2
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	2
Fysiikan lakien kokeminen	2	0
Kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	1
Käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	1
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	2	1
Merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	2
Fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	1
Mallintaminen eri tasossa	0	0
Demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	2	0
Havainnointi	2	2
Mittaus ja kirjaaminen	3	1
Kerätyn tiedon käsittely	3	0
Lopputulosten tekeminen	3	1
Hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	0
Kokeen suunnittelu	3	0
Pisteiden summa	30	15

Esimerkkitehtävä 1 on *Fysiikka FY5 Jaksollinen liike ja aallot* -digikirjasta (Andersin ym., 2024). Tässä tehtävässä käytetään tasapainotussimulaatiota (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025e). Kuva 6 havainnollistaa tätä simulaatiota. Tehtävässä opiskelijoiden kuuluu selvittää simulaation arvoituskappaleiden A, B ja C massat tasapainottamalla keinulautaa käyttäen vastapainona vain 20 kg punnusta.

Tässä tehtävässä tutkittava fysiikan ilmiö on tasapainoehto voimien momenttien suhteen. Tämä saadaan simulaatioissa todella hyvin näkyviin. Simulaatio saa tästä luokasta kolme pistettä. Tämä simulaatio havainnollistaa tasapainon mallia. Tätä voisi simulaatioissa parantaa, jos siinä saisi kappaleiden painon aiheuttamat momentit näkyviin. Simulaatio saa kaksi pistettä tästä luokasta.

Simulaatiolla voidaan kehittää oppilaiden intuitiota tasapainosta suhteellisen hyvin. Hyvä intuitio voi huomattavasti nopeuttaa systeemin saamista tasapainoon, sillä lauta liikkuu hitaasti, kun kappaleet ovat lähellä tasapainoasemaa ja nopeammin, kun ne ovat kaukana siitä. Osittain tämän saman asian takia simulaatio auttaa kokemaan fysiikan lakeja. Tämä simulaatio saa molemmista luokista kaksi pistettä.

Tällä simulaatiolla ei pyritä ollenkaan testaamaan kvalitatiivisesti teoreettisia ennusteita, vaan tällä pyritään kvantitatiivisesti testaamaan fysiikan lakeja. Tämä simulaatio saa kvalitatiivisesta luokasta nolla pistettä ja kvantitatiivisesta luokasta kolme pistettä.

Tehtävällä ei pyritä myöskään aloittamaan käsitteellistä muutosta, vaan tarkoituksena on enemmänkin syventyä tasapainoon ilmiönä. Käsitteellisen muutoksen aloittamisesta simulaatio saa nolla pistettä ja fysiikan ilmiöön syventymisestä se saa kaksi pistettä.

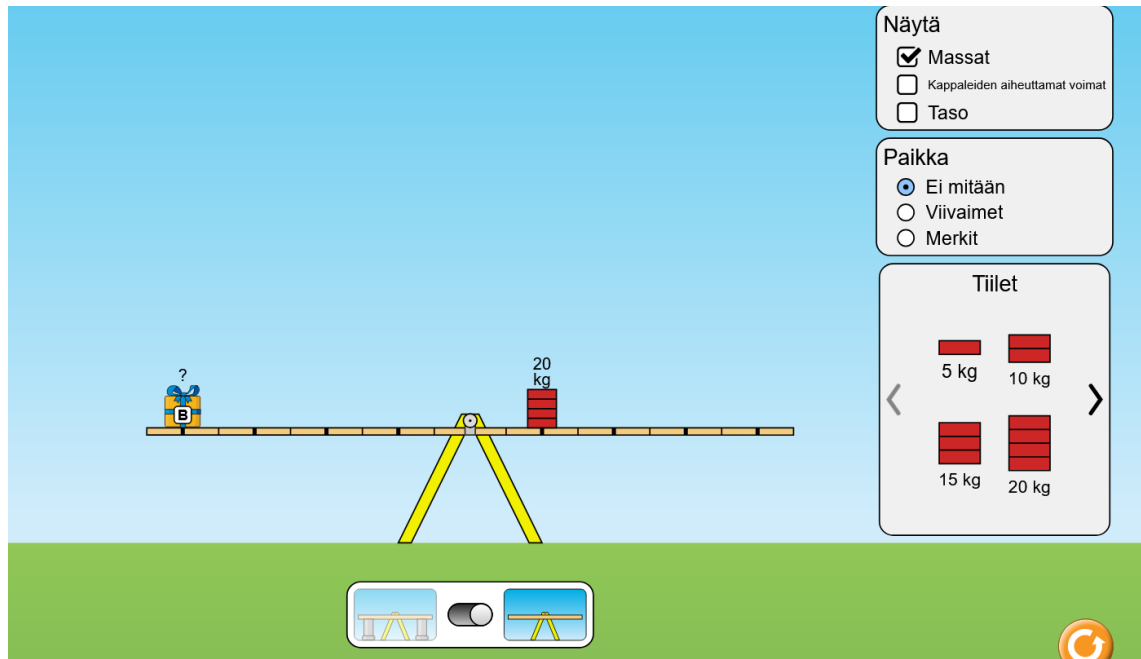
Tässä simulaatiossa ei suoraan tutustuta mihinkään historialliseen kokeeseen, eli se saa nolla pistettä tästä luokasta. Tämä simulaatio ei mallinna mitään eri tasossa, joten tämä luokka saa nolla myös pistettä.

Fysiikan hyödyntäminen jokapäiväisessä elämässä saa kaksi pistettä, koska se havainnollistaa todella hyvin perinteisten puntarin toimintaa. Se ei saa kuitenkaan kolmea pistettä, koska perinteisten puntareiden käyttö on nykyään harvinaista, eivätkä opiskelijat siksi osaa yhdistää simulaatioita puntareihin. He eivät välttämättä ole koskaan nähneet sellaista.

Kokeellisissa taidoissa kaikki paitsi havainnointi ja hypoteesin tekeminen saa kolme pistettä. Havainnointi saa kaksi pistettä, koska sitä tarvitaan vain varmistamaan, milloin systeemi on tasapainossa. Muutoin simulaatio keskittyy vahvasti vipuvarsien pituuksien mittaamiseen. Hypoteesin tai ennusteen tekeminen sai tässä tapauksessa nolla pistettä. Tämä johtuu siitä, että hypoteesin tekeminen on turhaa arvoituskappaleiden massan selvittämisen kannalta. Simulaatiosta tehdyt mittaukset eivät anna suoraan tehtävään vastausta, vaan opiskelijoiden pitää laskea momenttien tasapainoehdot käyttäen toisen kappaleen massa, eli mittaustuloksia pitää käsitellä ennen kuin voidaan tehdä lopputulos.

Tämän simulaation kohdalla opiskelijat voivat suunnitella rajoitetusti, miten mittaukset suoritetaan. Mahdollinen opiskelijoiden tekemä koesuunnitelma tähän tehtävään voisi sisältää mm. seuraavia asioita: kokeiltavat aloituspaikat kappaleille, miten kappaleita

kannattaa liikuttaa, jos systeemi ei ole tasapainossa, ja valmis yhtälö, jolla voidaan suoraan laskea arvoituskappaleiden massat.



Kuva 6: Esimerkkitehtävässä 1 käytetty simulaatio tasapainossa käyttäen arvoituskappaletta B (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025e)

Esimerkkitehtävä 2 on Vipu 7 -digikirjasta (Kiuru ym., 2022b). Tehtävässä käytettävä simulaatio kuvaa mustan kappaleen säteilyä (PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2025b), jota havainnollistetaan kuvassa 4. Tämä tehtävä esiteltiin jo aiemmin, mutta ei kovin tarkasti, joten tehtävää kuvaillaan vähän tarkemmin tässä. Simulaation liittyvä tehtävä on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa opiskelijan pitää vain paikallistaa hehkulampun, Auringon ja Sirius A-tähden intensiteettimaksimien paikat. Toisessa kohdassa opiskelijan tulee katsoa, mikä on säteilijän lämpötila, kun sen intensiteettimaksimin paikka tunnetaan. Viimeisessä kohdassa opiskelijan tulee havainnoida, mitä säteilyn spektrille tapahtuu, kun säteilylähteen lämpötilaa muutetaan.

Tämä simulaatio ja tehtävä sai nolla pistettä seuraavista luokista: Fysiikan lakien kokeminen, mallintaminen eri tasossa, fysiikan hyödyntämisen demonstroiminen teknologiassa tai jokapäiväisessä elämässä, kerätyn tiedon käsittely, hypoteesin tai oletuksen tekeminen ja kokeen suunnittelu.

Fysiikan lakien kokemisessa käytettiin aiemmin tätä samaa simulaatioita huonona esimerkkinä, ja perustelut nolalle pisteelle kirjoitettiin tämän esimerkin yhteyteen.

Tämä simulaatio mallintaa ilmiötä vain kuvaajan ja muuttuvalla valon värillä, joten sitä ei voi laskea mallintamiseksi eri tasoilla.

Tämä simulaatio ei havainnollista ollenkaan, miten tätä ilmiötä voitaisiin hyödyntää jokapäiväisessä elämässä, vaikka siellä onkin hehkulamppu yhtenä mahdollisena mustana kappaleena. Se ei kuitenkaan anna mitään tapaa hyödyntää tutkittavaa ilmiötä arjessa, mutta kytkee ilmiön opiskelijoiden elämään jollain tavalla.

Simulaatioista saatua tietoa ei tehtävässä käsitellä ollenkaan, minkä takia tämä simulaatio saa tästä luokasta nolla pistettä.

Koetta ei pysty suunnittelemaan ollenkaan, koska tehtävänanto on rakennettu kuin resepti, jota vain seurataan. Tällainen tehtävänanto ei myöskään tue hypoteesin tai oletuksen tekemistä.

Yhden pisteen saivat fysiikan ilmiön saaminen näkyviin, kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, fysiikan ilmiöihin syventyminen, fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti, mittaus ja kirjaaminen sekä lopputulosten tekeminen. Tämä simulaation voidaan tulkita tuomaan ilmiö näkyviin, mutta se tekee näyttämällä vain tuloksina saadut käyrät.

Tämän tehtävän viimeisessä kohdassa voidaan kvalitatiivisesti varmentaa teorian ennuste käyrän muodosta ja intensiteettimaksimien paikan siirtymisestä, mutta se on vain yksi kohta kolmesta, joka toteuttaa tämän luokan ehdot jollain tapaa.

Kaksi aiempaa kohtaa taas pyrkivät testaamaan kvantitatiivisesti fysiikan lakeja saamalla opiskelijat havainnoimaan intensiteettimaksimien aallonpituuksia ja kappaleen lämpötilaa. Näissä kohdissa ei kuitenkaan ole mitään aktiivista lakien testaamista, minkä takia tämä luokka saa yhden pisteen.

Tällä simulaatioilla pyritään auttamaan mustan kappaleen käsitteen ymmärtämistä. Tehtävän muotoilu ei kuitenkaan tue kovin hyvin käsitteellisen muutoksen aloittamista, sillä opiskelijat voivat tehdä tehtävän kuin reseptiä seuraten ilman ajattelemista. Ainoastaan viimeisessä kohdassa opiskelijat voivat joutua ajattelemaan, kun he kuvailevat spektrin muutosta säteilijän lämpötilan muuttuessa.

Fysiikan ilmiöön syventyminen sai yhden pisteen, koska tämä simulaation tehtävän viimeinen kohta voi johdattaa opiskelijoita tutustumaan mustan kappaleen säteilyyn syvemmin.

Tämän tehtävän viimeisessä osassa tarkoituksena on vain havainnoida kuvaajan muuttumista eri lämpötilan arvoilla, jolloin mittaamista ei tarvitse suorittaa. Ensimmäisessä kohdassa voidaan tehdä mittaukset intensiteettimaksimien paikasta, joten tämä luokka saa yhden pisteen. Tätä simulaatiota käytetään osana tehtävää ja sen takia siitä tehdään jonkinlaiset lopputulokset.

Kaksi pistettä saivat Fysiikan mallien hahmottelu, merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen ja havainnointi. Tällä simulaatioilla pyritään havainnollistamaan ideaalista mallia mustasta kappaleesta esittelemällä sen säteilyn spektrejä.

Merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen saa kaksi pistettä, koska simulaation avulla tutustutaan mustaan kappaleeseen, jota klassinen fysiikka ei voinut selittää. Tämän ilmiön tutkiminen johti lopulta kvanttimekaniikan syntymiseen. Tämä luokka ei kuitenkaan saa kolmea pistettä, koska simulaatio havainnollistaa vain ilmiötä eikä koetta, jolla ilmiötä on joskus tutkittu.

Havainnointi saa kaksi pistettä, koska tehtävässä pitää havainnoida muutamia asioita. Etenkin tehtävän viimeisessä kohdassa opiskelijat havainnoivat spektrin kuvaajan muutoksia tarkasti. Muissa tehtävän kohdissa havainnoinnin rooli ei ole yhtä merkittävä.

5. Tulokset ja pohdinta

5.1. Simulaatioiden käyttö oppikirjoissa

Taulukkoon 2 on kirjattu simulaatioiden määrät kirjakohtaisesti sekä kaikkien analysoitujen kirjojen simulaatioiden kokonaismäärä. Lopulta tutkimuksessa analysoitiin 109 simulaatioita ja niihin liittyvää tehtävää tai simulaation muuta kontekstia.

Taulukko 2: Kirjakohtaisesti löydetty simulaatiot ja niiden yhteenlaskettu määrä

Kirja	Simulaatioiden määrä
<i>Titaani 7-9</i> (Heinonen ym., 2016)	0
<i>Vipu 1-2</i> (Kiuru ym., 2021a)	0
<i>Vipu 3</i> (Kiuru ym., 2021b)	4
<i>Vipu 4</i> (Kiuru ym., 2021c)	3
<i>Vipu 5</i> (Kiuru ym., 2021d)	5
<i>Vipu 6</i> (Kiuru ym., 2022a)	3
<i>Vipu 7</i> (Kiuru ym., 2022b)	6
<i>Vipu 8</i> (Kiuru ym., 2023)	1
<i>Ilmiö 7-9 Fysiikka</i> (Lehto ym., 2024)	9
<i>FyKe 7-9 Fysiikka</i> (Lavonen ym., 2024)	17
<i>Fysiikka FY1</i> (Andersin ym., 2021a)	1
<i>Fysiikka FY2</i> (Andersin ym., 2021b)	0
<i>Fysiikka FY3</i> (Andersin ym., 2021c)	21
<i>Fysiikka FY4</i> (Andersin ym., 2021d)	6
<i>Fysiikka FY5</i> (Andersin ym., 2024)	16
<i>Fysiikka FY6</i> (Andersin ym., 2022)	11
<i>Fysiikka FY7</i> (Andersin ym., 2023a)	5
<i>Fysiikka FY8</i> (Andersin ym., 2023b)	1
Yhteensä	109

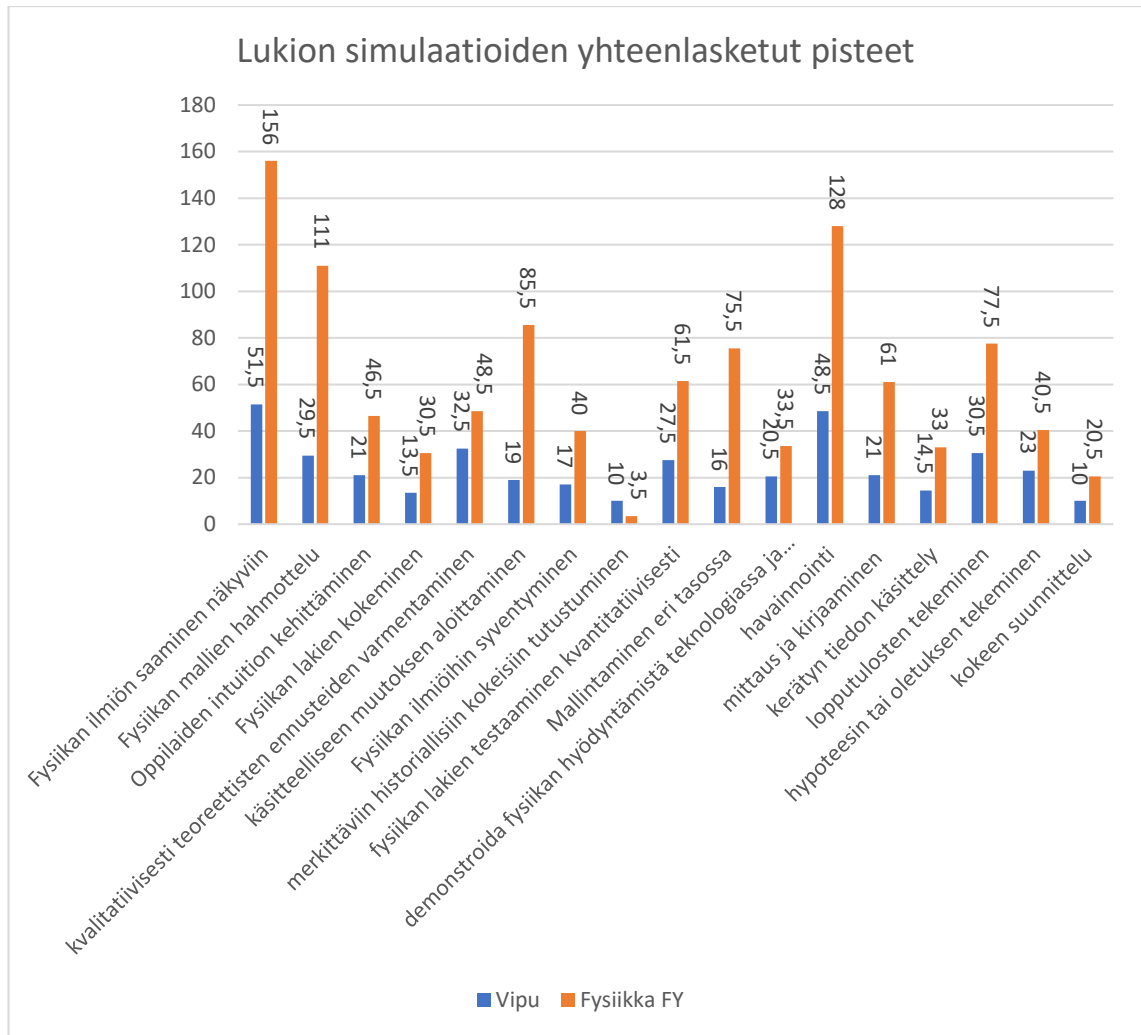
Ensimmäiset eroavaisuudet kirjantekijöiden tavoissa käyttää simulaatioita ilmenevät taulukossa 2. Heinonen ym. (2016) eivät ole käyttäneet yhtään simulaatioita kirjassaan, kun taas Lehdon ym. (2024) kirjassa oli yhdeksän simulaatioita ja Saaren ym. (2024) kirjassa simulaatioita oli 17.

Taulukon 2 avulla voidaan laskea, kuinka monta simulaatioita löytyy eri lukiofysiikan kirjasarjoista. Fysiikka-kirjasarjassa (Andersin ym., 2021a–2024) on yhteensä 61 simulaatioita ja Vipu-kirjasarjassa (Kiuru ym., 2021a–2023) on yhteensä 22 simulaatiota. Simulaatioiden määrästä löytyy ensimmäinen selkeä ero tavoista käyttää niitä

kirjasarjojen välillä. Andersinin ym. (2021a–2024) kirjoittamassa kirjasarjassa simulaatioita on melkein kolminkertainen määrä verrattuna Kiurun ym. (2021a–2023) kirjoittamaan sarjaan.

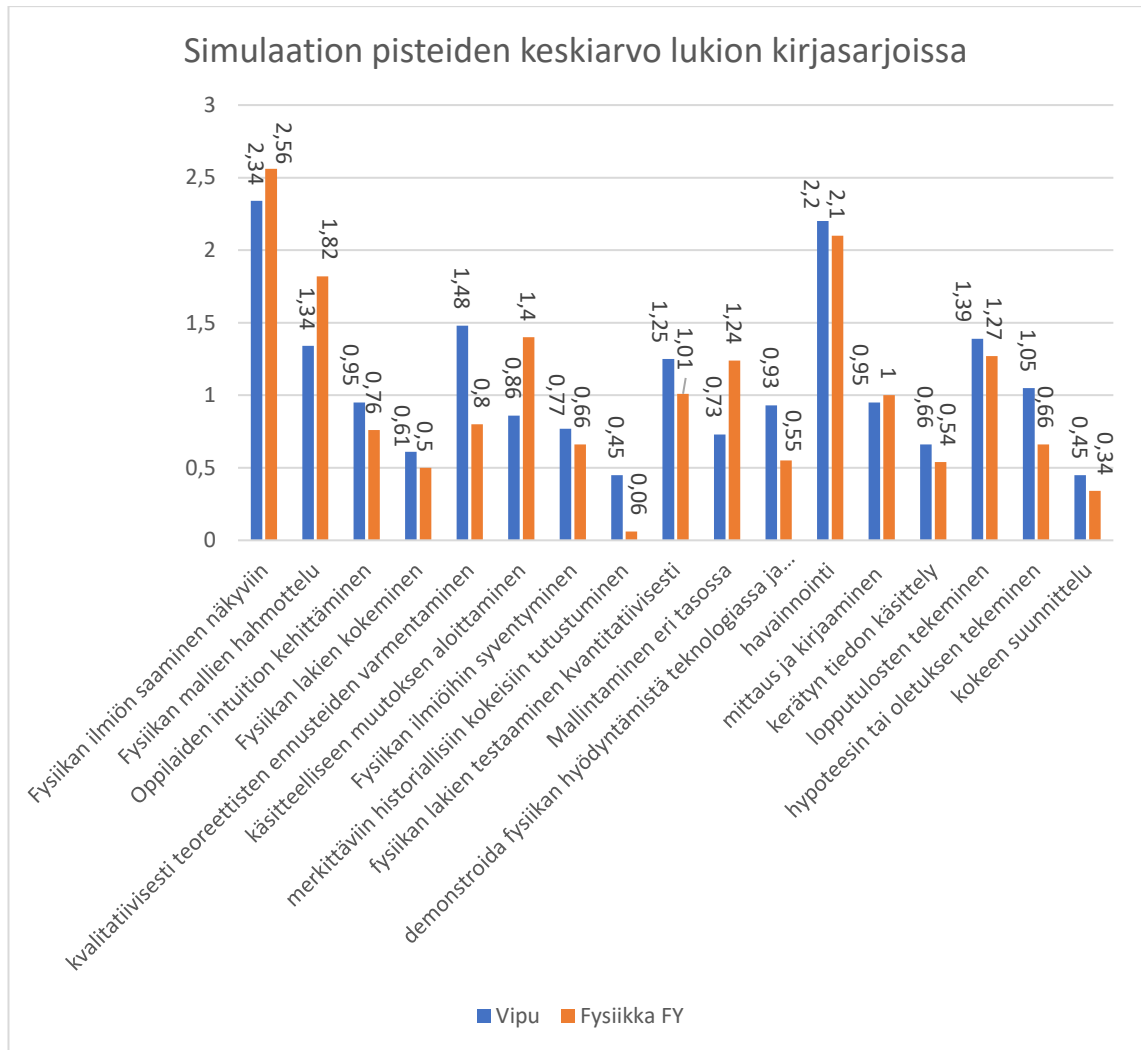
Tehtyjen analyysien perusteella on piirretty kahden tyyppisiä pylväsdiagrammeja. Ensimmäisessä diagrammitypissä esitellään lukion tulokset kirjasarjoittain ja vuosiluokkien 7–9 tulokset kirjoittain siten, että diagrammeissa näkyvät kaikkien kirjan tai kirjasarjan simulaatioiden yhteenlasketut pisteet jokaisesta analyysiluokasta. Vuosiluokkien 7–9 tuloksissa ei näy Heinosen ym. (2016) tekemää kirjaa, sillä kyseisessä kirjassa ei ollut yhtään simulaatioita. Toisessa diagrammitypissä otetaan keskiarvo jakamalla kaikki kirjan tai kirjasarjan simulaatioiden luokittain yhteenlasketut pisteet kyseisen kirjan tai kirjasarjan simulaatioiden määrällä, jolloin saadaan vertailukelpoisempia tuloksia. Kaikkien diagrammien tekemisessä käytetään laskettuja keskiarvoja molempien analyysien tuloksista. Nämä diagrammit ovat kuvissa 7–10 ja kaikki alkuperäiset analyysitaulukot löytyvät liitteistä.

Kuvat 7–10 ja taulukko 2 vastaavat suoraan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Näiden kuvien avulla vertaillaan simulaatioiden käytön eroja kirjojen tai kirjasarjojen välillä kouluasteittain. Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan myös kuvien 7–10 avulla, ja pohtimalla seuraavia asioita kirjallisuuden avulla: Mille tiedontasoille (Girwidz ym., 2021; Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001) simulaatiot sijoittuvat? Kuinka hyvin oppikirjoissa hyödynnetään simulaatioiden vahvuuksia ja vältetään niiden heikkouksia?



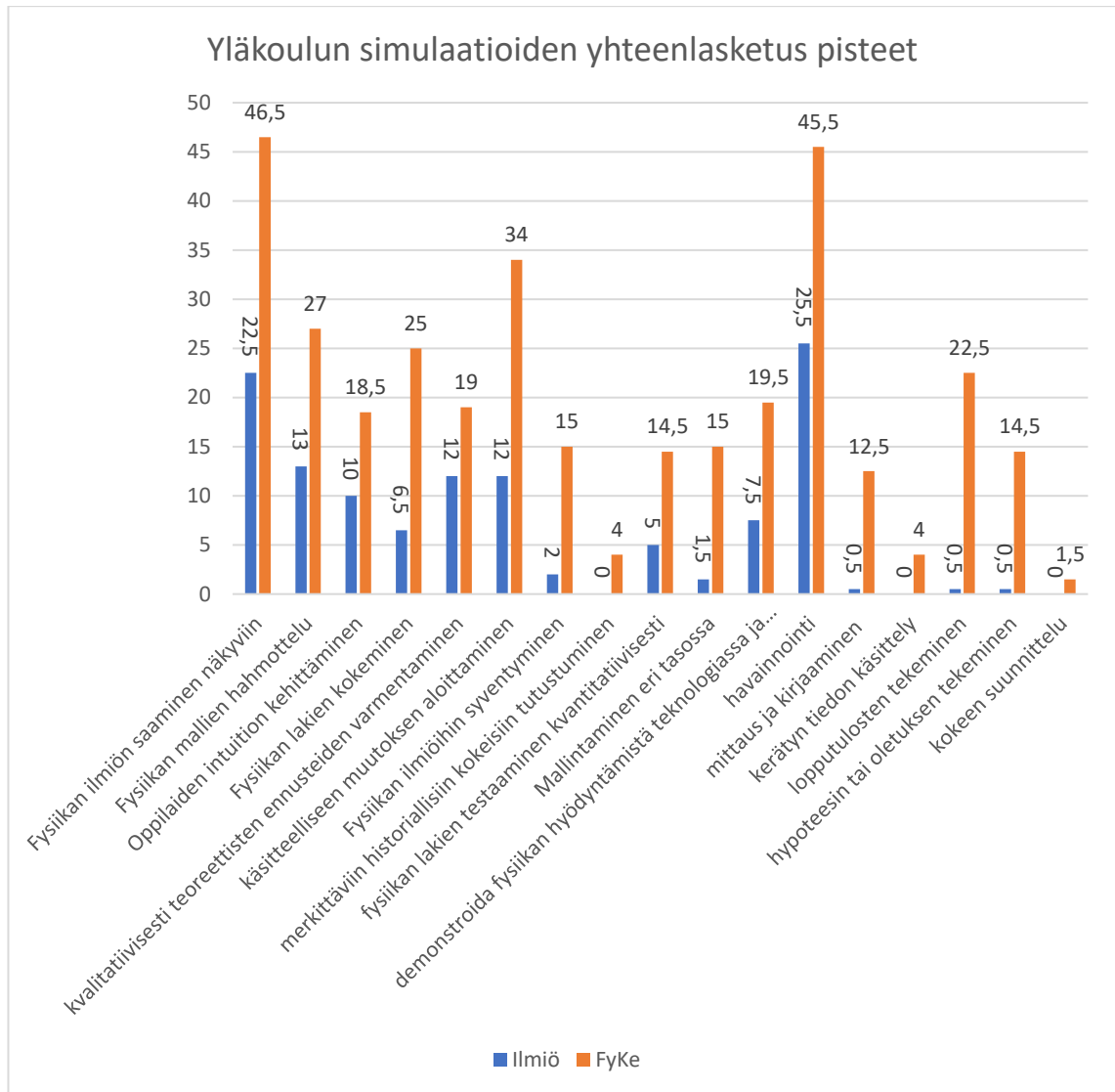
Kuva 7: Lukion kirjasarjojen kaikkien simulaatioiden yhteenlasketut pisteet

Kuvassa 7 näkyvät lukion kirjasarjojen kaikkien simulaatioiden yhteenlasketut pisteet luokittain. Kuvassa merkityt pisteet ovat ensimmäisen ja toisen analyysin keskiarvot. Kuvasta nähdään, että näiden kirjasarjojen pisteiden jakaumat ovat samankaltaisia, vaikka simulaatioiden määrässä ja siten myös pisteissä on huomattavia eroja. Sekä Kiuru ym. (2021a–2023) että Andersin ym. (2021a–2024) painottavat simulaatioiden avulla sisällöllisistä tavoitteista fysiikan ilmiöiden saamista näkyviin. Kokeellisissa taidoissa kumpikin kirjasarja painottaa ilmiön havainnointia eniten. Kiinnostavana erona kirjasarjojen välillä voidaan pitää sitä, että Kiuru ym. (2021a–2023) saivat vähemmällä simulaatioilla enemmän pisteitä kuin Andersin ym. (2021a–2024) merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustumisesta.



Kuva 8: Simulaation pisteiden keskiarvo luokittain lukion kirjasarjoissa kahden desimaalin tarkkuudella

Kuvan 8 keskiarvolla tehdyn suhteutuksen avulla nähdään vertailukelpoisemmin Kiurun ym. (2021a–2023) ja Andersinin ym. (2021a–2024) tapoja käyttää simulaatioita kirjasarjoissaan. Merkittäviä eroja simulaatioiden käytössä kirjasarjojen välillä löytyy luokista fysiikan mallien hahmottelu, kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen, mallintaminen eri tasossa, demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja jokapäiväisessä elämässä sekä hypoteesin tai oletuksen tekemisessä. Muuten keskiarvot ovat lähellä toisiaan.



Kuva 9: Vuosiluokkien 7–9 kirjojen kaikkien simulaatioiden yhteenlasketut pisteet luokittain

Vaikka *FyKe*-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) simulaatioiden määrä on melkein kaksinkertainen kuin *Ilmiö*-digikirjassa (Lehto ym., 2024), voidaan kuvasta 9 tehdä muutamia johtopäätöksiä. Suurimpana erona havaitaan, että kokeellisten taitojen puolella *Ilmiö*-digikirjassa ainoastaan ilmiön havainnointi saa merkittävästi nolasta eroavat pisteet. Lehto ym. (2024) eivät siis pyri käyttämään simulaatioita käytännössä ollenkaan kokeellisten taitojen opettamiseen.



Kuva 10: Simulaation pisteiden keskiarvo luokittain vuosiluokkien 7–9 kirjoissa kahden desimaalin tarkkuudella

Kuvasta 10 nähdään, että suuria poikkeavuuksia kirjojen välillä on luokissa fysiikan lakien kokeminen, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, fysiikan ilmiöihin syventyminen, mallintaminen eri tasolla ja kaikissa kokeellisten taitojen tavoitteissa paitsi ilmiön havainnoimisessa. Muuten keskiarvojen jakaumat ovat samankaltaisia.

Simulaatioiden käyttö oppikirjoissa vaihtelee tekijöiden mukaan, mutta yhteistä kaikkien oppikirjojen tavoissa käyttää simulaatioita, on niiden käyttäminen eniten havainnollistamaan fysiikan ilmiöitä. Kokeellisten taitojen puolelta kaikki analysoidut kirjat painottavat eniten ilmiön havainnointia. Kuvista 8 ja 10 nähdään, että nämä luokat saavat yli kahden pisteen keskiarvon sekä lukiassa että peruskoulussa. Yhteistä on myös, että simulaatioita ei käytetä kovin paljon oppikirjoissa tutustuttamaan oppijoita merkittäviin historiallisiin kokeisiin tai kokeellisten taitojen puolelta kokeiden suunnitteluun. Etenkin vuosiluokkien 7–9 puolella kokeiden suunnittelun keskiarvot ovat

pieniä. Lehdon ym. (2024) kirjassa tämä on nolla ja Saaren ym. tekemässäkkin kirjassa se poikkeaa nolasta vain 0,09 pisteellä.

5.1.1. Simulaatioiden vahvuuksia kirjoissa

Suurta eroa sisällöllisten tavoitteiden puolelta kirjojen tavoissa käyttää simulaatioita on kuvien 7–10 mukaan luokissa käsitteellisen muutoksen aloittaminen ja mallintaminen eri tasossa. Kokeellisten taitojen osalta *Ilmiö*-digikirja (Lehto ym., 2024) on selkeä poikkeus, koska siinä niitä ei painoteta niitä lähes ollenkaan. Lukion kirjasarjoissa (Andersin ym., 2021a–2024; Kiuru ym., 2021a–2023) niiden käyttö on hyvin samanlaista, mutta *FyKe*-digikirjassa painotetaan vähemmän kokeen suunnittelua ja kerätyn tiedon käsittelyä. Suuri vaihtelevuus kirjojen ja kirjasarjojen välillä mallintamisessa eri tasolla on hämmentävää, sillä tämä on mainittu kirjallisuudessa yhdeksi merkittäväksi simulaatioiden eduksi perinteisiin kokeisiin nähden (Girwidz & Kohnle, 2021; Pucholt, 2021; Wieman ym., 2010). Ainoastaan *Ilmiö*-digikirja ei hyödynnä tämän luokan suhteen simulaatioiden tarjoamia mahdollisuuksia kovin hyvin. Muissa analysoiduissa digikirjoissa simulaatioiden avulla mallinnettiin eri tasolla tapahtuvia ilmiöitä selvästi enemmän.

Simulaatioiden vahvuuksia, joita tässä tutkielmassa on analysoitu, on eri tasoilla mallintamisen lisäksi monia muitakin. Niitä ovat vaihtoehtoisuus oppilastöille välineiden puuttuessa, simulaatioon vaikuttavien tekijöiden muuttamisen helppous, käyttäminen kohdennetusti ilmiöiden tutkimiseen ja mahdollisuus tehdä fyysisiä kokeita muuallakin kuin kouluissa (Girwidz ym., 2021; Girwidz & Kohnle, 2021; Wieman ym., 2010). Osa simulaatioiden mahdollisuuksien toteuttamisesta riippuu opettajien päättämästä tavasta käyttää niitä, jolloin pelkkä oppikirjan tutkiminen ei anna koko kuvaa niiden käytöstä opetuksessa. Oppikirjat voivat kuitenkin luoda opettajille mahdollisuuksia käyttää näitä vahvuuksia. Esimerkiksi oppikirjoissa simulaatioita voidaan käyttää tehtävien yhteydessä, jolloin opettaja voi antaa simulaatiotehtävän kotitehtäväksi, jonka avulla voidaan tutustua seuraavaan aiheeseen tai vahvistaa aiemman aiheen osaamista (Wieman ym., 2010).

Simulaatioiden käytön yleisyys vaihtoehtona kokeellisille töille vaihtelee koulukohtaisesti käytettävissä olevien resurssien mukaan. Oppikirjoja käytetään resurssiltaan monipuolisissa kouluissa, joten on parempi olettaa, että kouluilla on käytössä pienet resurssit, ja käyttää simulaatioita esittämään myös töitä, joita voitaisiin

tutkia myös perinteisillä kokeellisilla töillä. Toinen syy simulaatioiden käytölle vaihtoehtoina kokeellisille töille on simulaatioiden käytön nopeus (Pucholt, 2021). Mahdollisen resurssien puutteen takia lämpölaajenemista havainnollistetaan muutamassa oppikirjassa simuloidulla kaksoismetalliliuskalla (Andersin ym., 2021c; Lehto ym., 2024). Muitakin ilmiöitä havainnollistaessaan kirjantekijät käyttävät simulaatioita esittämään niitä vaihtoehtona kokeellisille töille. Esimerkiksi lukiokirjat käyttävät simulaatioita valon taittumisen tai heijastumisen opettamiseen (Andersin ym., 2024; Kiuru ym., 2021d). Tämä vahvuus, kuten moni muukin simulaatioiden vahvuuksista, näkyy parhaiten, jos simulaatio on jonkin tehtävän yhteydessä. Kuitenkaan *Ilmiö-digikirjassa* (Lehto ym., 2024) mikään simulaatio ei ole suoraan minkään tehtävän osana vaan irrallisina sivuhuomautuksina kirjan teoriaosassa.

Kaikki analysoidut kirjat käyttivät hyödyksi tutkimukseen vaikuttavien muuttujien muuttamisen helppoutta (Girwidz & Kohnle, 2021). Tämä selittyy jo tutkimuksessa käytetyn simulaation määritelmän avulla, joka vaatii simulaatioilta interaktiivisuutta (Landriscina, 2013). Tutkimukseen vaikuttavien muuttujien helppouden hyödyntämisessä on eroja eri simulaatioiden välillä. Esimerkiksi *Fysiikka FY3 Energia ja lämpö* -digikirjassa Andersin ym. (2021c) käyttävät teoriaosuudessa paljon simulaatioita, joissa pystytään muokkaamaan vain yhtä ilmiöön vaikuttavaa muuttujaa, kun taas toisissa simulaatioissa muokattavia muuttujia on enemmän. Yhden muuttujan simulaatioit rajoittavat huomattavasti sitä, mitä simulaatioilla pystyy tekemään.

Mahdollisuus simulaatioiden käyttämiseen muualla kuin koulussa vaatii käytännössä sitä, että simulaatiot ovat oppikirjoissa osa tehtäviä. Suurimmassa osassa analysoituja kirjoja simulaatioita käytetäänkin tehtävissä. *Ilmiö-digikirja* (Lehto ym., 2024) muodostaa poikkeuksen, joka mainittiin aiemmin. Eli tätä mahdollisuutta kaikki kirjat paitsi *Ilmiö* hyödyntävät hyvin.

Simulaatioiden käyttäminen kohdennetusti tietyn ilmiön tai ongelman tutkimiseen voi olla Pucholtin (2021) mukaan sekä vahvuus että heikkous. Se voi olla vahvuus, koska simulaatiot rajaavat tutkimuksen ulkopuolelle virhelähteet ja muita ilmiön tutkimista häiritseviä asioita. Heikkous siitä tulee, kun rajataan jokin hyödyllinen riippuvuus simulaation ulkopuolelle. Oppikirjoissa voidaan tehtävien ja teoriaosan hyvällä ohjaamisella parantaa tämän hyviä puolia ja rajoittaa negatiivisia puolia. Eräs tapa, jolla tätä voitaisiin tehdä, on käyttää Bandan ja Nzabahiman (2021) esittelemää

ongelmapohjaisen oppimisen kehystä oppikirjojen tehtävien suunnitteluun. Kuvien 6–9 luokista todennäköisemmin tätä vahvuutta käyttää sellaiset kirjat, jotka ovat saaneet hyvin pisteitä fysiikan ilmiöihin syventymisestä, sillä tässä luokassa tehtävä on todennäköisimmin suunniteltu tavalla, joka ottaa simulaatioista kaiken mahdollisen irti kyseisen ilmiön tutkimisessa. Näin tapahtuu molemmissa lukion kirjasarjoissa ja *FyKe 7–9 fysiikka* -digikirjassa (Andersin ym., 2021a; Kiuru ym., 2021a; Lavonen ym., 2024). Kaikki näiden kirjojen simulaatiot eivät kuitenkaan ota tätä samalla tavalla huomioon.

Simulaatioiden vahvuuksia siis hyödynnetään kirjoissa pääasiassa hyvin, mutta poikkeuksia löytyy. Kaikissa kirjoissa hyödynnetään jollain tavoilla seuraavia vahvuuksia: näkymättömien tai vaikeasti havaittavien ilmiöiden havainnollistaminen, oppilastöiden korvaaminen simulaatioilla välineiden puuttuessa ja tutkimukseen vaikuttavien parametrien muuttamisen helppous (Girwidz & Kohnle, 2021; Pucholt, 2021; Wieman ym., 2010). Parhaiden oppimistulosten saavuttaminen simulaatioilla vaatii oppikirjojen lisäksi oikeanlaista tukea opettajilta ja järkevien opetusstrategioiden käyttämisestä. Suurimassa osassa kirjoja hyödynnetään simulaatioiden käyttämistä kohdennetusti tietyn ilmiön tai ongelman tutkimiseen ja mahdollisuutta simulaatioiden hyödyntämiseen koulun ulkopuolella, mutta nämä vahvuudet puuttuvat kokonaan *Ilmiö-*digikirjasta (Lehto ym., 2024). Näidenkin vahvuuksien hyödyntämisessä opettajan toiminnalla on merkittävä rooli, ja opettajat voivat omalla toiminnallaan hyödyntää simulaatioiden vahvuuksia, joita ei välttämättä oppikirjoissa hyödynnetä.

5.1.2. Simulaatioiden heikkouksia kirjoissa

Muita simulaatioiden kirjallisuudessa mainittuja heikkouksia ovat niiden perustuminen fysiikan lakien avulla laskettuihin tuloksiin ja tiettyjen kokeellisten taitojen kehittämisen puutteet (Girwidz ym., 2021; Pucholt, 2021). Simulaatioiden omia heikkouksia pyritään paikkaamaan fysiikan oppikirjoissa tarjoamalla myös kokeellisia töitä tehtäväksi. Simulaatiot perustuvat fysiikan lakien avulla laskettuun tietoon, mitä voitaisiin hyödyntää vertailemalla täysin kokeellisesti kerättyä tietoa ja simulaatioista kerättyä tietoa Girwidzin ym. (2021) esittämän tavan mukaisesti. Tällä tavalla tulisi kehitettyä myös virhelähteiden vaikutuksen arviointia ja sopivanlaisen koejärjestelyn rakentamista sekä muita kokeellisia taitoja, joita pelkästään simulaatioiden kanssa ei pysty kehittämään (Girwidz ym., 2021; Pucholt, 2021). Huonoja puolia on, että tällainen työskentely vie todella paljon aikaa. Tämä tapa vaatii myös opettajalta paljon vaivannäköä etenkin, jos kirjoista ei löydy perinteistä koetta ja simulaatiota samasta aiheesta. Tällöin opettaja

joutuu suunnittelemaan joko simulaatioita vastaavan kokeen tai etsiä koetta vastaavan simulaation, jos opettaja haluaa hyödyntää perinteistä kokeellisuutta ja simulaatioita Girwidzin ym. (2021) esittelemällä tavalla.

5.2. Simulaatioiden tiedontasot

Osiossa 1.2.2. Girwidzin ym. (2021) esittelemät sisällölliset tavoitteet jaettiin tiedontasojen mukaan kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen tiedontasoon sekä molempia tiedontasoja tilanteen mukaan käyttäviin ja kokonaan tiedontasojen ulkopuolille jääviin tavoitteisiin. Täysin kvalitatiiviset luokat olivat ilmiön saaminen näkyviin, oppilaiden intuition kehittäminen ja kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen. Täysin kvantitatiivisia luokkia ovat fysiikan ilmiöihin syventyminen ja kvantitatiivisesti fysiikan lakien testaaminen. Molemmille tiedontasoille kuuluvat luokat ovat fysiikan mallien hahmottelu, käsitteellisen muutoksen aloittaminen, merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen ja mallintaminen eri tasossa. Näiden tiedontasojen ulkopuolelle jäävät fysiikan lakien kokeminen sekä fysiikan hyödyntämisen demonstroiminen teknologiassa ja jokapäiväisessä elämässä.

5.2.2. Simulaatioiden tiedontasot perusopetuksessa

Kuvien 9 ja 10 perusteella *Ilmiö 7–9* -digikirjassa (Lehto ym., 2024) kvalitatiiviset luokat saivat selkeästi enemmän pisteitä ja suuremmat keskiarvot verrattuna kvantitatiivisiin luokkiin. Kvalitatiiviset luokat sekä luokat, jotka voivat tilanteen mukaan olla molempia, ovat kaikki kuvassa 9 kolmen pisteen päässä 10 pisteestä. Tässä ei oteta huomioon fysiikan ilmiön saamista näkyviin, koska se poikkeaa kaikissa kuvissa 7–10 selvästi muista sisällöllistä tavoitteista. Kirjassa olevaa kontekstia katsottaessa huomataan, että mikään simulaatio ei ole suoraan tehtävän yhteydessä, vaikka osaa simulaatioista voidaankin hyödyntää tehtävissä.

Tämän kirjan kaikki simulaatiot esiintyvät kirjan teoriaosassa ja suurin osa niistä pyrkii havainnollistamaan jotain fysiikkaan liittyvää ilmiötä kvalitatiivisesti. Lehdon ym. käyttämä kvalitatiivinen lähestymistapa sopii hyvin Hämäläisen (2017) ja Kuposen ym. (2001) näkemykseen käsitteiden syntymisestä kvalitatiivisina. Tämä vaatii kuitenkin opettajan ohjausta simulaatioiden käytön kanssa. Simulaatioiden käyttö kvantitatiivisilla tasoilla on vähäistä, minkä takia tässä kirjassa ei voi kiinnittää huomiota käsitteiden siirtymiseen kvalitatiiviselta tasolta kvantitatiivisille tasoille Kuposen ym. (2001) ja Mäntylän sekä Hämäläisen (2015) esittelemillä kvantifioivilla kokeilla.

Tätä kirjaa käyttäessä opettajien on kiinnitettävä erityistä huomiota ohjaukseen simulaatioita käyttäessään, koska kirjan ohjaus on puutteellista. Jos opettajat eivät omalla toiminnallaan korjaa tätä puutetta, voi se heikentää oppilaiden oppimistuloksia (Girwidz ym., 2021). Puutteellinen ohjaus voi myös aiheuttaa sen, että oppilaiden motivaatio ja innostus ei riitä näiden simulaatioiden oma-aloitteeseen käyttämiseen, jolloin kirjan simulaatiota voidaan ohittaa ilman, että niitä edes avataan. Muutenkaan muusta sisällöstä irrallinen simulaatio ei tue oppilaiden motivaation kasvua fysiikkaa tai sen opiskelua kohtaan, vaikka tarjoaakin itseohjautuvuusteorian mukaisen mahdollisuuden autonomiseen työskentelyyn (Stiller ym., 2017). Tällaisessa tilanteessa autonomia onkin ainut itseohjautuvuusteorian kolmesta motivaatioon vaikuttavasta tekijästä, mikä toteutuu tämän kirjan avulla. Kyvykkyyden tunteen puuttuminen on ongelmallista, koska kyvykkyyden tunnetta kokevat oppilaat ovat yleensä motivoituneempia muuhunkin opiskeluun (Stiller ym., 2017). Tässä tilanteessa oppilaille ei tule pelkästään kirjan avulla selväksi simulaation käyttötarkoitus (Girwidz & Kohnle, 2021; Hämäläinen, 2017), minkä takia opettajan on kiinnitettävä huomiota siihen, että tämä tarkoitus välittyy oppilaille, jos opettaja päättää hyödyntää kirjan simulaatioita.

FyKe-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) kvalitatiiviset luokat saavat kuvien 9 ja 10 perusteella myös enemmän pisteitä ja suuremmat keskiarvot kuin täysin kvantitatiiviset luokat. Muun kirjan kontekstin avulla simulaatiot, jotka voivat kuulua mahdollisesti molemmille tiedontasolle, voidaan sijoittaa joko kvalitatiivisella tai kvantitatiivisella tiedontasolla. Fysiikan malleja havainnollistetaan tämän kirjan käyttämissä simulaatioissa lähinnä kvalitatiivisella tasolla kuvailevien mallien avulla. Ainoastaan kahdessa tehtävässä yhdistettiin simulaation avulla kuvaileva malli matemaattiseen malliin.

Käsitteellisen muutoksen aloittaminen tapahtuu tässä kirjassa (Lavonen ym., 2024) enimmäkseen kvalitatiivisella tasolla, mutta jossain tehtävissä on esikvantifioinnin piirteitä (Koponen ym., 2001). Näissä kokeissa vertaillaan kvalitatiivisesti suureiden välisiä riippuvuuksia. Esimerkiksi yhdessä kirjan tehtävässä tutkitaan kvalitatiivisesti, miten voima ja massa vaikuttavat kappaleen kiihtyvyyteen tekemällä ensin vertailuhavainnot tietyllä voimalla ja massalla (Lavonen ym., 2024). Tämän jälkeen kappaleeseen vaikuttavaa voimaa ja massaa muutetaan erikseen. Tehtävässä ensin voimaa muutetaan ja nopeuden muutosta verrataan aiempaan havaintoon. Tehtävän viimeisessä kohdassa voima pysyy samana kuin aiemmassa, mutta massaa muutetaan. Havaittua

kiihtyvyyttä tässä kohdassa verrataan kahteen aiempaan havaintoon, jolloin oppilas pystyy kvalitatiivisesti päättämään, että massaa kasvattaessa ja voiman pysyessä vakiona kiihtyvyys pienenee, mutta kun massa pysyy vakiona ja voimaa kasvatetaan, kiihtyvyys kasvaa myös. Tämänkaltaisia käsitettä esikvantifioivia tehtäviä on kirjassa enemmänkin, mutta täysin kvantifioiviin kokeisiin ei tässä kirjassa käytetä simulaatioita (Koponen ym., 2001; Lavonen ym., 2024; Mäntylä & Hämäläinen, 2015).

Ilmiöiden mallintamista eri tasoilla käytettiin kvalitatiivisesti havainnollistamaan sekä mikrotason että Aurinkokunnan tason ilmiöitä. Mikrotasolla havainnollistettiin esimerkiksi varauksien käyttäytymistä. Aurinkokunnan tasolla havainnollistettiin Maan kiertorataa Auringon ympärillä.

Historiallisiin kokeisiin *Fyke*-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) tutustutaan vain Faradayn lain yhteydessä. Tätä lakia tutkitaan kirjassa kvalitatiivisella tiedontasolla.

Yhteenvetona molemmista vuosiluokkien 7–9 kirjoista (Lavonen ym., 2024; Lehto ym., 2024) voidaan sanoa, että kirjantekijät käyttivät simulaatioita pääasiassa kvalitatiivisella tiedontasolla. Simulaatioita käytetään kuitenkin molemmissa kirjoissa myös kvantitatiivisella tasolla, koska täysin kvantitatiivisetkin luokat saivat kuvien 9 ja 10 perusteella pisteitä. *FyKe*-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) liikuttiin *Ilmiö*-digikirjaa (Lehto ym., 2024) enemmän kvantitatiivisella tasolla. *FyKe*-digikirja tarjoaa myös enemmän ohjausta oppilaalle kuin *Ilmiö*-digikirja, mikä lisää jonkin verran opettajan työmäärää *Ilmiö*-digikirjan kanssa, kun opettaja joutuu ohjaamaan oppilaita enemmän varmistaakseen, että simulaatioiden merkitys ymmärretään (Girwidz & Kohnle, 2021; Hämäläinen, 2017). Kummassakin kirjassa tarvitaan kuitenkin opettajan ohjausta, jos halutaan noudattaa Girwidzin ja Kohnlen (2021) kehittämää ohjetta simulaatioiden käytölle.

5.2.2. Simulaatioiden tiedontasot lukiossa

Vipu-kirjasarjassa (Kiuru ym., 2021a–2023) täysin kvalitatiiviset luokat saavat pääasiassa samankaltaisia pisteitä kuin täysin kvantitatiiviset luokat, ja keskiarvotkin ovat lähellä toisiaan. Ainoastaan fysiikan ilmiön saaminen näkyviin poikkeaa selvästi muista sisällöllisistä luokista. Kiuru ym. käyttävät vaihtelevasti joko kvalitatiivisella tai kvantitatiivisella tiedontasolla mahdollisesti näihin molempiin kuuluvia luokkia. Fysiikan malleja havainnollistetaan useammin kuvailevalla tavalla kuin selittävällä tai matemaattisella tavalla.

Käsitteellisen muutoksen aloittaminen simulaatioiden avulla tapahtuu Vipu-sarjassa (Kiuru ym., 2021a–2023) alkuun pääasiassa kvalitatiivisella tasolla havainnoimalla simulaatioiden avulla ilmiöitä tai tekemällä niiden avulla esikvantifiointia (Hämäläinen, 2017; Koponen ym., 2001), mutta mitä pidemmälle edetään kirjasarjassa, sitä enemmän tulee kvantifioivia simulaatiotehtäviä mukaan (Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Lopulta tässä luokassa simulaatioita käytetään näillä tasoilla suunnilleen yhtä paljon.

Merkittävänä historiallisena kokeena Vipu-kirjasarjassa (Kiuru ym., 2021a–2023) oli mm. kaksoisrakokoe (Kiuru ym., 2021d) ja Millikanin koe (Kiuru ym., 2022a). Näistä kaksoisrakokoe menee tehtävän yhteydessä kvalitatiiviselle tasolle, kun taas Millikanin koe menee kvantitatiiviselle tasolle. Tässä luokassa Kiuru ym. käyttävät simulaatioita näillä tiedontasoilla yhtä paljon.

Viimeisessäkin tällaisessa luokassa, eli mallintamisessa eri tasolla Kiuru ym. (2021a–2023) käyttävät simulaatioita molemmilla tiedontasoilla tasapuolisesti. Kvalitatiivisella tasolla he pyrkivät havainnollistamaan monipuolisesti hiukkasten käyttäytymistä sähkö- ja lämpöoppiin liittyvissä ilmiöissä. Kvantitatiivisella tasolla Kiuru ym. käyttävät simulaatioita planeettojen kokoluokassa määrittämään Maan massan. Tämän luokan monipuolisella käytöllä Kiuru ym. varmistavat, että simulaatioiden vahvuutta niiden käyttämisestä eri tasojen ilmiöiden tutkimiseen hyödynnetään tehokkaasti tarvittaessa (Girwidz & Kohnle, 2021; Wieman ym., 2010).

Kuvien 7 ja 8 mukaan Fysiikka-kirjasarjassa (Andersin ym., 2021a–2024) täysin kvantitatiiviset luokat saivat vähän suuremmat keskiarvot kuin täysin kvalitatiiviset luokat. Mahdollisesti molempiin tiedontasoihin kuuluvien luokkien kanssa Andersin ym. käyttötarkoitukset ovat hyvin riippuvaisia kirjasta. Esimerkiksi *Fysiikka FY3 Energia ja lämpö* -digikirjassa (Andersin ym., 2021c) fysiikan mallien hahmottelu ja mallintaminen eri tasolla on pääasiassa kvalitatiivista, mutta myöhemmissä kirjoissa siirrytään näiden luokkien osalta kvantitatiivisempaan suuntaa. Fysiikan mallien hahmottelussa Andersin ym. (2021a–2024) käyttävät simulaatioita koko kirjasarjassa enemmän kvalitatiivisella tasolla, vaikka joissain simulaatioissa käytetäänkin todella hyvin matemaattisia ja selittäviä malleja (Andersin ym., 2024).

Käsitteellisen muutoksen aloittamisessa on kehitys samanlaista kuin fysiikan mallien hahmottelussa eli Fysiikka-kirjasarjan (Andersin ym., 2021a–2024) alussa käsitteellisen

muutoksen aloittaminen tapahtuu pääasiassa kvalitatiivisella tasolla havainnoimalla ilmiötä ja sen ominaisuuksia sekä esikvantifioimalla ilmiötä havaitsemalla kvalitatiivisia yhteyksiä ilmiön eri ominaisuuksien välillä (Koponen ym., 2001). Myöhemmin kirjasarjassa painopiste siirtyy enemmän kvantitatiiviseen suuntaan käyttämällä simulaatioita kvantifioivien kokeiden tapaan (Koponen ym., 2001; Mäntylä & Hämäläinen, 2015). Koko kirjasarjassa simulaatioita käytettiin tämän luokan kanssa myös enemmän kvalitatiivisella tiedontasolla kuin kvantitatiivisella.

Merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuttiin koko Andersinin ym. (2021a–2024) tekemässä kirjasarjassa vain muutaman simulaation kanssa. Näiden simulaatioiden käyttö jakaantuu tasan kvalitatiiviselle ja kvantitatiiviselle tiedontasolle tässä luokassa.

Mallintamista Andersin ym. (2021a–2024) käyttävät simulaatioita pelkästään havainnollistamaan mikrotason tai kosmisen tason ilmiötä kvalitatiivisesti. He käyttävät kuitenkin simulaatioiden vahvuutta eri tason mallintamista monipuolisesti etenkin lämpöopin ilmiöiden kuvaamiseen mikrotasolla (Andersin ym., 2021c; Girwidz & Kohnle, 2021; Wieman ym., 2010).

Lukion kirjasarjoihin siirryttäessä alkoi painopiste siirtyä vuosiluokkien 7–9 kirjoissa havaitulta simulaatioiden kvalitatiiviselta käytöltä kohti monipuolisempaa käyttöä molemmilla tiedontasoilla. Kummassakin kirjassa täysin kvantitatiiviset luokat saivat samankaltaisia pisteitä täysin kvalitatiivisten luokkien kanssa. Näissä kirjoissa kaikissa simulaatiossa oli simulaation käyttöön ja sen tarkoitukseen liittyvää ohjeistusta, joko tehtävän muodossa tai sitten teoriaosassa kerrottiin, mitä simulaatioissa olisi tarkoitus havainnoida. Tällöin puutteellinen ohjeistus tai tarkoituksen jääminen epäselväksi eivät muodostu ongelmaksi näissä kirjasarjoissa (Girwidz ym., 2021; Girwidz & Kohnle, 2021; Hämäläinen, 2017). Teoriaosuudessa esitellyn ohjeen simulaatioiden käytöstä pelkät kirjat täyttävät kohdat 1, 3 ja 4 (Girwidz & Kohnle, 2021). Muut tämän ohjeistuksen kohdista voidaan saavuttaa opettajan oikeanlaisella tuella.

5.3. Simulaatioiden käytön kirjoissa vertailu opetussuunnitelmien perusteisiin

Kolmanteen tutkimuskysymykseen vastataan vertailemalla kirjantekijöiden tapoja käyttää simulaatioita opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2014, 2019) mainittuihin tapoihin käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa sekä kokeellisuutta. Pohdinnassa käytetään apuna kuvia 7–10 ja aikaisempaa pohdintaa.

5.3.1. Simulaatiot ja peruskoulun opetussuunnitelman perusteet

Simulaatiot tuovat kummassakin niitä sisältäneissä vuosiluokkien 7–9 oppikirjoissa (Lavonen ym., 2024; Lehto ym., 2024) opetukseen mukaan perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2014) mainittuja monipuolisia työtapoja. Saaren ym. (2024) kirjassa tämä työtapojen monipuolisuuden hyödyntäminen on paremmin kirjaan sisäänrakennettua tehtävien muodossa kuin Lehdon ym. kirjassa, joka vaatii enemmän opettajan toimintaa. Fysiikan sisältöalueista mainittiin aiemmin, että kaikkiin niistä voitaisiin käyttää kokeellisuutta osana opetusta ja yksi näistä käsitteikin kokonaan luonnontieteellisen tutkimuksen tekemistä (Opetushallitus, 2014). Tässä sisältöalueessa kerrottiin, että kokeellisten töiden tulee olla joko tarkasti ohjeistettuja tai avoimia tutkimuksia. Lehto ym. (2024) eivät käyttäneet kirjassaan simulaatioita missään kohtaan osana minkään tyyppistä tutkimuksellista tehtävää, kun taas Saaren ym. (2024) tekemässä kirjassa simulaatioita käytettiin lähinnä tarkasti ohjattuina töinä. Avoimien simulaatiotutkimuksien tekeminen jää kokonaan opettajan oman kiinnostuksen varaan kummassakin kirjassa.

Kummassakaan kirjassa (Lavonen ym., 2024; Lehto ym., 2024) ei ole fysiikka yhteiskunnassa sisältöalueeseen liittyvää simulaatioita. Tähän sisältöalueeseen kuului perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2014) mukaan fysiikan ilmiöihin ja niiden teknologisiin sovelluksiin kuuluvia sisältöjä keskittyen erityisesti energian tuotantoon ja energiavarojen kestäväan käyttöön. Vaikka luokka fysiikan hyödyntämisen demonstroimisesta teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä saikin kuvan 10 perusteella molemmissa kirjoissa nollasta poikkeavan keskiarvon, simulaatioiden käyttö kirjoissa perustui kuitenkin havainnollistamaan fysiikan ilmiöitä enemmänkin oppilaiden arjessa eikä teknologiassa.

Molemmissa kirjoissa on hyödynnetty simulaatioita asian esittämiseen seuraavissa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2014) sisältöalueissa: fysiikka omassa elämässä ja ympäristössä, fysiikka maailmankuvan rakentajana, sekä vuorovaikutus ja liike. Simulaatioita sähköä käsittelevästä sisältöalueesta ei löydy ollenkaan *Ilmiö*-digikirjasta (Lehto ym., 2024). *FyKe*-digikirja (Lavonen ym., 2024) taas käyttää paljon simulaatioita eri sähköopin ilmiöiden tutkimiseen. Sähkön lisäksi *FyKe*-digikirjassa keskitytään myös sisältöalueen vuorovaikutus ja liike ilmiöiden tutkimiseen simulaatioilla.

Fysiikan opetuksen tavoitteista (Opetushallitus, 2014) kokeellisuuteen liittyviä tavoitteita ei voida pelkästään *Ilmiö*-digikirjan (Lehto ym., 2024) simulaatioiden avulla saavuttaa, koska simulaatiot ovat irrallisia muusta kirjan sisällöstä ja niistä puuttuu kokonaan oppilaan toimintaa ohjaavat tekstit, kysymykset ja tehtävät.

FyKe-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) simulaatioita käytetään perusopetuksen opetussuunnitelman (Opetushallitus, 2014) mukaisista opetuksen tavoitteista seuraavien tavoittein saavuttamiseen: Oppilaiden kannustaminen ja innostaminen fysiikan opiskeluun, oppilaan ohjaaminen kokeellisten tutkimusten toteuttamiseksi, oppilaan opastaminen tieto- ja viestintäteknologian käyttöön tiedon hankintaan, kokeellisten töiden mittausten tekemiseen, kokeellisten töiden tulosten esittämiseen ja havainnollistavien simulaatioiden käyttämiseen oppimisen tukena, tukea oppilaiden erilaisten mallien käyttöä ilmiöiden kuvaamisessa, oppilaan luonnontieteellisen tiedon luonteen ja kehityksen hahmottamisen ohjaaminen, jatko-opintoihin riittävien tiedollisten valmiuksien saavuttaminen.

Simulaatioiden käyttö kvalitatiivisella tiedontasolla (Girwidz ym., 2021; Hämäläinen, 2017) vastaa hyvin fysiikan sisältöalueisiin kirjattua kvalitatiivista tutustumista joihinkin lämpöopin ilmiöihin sekä jännitteen ja sähkövirran yhteyden tutkimisen aloittamista (Opetushallitus, 2014). *Ilmiö*-digikirjassa (Lehto ym., 2024) ei ole kuitenkaan yhtään sähköopin simulaatioita. *Fyke*-digikirjassa (Lavonen ym., 2024) löytyy simulaatio, joka havainnollistaa tätä riippuvuutta sekä kvalitatiivisesti, että kvantitatiivisesti matemaattisella mallilla. Tämä täyttää osittain perusopetuksen opetussuunnitelman perusteisiin kirjattua kohtaa jännitteen ja sähkövirran välisen yhteyden kvantitatiivisesta tutkimisesta. Tämä simulaatio jättää kuitenkin pois tähän ilmiöön liittyvät mittaukset. Toinen kvantitatiivisesti tutkittava asia on vuorovaikutuksiin ja liikkeeseen liittyvät ilmiöt. Tällaisia simulaatioita löytyy kummastakin oppikirjasta.

Kaikkia perusopetuksen opetussuunnitelman perusteisiin (Opetushallitus, 2014) kirjattuja opetuksen tavoitteita ei voi missään nimessä pelkän oppikirjan avulla saavuttaa, vaan kirjan tarkoitus on olla opetuksessa opettajan apuväline, jotta oppilaat voisivat saavuttaa kaikissa tavoitteissa vähintään arvosanaan 5 oikeuttavan osaamisen, jolloin opettaja pystyy myös paikkaamaan oppikirjojen puutteita omassa opetuksessa.

5.3.1. Simulaatiot ja lukion opetussuunnitelman perusteet

Analysoiduissa Andersinin ym. (2021a–2024) ja Kiurun ym. (2021a–2023) kirjasarjoissa simulaatiot sopivat hyvin lukion opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2019) oppimiskäsitykseen, jossa oppiminen on seurausta opiskelijan aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta. Oikeanlaisten opetusstrategioiden kanssa oppikirjojen simulaatiot voivat kasvattaa opiskelijan motivaatioita fysiikan opiskeluun ja siten parantaa opiskelijoiden oppimistuloksia (Stiller ym., 2017). Ylipäänsä simulaatioiden ja kokeellisuuden käyttäminen opetuksessa saa opiskelijat osallistumaan omaan oppimisprosessiinsa aktiivisemmin.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa kerrotaan, että kokeellisuuden fysiikan opetuksessa tulisi hyödyntää monia eri aisteja. Tämä mainitaan myös muussa kirjallisuudessa kokeellisuuden ja simulaatioiden käytön hyväksi puoleksi (Girwidz & Kohnle, 2021). Oppikirjojen simulaatiot hyödyntävät kuitenkin pääsääntöisesti vain näköaistia. Kuuloaistia hyödynnetään vain muutaman simulaation yhteydessä järkevällä tavalla.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) mainitaan, että fysiikan opetuksen yhtenä tavoitteista on tutustuttaa opiskelijaa fysiikan ominaiseen kieleen ja käsitteistöön. Käsitteistön oikeanlaista käyttöä ja yksittäisten käsitteiden oppimista voidaan tukea kaikenlaisella kokeellisuudella, kuten simulaatioilla tai perinteisillä kokeilla. Kuvien 7 ja 8 mukaan simulaatioilla tuettiin käsitteiden oppimista jonkin verran. Käsitteiden opettamista simulaatioiden avulla oppikirjoissa voidaan kuitenkin parantaa kiinnittämällä asiaan enemmän huomioita.

Simulaatioita käytetään oppikirjoissa saavuttamaan seuraavia tieto- ja viestintäteknologialle lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) määriteltyjä käyttökohteita: monipuolinen tiedonhankinta, tiedon tuottaminen, opiskelijoiden yksilöllisen kehityksen tukeminen ja opiskelijoiden monipuolisen tieto- ja viestintäteknologian käytön tukeminen. Käytännössä kaikkia fysiikalle ominaisia tapoja käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa voidaan hyödyntää oppikirjojen simulaatioissa jollain tapaa. Yhdenkään edellä mainittujen asioiden kohdalla pelkkä oppikirja ei riitä. Opettajan toimintaa tarvitaan varmistamaan, että kaikki lukion opetussuunnitelman perusteiden asettamat ehdot, määräykset ja tavoitteet saavutetaan.

6. Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten suomalaisissa digitaalisissa oppikirjoissa hyödynnetään simulaatioita kokeellisuuden näkökulmasta. Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan kolmeen tutkimuskysymykseen tehdyn analyysin, kirjallisuuden ja opetussuunnitelmien perusteiden (Opetushallitus, 2014, 2019) avulla.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaus on, että kirjantekijät käyttävät simulaatioita eniten havainnollistamaan fysiikan ilmiöitä, ja kokeellisten taitojen puolelta kirjantekijät kiinnittävät eniten huomiota ilmiöiden havainnointiin. Simulaatioiden vahvuuksia hyödynnettiin oppikirjoissa pääasiassa hyvin, ja niiden heikkouksia pyrittiin suurimmassa osassa oppikirjoja paikkaamaan tehtävien tarjoamalla ohjauksella.

Toisen tutkimuskysymyksen tarkoituksena oli vertailla oppikirjojen tapoja käyttää simulaatioita kirjallisuuteen ja pohtia, mille tiedontasoille analysoidut simulaatiot kuuluvat. Kaikissa kirjoissa kvalitatiivisille tasoille kuului suurin osa analyysiluokista. Peruskoulun puolella simulaatioita käytettiin myös vähän kvantitatiivisilla tiedontasoilla, mutta lukioon siirryttäessä simulaatioiden käyttö kvantitatiivisilla tasoilla kasvoi huomattavasti. Tämä kvalitatiivisen tiedontason käyttö vastaa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteisiin (Opetushallitus, 2014) kirjattua tiettyjen sisältöalueiden kvalitatiivista ymmärtämistä ja vastaa Hämäläisen (2017) ja Koposen ym. (2001) käsitystä käsitteiden syntymisestä kvalitatiivisina.

Simulaatioiden käytön puutteena havaittiin peruskoulun puolella, että muutamissa sisältöalueista puuttui kvantitatiivisuus, vaikka peruskoulun opetussuunnitelman perusteisiin (Opetushallitus, 2014) oli kirjattu tällainen ehto. Muuten simulaatioiden käyttö oppikirjoissa vastaa hyvin opetussuunnitelmien perusteiden (Opetushallitus, 2014, 2019) sisältöä tieto- ja viestintäteknologian käyttöön liittyen.

Kirjantekijöille suositellaan, että simulaatioita kannattaa käyttää digitaalisissa oppikirjoissa, sillä digitaaliset oppikirjat tarjoavat mahdollisuuden laajentaa oppimisympäristöjä. Erityisesti tehtävien yhteydessä simulaatioita kannattaa käyttää, koska tehtävien avulla kirjat voivat suoraan tarjota oppijoille ohjausta ja tukea heidän oppimiseensa.

Opettajien kannattaa kiinnittää huomiota digitaalisten oppikirjojen simulaatioihin ja omalla toiminnallaan paikata simulaatioiden heikkouksia näin voidaan varmistaa, että simulaatioiden vahvuuksia hyödynnetään järkevästi.

Tämän tutkimuksen rajoituksia on laadullisen analyysin luonteesta johtuva tutkimuksen subjektiivisuus. Simulaatioiden pisteytys riippuu aina niitä pisteyttävästä henkilöstä. Yksikin henkilö voi tehdä eri aikoina erilaisia tulkintoja. Tätä pyrittiin tässä tutkimuksessa vähentämään tekemällä analyysi kahteen kertaan ja ottamalla näiden analyysien välinen keskiarvo. Toinen tutkimusta rajoittava tekijä on valittu kokeellisuuteen perustuva näkökulma simulaatioiden tutkimiseen. Simulaatioiden käyttöä oppikirjoissa voitaisiinkin tutkia muistakin näkökulmista, kuten motivoinnin näkökulmasta.

Simulaatioiden käyttöä digitaalisissa oppikirjoissa on tutkittu vasta vähän, joten lisätutkimus aiheen suhteen olisi hyödyllistä. Jatkotutkimuksina voisi tutkia simulaatioita myös kokeellisesta näkökulmasta hyödyntäen erilaista pohjateoriaa tai aineistolähtöistä analyysimenetelmää. Tämän tutkimuksen ideaa voisi laajentaa koskemaan muiden oppikirjoissa olevien digitaalisten apuvälineiden käyttöä sisällön oppimiseen. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tutkia simulaatioiden käyttöä pelkästään yhdellä fysiikan osa-alueella.

Oppikirjoissa voidaan tutkia myös minkälaisia representaatioita niissä olevat simulaatiot käyttävät.

Kirjallisuusviitteet

- Ametepe, J. D., & Khan, N. (2021). Teaching physics during COVID-19 pandemic: Implementation and report of teaching strategies to support student learning. *Physics Education*, 56(6), 065030. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac266f>
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2021a). *Fysiikka FY1 Fysiikka Luonnontieteenä digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2021b). *Fysiikka FY2 Fysiikka, Ympäristö ja yhteiskunta digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2021c). *Fysiikka FY3 Energia ja lämpö digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2021d). *Fysiikka FY4 Voima ja liike digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2022). *Fysiikka FY6 Sähkö digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2023a). *Fysiikka FY7 Sähkömagnetismi ja valo digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2023b). *Fysiikka FY8 Aine,säteily ja kvantittuminen digikirja*. Sanomapro.
- Andersin, J., Frondelius, P., Latva-Teikari, J., & Lehto, H. (2024). *Fysiikka FY5 Jaksollinen liike ja aallot digikirja*. Sanomapro.
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Faour, M. A., & Ayoubi, Z. (2018). The Effect of Using Virtual Laboratory on Grade 10 Students' Conceptual Understanding and their Attitudes towards Physics. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 54–68.
- Girwidz, R., & Kohnle, A. (2021). Multimedia and Digital Media in Physics Instruction. Teoksessa R. Girwidz & H. E. Fischer (Toim.), *Physics education* (Vsk. 2021, ss. 297–336). Springer.
- Girwidz, R., Theyßen, H., & Widerhorn, R. (2021). Experiments in Physics teaching. Teoksessa R. Girwidz & H. E. Fischer (Toim.), *Physics education* (Vsk. 2021, ss. 269–296). Springer.

- Heinonen, M., Kohtamäki, J., & Korhonen, M. (2016). *Titaani Fysiikka 7-9 digikirja*. Otava.
- Hämäläinen, A. (2017). Lukiofysiikan kokeellisuus. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 2(1), Article 1. <https://urn.fi/urn:nbn:fi:hulib:editori:lumatb.v2i1.1190>
- Kalijärvi, K. (2019). *ITSEOHJAUTUVUUSTEORIA SOSIAALITYÖSSÄ*. Jyväskylän yliopisto.
- Karvonen, U., Tainio, L., & Routarinne, S. (2017). *Oppia kirjoista: Systemaattinen katsaus suomalaisten perusopetuksen oppimateriaalien tutkimukseen*. <http://hdl.handle.net/10138/230830>
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2021a). *Vipu 1-2 digikirja*. Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2021b). *Vipu 3 digikirja*. Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2021c). *Vipu 4 digikirja*. Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2021d). *Vipu 5 digikirja* (Vsk. 2021). Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2022a). *Vipu 6 digikirja* (Vsk. 2022). Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2022b). *Vipu 7 digikirja*. Otava.
- Kiuru, M., Kohtamäki, J., Korhonen, M., Laukkanen, P., Nurmi, E., & Vähä-Heikkilä, K. (2023). *Vipu 8 digikirja*. Otava.
- Koponen, I., Kurki-Suonio, K., Jauhiainen, J., Hämäläinen, A., & Lavonen, J. (2001). The role of experimentality in concept formation in physics: Quantifying experiments and invariances. Teoksessa P. Roser & S. Surinach (Toim.), *PHYTEB 2000—Physics Teacher Education Beyond 2000*. Elsevier Scientific Publ. Co.
- Koponen, I., & Nousiainen, M. (2015). Didaktinen fysiikka opettajankoulutusta suuntaamassa. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(6), Article 6. <https://doi.org/10.31129/lumat.v3i6.994>
- Koskinen, T. (2019). *Sukupuoliroolit fysiikan oppikirjojen kuvituksessa*. <https://www.utupub.fi/handle/10024/147980>
- Kostian, J. (2018). *Miten hyvin peruskoulun fysiikan oppikirjat vastaavat opetussuunnitelmanperusteita: Oppikirja-analyysi aiheista työ, teho ja paine*.

- Lager, A., & Lavonen, J. (2023). Engaging Students in Scientific Practices in a Remote Setting. *Education Sciences*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/educsci13050431>
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning: A Model-Centered Approach*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1954-9>
- Lavonen, J., Pikkarainen, O., Saari, H., Jarmo Sirviö, & Viiri, J. (2024). *FyKe 7—9 Fysiikka Digikirja*. Sanomapro.
- Lehto, H., Salonen, H., & Maalampi, J. (2024). *Ilmiö 7—9 Fysiikka Digikirja*. Sanomapro.
- Lintu, V. (2022). *Lukion lämpöopin oppikirjojen kuva-analyysi*. <https://www.utupub.fi/handle/10024/154001>
- Maulidah, S., & Prima, E. (2018). Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*, 1, 116–121. <https://doi.org/10.17509/jsl.v1i3.11797>
- Mäntylä, T., & Hämäläinen, A. (2015). Obtaining Laws Through Quantifying Experiments: Justifications of Pre-service Physics Teachers in the Case of Electric Current, Voltage and Resistance. *Science & Education*, 24(5–6), 699–723. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9752-z>
- Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*.
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*.
- Palmu, T. (2003). *Sukupuolen rakentuminen koulun kulttuurisissa teksteissä: Etnografia yläasteen äidinkielen oppitunneilla*. Helsingin yliopisto.
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025a). *Aalto langassa*. Viitattu 16.4.2025. http://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_fi.html
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025b). *Blackbody Spectrum*. Viitattu 16.4.2025. https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025c). *Circuit Construction Kit: DC*. Viitattu 16.4.2025. https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_en.html
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025d). *Friction simulation*. Viitattu 16.4.2025. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/friction>
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025e). *Tasapainottaminen*. Viitattu 16.4.2025. https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_fi.html

PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. (2025f). *Varaukset ja kentät 1.0.64*. Viitattu 16.4.2025. https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_fi.html

Pucholt, Z. (2021). Effectiveness of simulations versus traditional approach in teaching physics. *European Journal of Physics*, 42(1), 015703. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb4ba>

Stiller, C., Stockey, A., & Wilde, M. (2017). *Hands off, minds on? – The pros and cons of practical experimentation*.

Suomi, S. (2021). *Lukion fysiikan oppikirjojen tehtävien tyypit ja taksonominen jaottelu*. <https://www.utupub.fi/handle/10024/151843>

Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi* (11. p.). Tammi.

Wieman, C., Adams, W., Loeblein, P., & Perkins, K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48, 225–227. <https://doi.org/10.1119/1.3361987>

Liite A: Analyysin taulukot

Taulukko A1: Ensimmäinen analyysi Vipu 3 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021b)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	3	1	10
Fysiikan mallien hahmottelu	0	2	2	0	4
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	1	1	1	3
Fysiikan lakien kokeminen	1	2	1	0	4
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	3	3	0	9
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	1	1	2	6
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	1	1	1	3
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0	0	0	0
Mallintaminen eri tasossa	0	3	3	0	6
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	0	3	3
havainnointi	3	3	3	2	11
mittaus ja kirjaaminen	1	1	0	0	2
kerätyn tiedon käsittely	0	0	0	0	0
lopputulosten tekeminen	1	1	1	1	4
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	1	1	1	1	4
kokeen suunnittelu	1	0	0	0	1

Taulukko A2: Toinen analyysi Vipu 3 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021b)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	3	2	11
Fysiikan mallien hahmottelu	0	2	3	0	5
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	0	0	1	1
Fysiikan lakien kokeminen	1	2	1	0	4
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	3	2	0	8
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	1	2	1	6
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	0	1	1	2
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	2	0	0	0	2
Mallintaminen eri tasossa	0	3	3	0	6
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	1	3	4
havainnointi	3	3	3	3	12
mittaus ja kirjaaminen	0	0	0	0	0
kerätyn tiedon käsittely	0	0	0	0	0
lopputulosten tekeminen	1	1	1	1	4
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	1	0	0	1
kokeen suunnittelu	1	0	0	0	1

Taulukko A3: Ensimmäinen analyysi Vipu 4 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021c)

Simulaation tunnus	A	B	C	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	1	1	2	4
Fysiikan mallien hahmottelu	0	1	0	1
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	2	0	4
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	2	2
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	0	0	0
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	1	0	1
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	1	2	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	3	3	9
Mallintaminen eri tasossa	0	0	0	0
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	3	3
Havainnointi	1	1	2	4
mittaminen ja kirjaaminen	0	0	3	3
kerätyn tiedon käsittely	2	2	2	6
lopputulosten tekeminen	2	2	3	7
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	2	2	0	4
kokeen suunnittelu	1	0	1	2

Taulukko A4: Toinen analyysi Vipu 4 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021c)

Simulaation tunnus	A	B	C	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	1	1	2	4
Fysiikan mallien hahmottelu	0	1	1	2
Oppilaiden intuition kehittäminen	1	2	0	3
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	1	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	1	0	1
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	2	0	2
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	1	2	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	3	3	9
Mallintaminen eri tasossa	0	0	0	0
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	3	3
Havainnointi	2	3	1	6
mittaus ja kirjaaminen	2	2	3	7
kerätyn tiedon käsittely	0	1	2	3
lopputulosten tekeminen	1	2	2	5
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	2	1	0	3
kokeen suunnittelu	1	1	0	2

Taulukko A5: Ensimmäinen analyysi Vipu 5 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021d)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	2	3	3	14
Fysiikan mallien hahmottelu	1	0	1	1	2	5
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	2	1	1	1	7
Fysiikan lakien kokeminen	1	0	0	0	0	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	2	0	2	3	10
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	0	0	0	1	1
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	1	0	1	1	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	1	1	2
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	1	0	0	0	4
Mallintaminen eri tasossa	0	3	1	0	1	5
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	2	2	0	0	0	4
havainnointi	2	2	1	1	3	9
mittaus ja kirjaaminen	0	2	0	0	0	2
kerätyn tiedon käsittely	0	2	0	0	0	2
lopputulosten tekeminen	2	2	1	1	1	7
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	2	1	1	2	2	8
kokeen suunnittelu	0	1	0	0	0	1

Taulukko A6: Toinen analyysi Vipu 5 -digikirjasta (Kiuru ym., 2021d)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	2	2	3	13
Fysiikan mallien hahmottelu	1	2	1	2	2	8
Oppilaiden intuition kehittäminen	3	0	0	0	0	3
Fysiikan lakien kokeminen	1	0	0	0	0	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	2	1	2	3	11
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	1	1	1	1	1	5
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	3	2	0	0	0	5
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	1	1
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	1	0	2	0	6
Mallintaminen eri tasossa	0	3	0	0	0	3
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	2	2	0	1	0	5
havainnointi	3	3	2	2	3	13
mittaus ja kirjaaminen	1	3	0	1	0	5
kerätyn tiedon käsittely	1	3	0	0	0	4
lopputulosten tekeminen	3	3	1	1	1	9
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	1	1	0	1	1	4
kokeen suunnittelu	0	2	0	0	0	2

Taulukko A7: Ensimmäinen analyysi Vipu 6 -digikirjasta (Kiuru ym., 2022a)

Simulaation tunnus	A	B	C	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	1	7
Fysiikan mallien hahmottelu	2	3	0	5
Oppilaiden intuition kehittäminen	1	3	2	6
Fysiikan lakien kokeminen	0	2	3	5
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	0	0	0
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	1	1	2
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	1	1	3
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	3	0	0	3
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	2	2	1	5
Mallintaminen eri tasossa	0	1	0	1
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	2	2	4
havainnointi	3	0		
mittaus ja kirjaaminen	3	2	1	6
kerätyn tiedon käsittely	3	0	0	3
lopputulosten tekeminen	3	1	1	5
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	2	2	4
kokeen suunnittelu	0	1	3	4

Taulukko A8: Toinen analyysi Vipu 6 -digikirjasta (Kiuru ym., 2022a)

Simulaation tunnus	A	B	C	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	3	9
Fysiikan mallien hahmottelu	1	2	2	5
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	2	3	7
Fysiikan lakien kokeminen	2	2	3	7
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	3	0	3
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	1	1	0	2
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	3	1	0	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	3	0	0	3
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	3	3	9
Mallintaminen eri tasossa	0	0	0	0
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	1	2	3
havainnointi	2	3	0	5
mittaus ja kirjaaminen	3	2	0	5
kerätyn tiedon käsittely	3	0	0	3
lopputulosten tekeminen	3	1	0	4
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	2	2	4
kokeen suunnittelu	0	2	3	5

Taulukko A9: Ensimmäinen analyysi Vipu 7 -digikirjasta (Kiuru ym., 2022b)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	1	2	2	1	3	3	12
Fysiikan mallien hahmottelu	2	2	2	2	2	0	10
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	1	1	0	1	1	6
Fysiikan lakien kokeminen	0	1	0	0	0	0	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	1	2	2	2	2	3	12
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	1	1	0	0	1	1	4
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	0	1	1	0	0	3
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	2	0	0	1	0	0	3
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	1	1	1	1	0	0	4
Mallintaminen eri tasossa	0	0	0	0	2	0	2
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa	0	1	0	2	0	3	6
havainnointi	2	2	3	2	3	3	15
mittaus ja kirjaaminen	1	1	2	1	0	0	5
kerätyn tiedon käsittely	0	0	2	1	0	0	3
loputulosten tekeminen	1	1	2	2	0	1	7
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	2	1	1	2	2	8
kokeen suunnittelu	0	0	1	0	0	0	1

Taulukko A10: Toinen analyysi Vipu 7 -digikirjasta (Kiuru ym., 2022b)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	1	3	2	1	3	3	13
Fysiikan mallien hahmottelu	2	2	1	2	3	0	10
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	1	0	0	0	1	2
Fysiikan lakien kokeminen	0	1	0	0	0	0	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	2	1	1	3	3	10
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	1	1	0	1	2	7
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	0	1	1	0	0	2
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	1	0	1	0	0	0	2
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	1	3	2	1	0	0	7
Mallintaminen eri tasossa	0	0	0	0	3	0	3
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa	0	0	1	2	0	3	6
havainnointi	1	2	2	2	3	2	12
mittaus ja kirjaaminen	0	3	2	2	0	0	7
kerätyn tiedon käsittely	0	0	3	2	0	0	5
loputulosten tekeminen	1	2	2	2	1	1	9
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	1	1	1	1	1	1	6
kokeen suunnittelu	0	0	0	1	0	0	1

Taulukko A11: Molemmat analyysit Vipu 8 -digikirjasta (Kiuru ym., 2023)

	Ensimmäinen analyysi	Toinen analyysi
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3
Fysiikan mallien hahmottelu	2	2
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	0
Fysiikan lakien kokeminen	0	0
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	1
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	1	1
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	0
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	3	3
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0
Mallintaminen eri tasossa	3	3
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0
havainnointi	2	3
mittaus ja kirjaaminen	0	0
kerätyn tiedon käsittely	0	0
lopputulosten tekeminen	0	0
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	0
kokeen suunnittelu	0	0

Taulukko A12: Molemmat analyysit Fysiikka FY1 -digikirjasta (Andersin ym., 2021a)

	Ensimmäinen analyysi	Toinen analyysi
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3
Fysiikan mallien hahmottelu	1	1
Oppilaiden intuition kehittäminen	1	0
Fysiikan lakien kokeminen	1	1
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	0
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	2
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	1	1
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	3
Mallintaminen eri tasossa	0	0
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	2	1
havainnointi	1	2
mittaus ja kirjaaminen	3	3
kerätyn tiedon käsittely	3	3
loputulosten tekeminen	2	3
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	0	0
kokeen suunnittelu	2	1

Taulukko A13: Ensimmäinen analyysi Fysiikka FY3 -digikirjasta (Andersin ym., 2021c)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	2	2	2	3	3	0	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0	3	51
Fysiikan mallien hahmottelu	3	3	3	3	3	0	2	2	2	1	2	2	2	1	1	3	3	3	2	2	2	45
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	2	2	0	2	1	12
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3	0	1	1	3	0	2	2	2	0	1	3	21
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	2	2	3	3	0	2	2	0	1	2	1	0	3	0	3	3	3	0	1	0	33
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	5
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Mallintaminen eri tasossa	3	3	3	3	3	3	0	0	3	0	3	3	3	0	0	3	3	3	3	0	0	42
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	1	7
Havainnointi	1	1	1	2	2	3	3	3	1	2	3	3	3	0	1	3	3	3	1	2	2	43
Mittaus ja kirjaaminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	5
kerätyn tiedon käsittely	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
lopputulosten tekeminen	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	2	2	2	0	1	0	13
hypoteesin tekeminen	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	1	1	0	1	0	8
kokeen suunnittelu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3

Taulukko A14: Toinen analyysi Fysiikka FY3 -digikirjasta (Andersin ym., 2021c)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	3	2	3	1	1	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	1	3	53
Fysiikan mallien hahmottelu	3	3	3	2	3	1	1	2	3	0	2	2	2	2	2	3	3	3	2	1	0	43
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	5
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	5
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	15
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	3	3	3	2	3	0	3	3	2	0	3	3	2	3	0	3	3	3	1	0	0	43
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	5
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	1	6
Mallintaminen eri tasossa	3	3	3	3	3	3	0	0	3	0	3	3	3	0	0	3	3	3	3	0	0	42
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1	7
Havainnointi	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	1	2	50
Mittaus ja kirjaaminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	1	8
kerätyn tiedon käsittely	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	4
lopputulosten tekeminen	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	1	1	1	3	1	1	1	0	3	1	17
hypoteesin tekeminen	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	8
kokeen suunnittelu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	5

Taulukko A15: Ensimmäinen analyysi Fysiikka FY4 -digikirjasta (Andersin ym., 2021d)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	2	3	3	3	3	3	17
Fysiikan mallien hahmottelu	2	3	2	2	2	3	14
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	3	0	2	0	2	7
Fysiikan lakien kokeminen	0	2	1	1	1	2	7
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	3	0	0	2	3	8
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	3	2	2	2	2	1	12
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	1	3	3	1	1	9
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0	3	3	0	0	6
Mallintaminen eri tasossa	0	3	0	0	0	2	5
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	1	0	0	1	0	0	2
havainnointi	3	3	0	1	3	3	13
mittaus ja kirjaaminen	0	0	3	3	0	0	6
kerätyn tiedon käsittely	0	0	3	2	0	0	5
lopputulosten tekeminen	0	3	3	2	2	2	12
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	1	3	0	0	0	1	5
kokeen suunnittelu	0	0	1	3	0	0	4

Taulukko A16: Toinen analyysi Fysiikka FY4 -digikirjasta (Andersin ym., 2021d)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	3	3	3	3	18
Fysiikan mallien hahmottelu	1	2	0	0	3	3	9
Oppilaiden intuition kehittäminen	1	1	0	0	1	2	5
Fysiikan lakien kokeminen	1	1	2	2	2	1	9
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	1	0	0	1	0	2
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	0	1	1	1	1	6
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	1	2	2	0	1	6
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	3	3	3	2	2	13
Mallintaminen eri tasossa	0	3	0	0	0	0	3
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	1	2	1	0	4
havainnointi	2	3	1	1	3	3	13
mittaus ja kirjaaminen	1	1	3	3	0	1	9
kerätyn tiedon käsittely	0	1	3	2	0	0	6
lopputulosten tekeminen	0	2	2	3	1	1	9
hypoteesin tai oletuksen tekeminen	1	3	0	1	1	1	7
kokeen suunnittelu	0	0	1	1	0	0	2

Taulukko A18: Toinen analyysi Fysiikka FY5 -digikirjasta (Andersin ym., 2024)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	40
Fysiikan mallien hahmottelu	1	2	1	0	0	1	2	2	2	2	2	3	1	1	0	2	22
Oppilaiden intuition kehittäminen	3	1	0	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	1	10
Fysiikan lakien kokeminen	1	0	0	1	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	0	0	9
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	3	0	1	12
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	2	1	1	2	1	2	2	3	2	1	2	0	0	0	2	21
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	3	0	3	0	1	1	0	1	0	3	0	0	1	0	1	0	14
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	0	3	0	0	1	2	2	1	3	0	0	2	0	3	0	20
Mallintaminen eri tasossa	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	3	0	0	1	3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	10
Havainnointi	1	3	0	2	3	3	1	1	2	2	3	3	2	3	2	3	34
Mittaus ja kirjaaminen	2	0	3	0	1	1	2	2	2	3	0	1	3	0	3	0	23
kerätyn tiedon käsittely	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	2	0	10
lopputulosten tekeminen	3	1	2	0	1	2	1	2	3	2	1	1	2	1	2	0	24
hypoteesin tekeminen	3	1	0	0	1	1	1	0	1	3	2	1	0	0	0	0	14
kokeen suunnittelu	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	6

Taulukko A20: Toinen analyysi Fysiikka FY6 -digikirjasta (Andersin ym., 2022)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3	1	2	2	3	2	2	3	3	2	26
Fysiikan mallien hahmottelu	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	1	0	2	1	0	1	1	0	0	0	8
Fysiikan lakien kokeminen	0	3	0	1	2	2	0	0	1	0	1	10
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	0	1	0	2	0	0	2	3	0	1	0	9
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	1	1	0	3	0	1	2	1	0	1	2	12
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	3	0	3	0	1	2	0	1	2	1	0	13
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	0	3	0	3	3	0	1	3	1	2	19
Mallintaminen eri tasossa	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	9
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	1	1	1	2	2	1	1	1	2	0	12
Havainnointi	1	3	0	1	2	3	2	3	2	3	0	20
Mittaus ja kirjaaminen	3	0	3	2	3	1	0	1	3	1	3	20
kerätyn tiedon käsittely	1	0	3	0	1	0	0	0	3	0	0	8
lopputulosten tekeminen	1	0	3	1	1	0	0	1	2	1	1	11
hypoteesin tekeminen	2	0	2	1	2	1	0	1	0	0	0	9
kokeen suunnittelu	0	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	5

Taulukko A21: Ensimmäinen analyysi Fysiikka FY7 -digikirjasta (Andersin ym., 2023a)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	2	3	3	2	3	13
Fysiikan mallien hahmottelu	3	3	3	1	3	13
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	1	0	0	0	3
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	1	0	1	2
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	3	0	0	0	6
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	0	0	0	0	0
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	2	0	0	0	2	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	0	2	0	3	8
Mallintaminen eri tasossa	2	1	1	0	0	4
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	2	0	1	3
Havainnointi	3	3	3	3	0	12
Mittaus ja kirjaaminen	2	0	1	0	3	6
kerätyn tiedon käsittely	2	0	0	0	0	2
lopputulosten tekeminen	2	2	1	0	2	7
hypoteesin tekeminen	2	2	2	0	1	7
kokeen suunnittelu	0	0	0	0	0	0

Taulukko A22: Toinen analyysi Fysiikka FY7 -digikirjasta (Andersin ym., 2023a)

Simulaation tunnus	A	B	C	D	E	Pisteiden summa
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	2	3	3	2	3	13
Fysiikan mallien hahmottelu	3	3	3	1	3	13
Oppilaiden intuition kehittäminen	2	1	0	0	0	3
Fysiikan lakien kokeminen	0	0	1	0	1	2
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	3	0	0	0	6
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	0	0	0	0	0	0
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	2	0	0	0	2	4
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0	0	0	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	3	0	2	0	3	8
Mallintaminen eri tasossa	2	1	1	0	0	4
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	0	0	2	0	1	3
Havainnointi	3	3	3	3	0	12
Mittaus ja kirjaaminen	2	0	1	0	3	6
kerätyn tiedon käsittely	2	0	0	0	0	2
lopputulosten tekeminen	2	2	1	0	2	7
hypoteesin tekeminen	2	2	2	0	1	7
kokeen suunnittelu	0	0	0	0	0	0

Taulukko A23: Molemmat analyysit Fysiikka FY8 -digikirjasta (Andersin ym., 2023b)

	ensimmäinen analyysi	Toinen analyysi
Fysiikan ilmiön saaminen näkyviin	3	3
Fysiikan mallien hahmottelu	2	2
Oppilaiden intuition kehittäminen	0	0
Fysiikan lakien kokeminen	1	2
kvalitatiivisesti teoreettisten ennusteiden varmentaminen	3	0
käsitteelliseen muutoksen aloittaminen	2	3
Fysiikan ilmiöihin syventyminen	0	1
merkittäviin historiallisiin kokeisiin tutustuminen	0	0
fysiikan lakien testaaminen kvantitatiivisesti	0	0
Mallintaminen eri tasossa	3	3
demonstroida fysiikan hyödyntämistä teknologiassa ja muuten jokapäiväisessä elämässä	1	2
Havainnointi	3	3
Mittaus ja kirjaaminen	0	0
kerätyn tiedon käsittely	0	0
lopputulosten tekeminen	1	2
hypoteesin tekeminen	2	1
kokeen suunnittelu	1	1

