

**PIIRROSTEN TEKEMISEN JA SIMULAATION KÄYTÖN  
VAIKUTUKSISTA TOISIINSA LUKIOFYSIKASSA**

**Hanna Kronholm**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Pro Gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos

13.6.2014

Ohjaaja: Jouni Viiri



## TIIVISTELMÄ

Oppilaat tekivät piirroksia ja käyttivät simulaatiota veden tasoalторintaman etenemisestä kaksoisraon läpi. Oppilaiden piirtoprosessit sekä simuloinnin ja piirtämisen aikana käydyt keskustelut tallennettiin. Tutkimuksessa analysoitiin oppilaiden käymien keskustelujen tyyliä ja aihepiiriä sekä heidän laatimiaan piirroksia. Näiden pohjalta pystyttiin tutkimaan simulaation käytön vaikutuksia oppilaiden laatimiin piirrokseen ja piirtämisen aikana käytyihin keskusteluihin sekä toisaalta myös piirrosten laatimisen vaikutuksia siihen, miten oppilaat käyttivät simulaatiota. Lisäksi oppilaiden piirroksista ja piirtämisen aikana käydyistä keskusteluista saatiin tietoa oppilaiden käsityksistä veden tasoaltojen diffraktiosta ja interferenssistä.

Tämän tutkimuksen perusteella saatiin selville, että simulaation käytöllä oli myönteisiä vaikutuksia oppilaiden laatimiin piirrokseen sekä piirtämisen aikana käytyihin keskusteluihin, mikäli oppilaat eivät olleet ennen simulaation käyttöä latineet piirrosta simuloitavasta aiheesta. Ennen simulaation käyttöä tehdyllä piirroksella sen sijaan ei ollut vaikutusta siihen, miten oppilaat käyttävät simulaatiota ja keskustelevat sen käytön aikana. Oppilaiden käsitykset veden tasoaltojen diffraktiosta ja interferenssistä olivat pääosin hyviä, mutta varsinkin piirroksissa esiintyi virheellisyyksiä. Eniten vaikeuksia tuottivat diffraktion piirtäminen sekä superpositioperiaatteen käyttö. Oppilaat käyttivät fysiikan termejä hyvin vähän selostaessaan piirroksiaan ja käyttäessään simulaatiota.

## ESIPUHE

Olen saanut päätökseen yhden yliopisto-opintojeni kannalta merkittävimmistä prosesseista, nimittäin Pro gradu -tutkielmani. Ilman erinäisten tahojen ja henkilöiden tukea, kannustusta ja ohjausta en olisi siinä kuitenkaan onnistunut. Sen vuoksi haluankin esittää heille kiitokseni.

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitosta kiitän taloudellisesta tuesta, jonka ansiosta pystyin keskittymään graduni kirjoittamiseen kokopäiväisesti ja siten saamaan sen valmiiksi kohtuullisessa ajassa.

Haluan kiittää ohjaajaani Jouni Viiriä, joka auttoi mielenkiintoisen tutkimusaiheen löytämisessä sekä antoi minulle lukemattomia neuvoja tämän prosessin aikana. Kiitokset kuuluvat myös Antti Lehtiselle, joka antoi minulle muun muassa käytännön vinkkejä tutkimusaineiston keräämiseen liittyen. Kiitokset annan myös tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden opettajille, jotka osaltaan mahdollistivat tämän tutkimuksen tekemisen auttamalla tutkimusaineiston keräämisessä.

Vanhemmilleni lämpimät kiitokset kaikesta tuesta, jota olen teiltä saanut. Ilman teitä en olisi tässä. Rakkaimmat kiitokset puolisololleni Ristolle rohkaisevista sanoista ja hyvistä neuvoista, joita olen häneltä saanut. Viimeiseksi kiitokset sisäiselle motivaattorilleni, joka on sinnikkäästi potkinut minua eteenpäin koko kirjoitusprosessin ajan.

Jyväskylässä 13.6.2014

Hanna Kronholm

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ESIPUHE

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	OPPIMINEN.....	2
2.1	Keskustelu ja oppiminen.....	2
2.1.1	Lähikehityksen vyöhyke.....	3
2.1.2	Keskustelun tasot.....	5
2.1.3	Keskustelutyyppejä.....	6
3	SIMULAATIOT JA PIIRROKSET FYSIIKAN OPETUKSESSA.....	8
3.1	Simulaatiot.....	8
3.2	Piirroksat.....	10
3.3	Simulaatiot ja piirroksat oppimisen tukena.....	12
4	KAKSOISRAKO, DIFFRAKTIO JA INTERFERENSSI.....	13
4.1	Oppilaiden käsityksiä mekaanisten aaltojen diffraktiosta ja interferenssistä.....	16

5	IPAD .....	18
5.1	iPad laitteena .....	18
5.2	iPadin käyttö opetuksessa .....	18
5.2.1	Ripple Tank Free .....	19
5.2.2	Educreations .....	21
6	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT .....	23
6.1	Tutkimuskysymykset.....	23
6.2	Tutkimusmenetelmät.....	24
6.3	Piirrosten analysointi .....	28
6.3.1	Hyvän piirroksen kriteerit.....	29
6.3.2	Ruutukaappauksia simulaatiosta .....	31
6.4	Keskustelujen analysointi.....	35
6.4.1	Keskustelujen analysointi keskustelun tason mukaan .....	35
6.4.2	Keskustelujen luokittelu keskustelutyypin mukaan.....	35
6.4.3	Vertaisarviointi.....	39
7	TULOKSET .....	40
7.1	Oppilaiden käymät keskustelut piirtämisen aikana .....	40
7.2	Simulaation käytön vaikutus piirroksen laatuun.....	44

7.3	Piirroksen vaikutus simulaation käyttöön .....	46
7.4	Oppilaiden käsitykset veden tasoaaltojen diffraktiosta ja interferenssistä.....	47
8	POHDINTAA .....	52
8.1	Yhteenvedo tutkimustuloksista .....	52
8.2	Mahdollisia jatkotutkimusaiheita .....	58

## LÄHDELUETTELO

LIITE 1: Johdantoteksti ja tehtävänannot





# 1 JOHDANTO

Simulaatioiden käyttö opetuksessa on mahdollistunut tietotekniikan kehittyneen ja yleistymisen myötä. Simulaatiot ovat tutkimuksen mukaan tehokkaita oppilaiden oppimisen kannalta, kun niitä verrataan perinteisiin, fyysisillä laboratoriovälineillä tehtäviin oppilastöihin (Finkelstein, et al., 2005). Kaikista tehokkainta on kuitenkin sellainen opetus, jossa käytetään sekä simulaatioita että oikeita laboratoriovälineitä (Jaakkola, et al., 2011). Toinen oppimisen kannalta tehokas opetusmuoto on erilaisten kuvallisten esitysten käyttö opetuksessa. Fysiikassa erityisesti erilaiset kuvaajat, symbolit ja mallikuvat ovat tärkeitä kuvallisia esityksiä ja oppilaille tulisi opettaa jo varhaisessa vaiheessa erilaisten kuvallisten esitysten laatimista ja tulkintaa (Ainsworth, et al., 2011). Kuvallisten esitysten käyttö hyödyttää erityisesti visuaalisia oppijoita (Fleming & Mills, 1992). Lisäksi niitä voidaan käyttää myös silloin, jos oppilaalla on kielellisiä vaikeuksia, sillä kuvien kieli on universaali.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin oppilaiden itse laatiman piirroksen vaikutusta simulaation käyttöön ja vastaavasti simulaation käytön vaikutuksia piirrosten laatimiseen. Simulaatioiden ja piirrosten samanaikaista käyttöä opetuksessa on oppilaiden oppimisen kannalta tutkittu vielä melko vähän. Koska simulaatiot ovat hyviä oppimisen kannalta ja piirrokset kuvallisena esitysmuotona oleellisia fysiikan kannalta, oli luontevaa tutkia niiden yhteisvaikutusta.

## 2 OPPIMINEN

### 2.1 Keskustelu ja oppiminen

Keskustelu liittyy olennaisesti oppimiseen (Mortimer & Scott, 2003) ja keskustelu on yksi koulumaailmassa käytetyistä opetusmuodoista. Koulussa keskustelu voi olla opettajan ja oppilaan tai pelkästään oppilaiden välistä. Opettajan ja oppilaan välinen keskustelu luokkahuonetilanteessa liittyy useimmiten opetettavaan asiaan ja opettaja voi käyttää keskustelua opetuksessaan hyödyksi esimerkiksi kerratessaan edellistä oppituntia tai johdatellessaan oppilaita uuteen aiheeseen. Oppilaiden välinen keskustelu on tärkeässä roolissa, kun tehdään esimerkiksi oppilastoita, oppikirjan tehtäviä tai ryhmätöitä. Tällöin oppilaat eivät pelkästään tee yhteistyötä, vaan parhaimmassa tapauksessa myös ajattelevat yhdessä (Mercer, 2000). Oppilaiden keskinäinen ja oppilaan ja opettajan välinen keskustelu ovat luonteeltaan erilaisia. Syynä ovat muun muassa keskustelijoiden väliset tiedolliset ja taidolliset erot (Hogan, et al., 1999).

Keskustelu voi olla myös yksi oppimisen väline. Ihmisten kykyä oppia on tutkittu ja tutkimusten perusteella on ilmennyt, että ihmiset voidaan luokitella sen mukaan, miten he oppivat parhaiten. Ihmiset voidaan jaotella oppimistyyliensä perusteella Flemingin ja Mills'in laatiman luokittelun mukaan lukemalla ja kirjoittamalla oppiviin sekä auditiivisiin, visuaalisiin ja kinesteettisiin oppijoihin (Fleming & Mills, 1992). Auditiivisilla oppijoil-

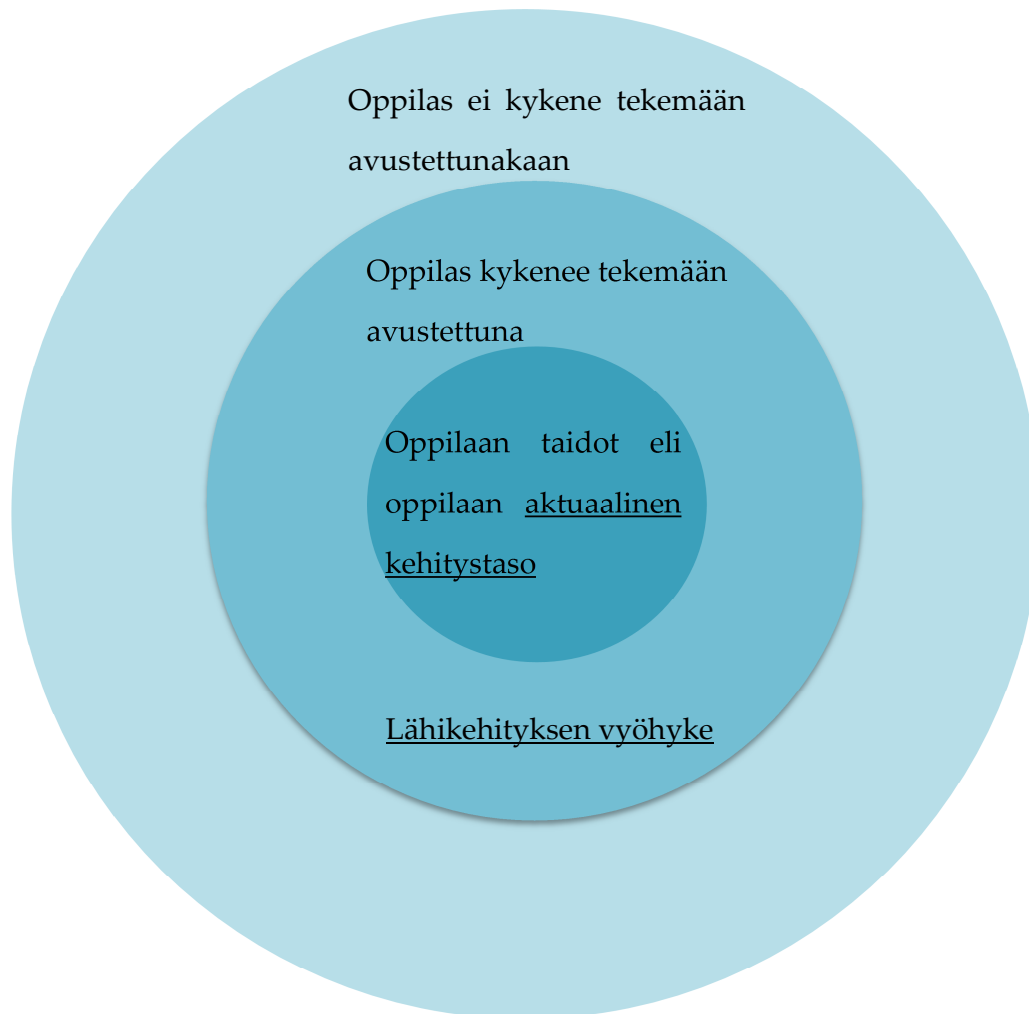
la tarkoitetaan ihmisiä, jotka oppivat keskustelun avulla eli siis kuuntelemalla ja tuottamalla puhetta, visuaalisilla oppijoilla tarkoitetaan ihmisiä, jotka oppivat esimerkiksi kuvien avulla ja kinesteettisillä oppijoilla ihmisiä, jotka oppivat liikkeen kautta eli esimerkiksi tekemällä oppilastöitä. On hyvin yksilöllistä, mikä oppimistyyli on kullekin paras ja joskus sopivin oppimistyyli voi olla myös jonkinlainen yhdistelmä edellisistä, esimerkiksi visuaalis-auditiivinen oppija.

### **2.1.1 Lähikehityksen vyöhyke**

Oppimisen kannalta on merkittävää, saako oppija ohjausta kokeneemmalta yksilöltä, esimerkiksi opettajalta. Venäläisen psykologi Lev Vygotskyn kehittämän teorian mukaan ihminen pystyy oppimaan hieman omaa kehityksen tasoaan vaikeampia asioita esimerkiksi kokeneemman ihmisen tai toisen oppilaan opastuksessa (Vygotsky, 1978). Kuvassa 1 on esitetty lähikehityksen vyöhykkeen idea pääpiirteittäin. Sisimmässä ympyrässä on yksilön oma taitotaso, jota hän voi laajentaa opastettuna seuraavalle tasolle eli lähikehityksen vyöhykkeelle. Uloimmalla kehällä on ovat asiat, jotka ovat vielä oppilaan osaamistason ulottumattomissa. Uloimman kehän asioita oppilas ei pysty vielä tekemään avustettunakaan.

Käytännön esimerkkinä lähikehityksen vyöhykkeestä voidaan ottaa juuri kirjoittamaan oppinut lapsi. Hän osaa itsenäisesti kirjoittaa joitakin sanoja (aktuaalinen kehitystaso) ja avustettuna kokonaisia lauseita (lähikehityksen vyöhyke). Kuitenkaan hän ei vielä kykene kirjoittamaan esimerkiksi kokonaista tarinaa avustettunakaan. Sen jälkeen, kun lapsi on oppinut itsenäisesti kirjoittamaan kokonaisia lauseita, pystyisi hän Vygotskyn teori-

an mukaan kirjoittamaan kokonaisia tarinoita kokeneemman yksilön avustamana. Käytännössä lähikehityksen vyöhykkeellä tarkoitetaan siis sitä, että yksilö pystyy laajentamaan osaamistaan hiljalleen, kunhan opittavat asiat eivät ole liian haastavia nykyiseen kehitystasoon nähden.



Kuva 1: Sisimmässä ympyrässä on oppilaan tämänhetkinen osaamistaso, jota ympäröi lähikehityksen vyöhyke. Uloimmalla kehällä ovat asiat, joita oppilas ei pysty tekemään vielä avustettunakaan.

Lähikehityksen vyöhyke -teorian mukaan yksilön kehitykseen liittyy olennaisesti vuorovaikutus muiden yksilöiden kanssa. Tätä sovelletaan koulumaailmassakin, sillä siellä oppilas oppii ollessaan vuorovaikutuksessa opettajan ja muiden oppilaiden kanssa. Opettaja voi tehostaa oppilaan oppimista haastamalla tätä esimerkiksi esittämällä kysymyksiä ja johdattelemalla siten kohti päämäärää eli uuden oppimista. Valmiita ratkaisuja ei kuitenkaan anneta. Tällaista menetelmää kutsutaan englanninkielessä nimellä *scaffolding* ja on idealtaan hyvin samankaltainen lähikehityksen vyöhykkeen käyttämisen kanssa (Wood, et al., 1976; Wood & Middleton, 1975).

### **2.1.2 Keskustelun tasot**

Myös keskustelun tasolla on merkitystä oppimisen kannalta. Keskustelut voidaan karkeasti jakaa käytännön toimintaan liittyviksi ja ideatason keskusteluiksi (Abrahams & Millar, 2008). Raja näiden kahden keskustelun tason välillä on hyvin häilyvä, ja joskus on vaikeaa määrittää, kumpaan kategoriaan keskustelu kuuluu. Esimerkiksi pelkästään simulaation käyttöön liittyvä keskustelu on käytännön tason keskustelua ja simulaatiosta tehtyjen havaintojen selittäminen fysiikan avulla fysiikan ideatason keskustelua. Opettajalla on suuri rooli sen kannalta, kuinka syvällisesti oppilaat oppitunneilla keskustelevat ja opettaja voi omalla toiminnallaan ohjata oppilaita keskustelemaan haluamallaan tavalla.

Oppilaiden keskustelua ja erityisesti keskustelun tasoja pienryhmissä on tutkittu aiemmin (Kallunki, 2009). Tutkimuksen perusteella havaittiin, että oppilaiden puheessa esiintyy enemmän korkeamman tason puhetta silloin,

kun he käyttävät sähköopin kytkentöjä tehdessään oikeiden oppilastyövälineiden sijasta kytkentäkortteja. Kytkentäkortit ovat laminoituja kuvia oikeista oppilastyövälineistä.

### **2.1.3 Keskustelutyyppejä**

Koska keskusteluilla on oppimisen kannalta tärkeä merkitys, tutkijat ovat luokitelleet keskustelua monin eri tavoin. Erilaiset keskustelut voidaan jakaa Mercerin mukaan kolmeen eri kategoriaan keskustelutyylin perusteella (Mercer, 2004). Keskustelu voi olla tyyliltään disputatiivista, kumulatiivista tai eksploratiivista.

Disputatiivisessa keskustelussa esiintyy erimielisyyksiä keskustelijoiden välillä (Mercer, 2004). Tyypillistä on se, että toisen näkemyksiä ei oteta huomioon tai niihin suhtaudutaan ylimielisesti. Usein disputatiivisessa keskustelussa argumentit ovat lyhyitä ja perustelemattomia ja tyyliltään disputatiivinen keskustelu voi olla esimerkiksi juupas-eipäs-väittelyä.

Kumulatiivisessa keskustelussa keskustelun osapuolet suhtautuvat positiivisesti siihen, mitä toiset sanovat. Keskustelijat pyrkivät kohti yhteistä päämäärää, eivätkä suhtaudu kriittisesti keskustelussa esiintyviin asioihin (Mercer, 2004). Keskustelu ei rakennu niinkään oikean tiedon, vaan yleisten käsitysten varaan. Kritiikin puutteen vuoksi se ei ole oppimisen kannalta kovinkaan hyvä keskustelutyyl.

Eksploratiivisessa keskustelussa keskustelijat suhtautuvat kriittisesti, mutta rakentavasti toisten esittämiin argumentteihin (Mercer, 2004). Yhteisymmärrykseen päästäkseen keskustelijat ottavat huomioon eri näkö-

kannat. Eksploratiivisessa keskustelussa omia näkökantojaan joutuu perustelemaan ja perusteluiden pohjalta keskustelijat pääsevät yhteisymmärrykseen. Eksploratiivinen keskustelu on oppimisen kannalta hyvä keskustelumuoto, sillä siinä asioita perustellaan ja niitä pohditaan monelta eri kannalta.

Mercerin kolmiosaisen keskusteluluokituksen lisäksi voidaan yhdeksi keskustelutyypiksi ottaa vielä monologi. Monologi tulee kreikankielen sanasta *monólogos*, joka tarkoittaa yksinpuhelua (Collins English Dictionary - Complete and Unabridged 10th Edition, 2009). Monologissa henkilö puhuu itsekseen, eikä keskusteluun osallistu puhujan lisäksi muita henkilöitä. Monologissa puhuja voi esittää kysymyksiä, mutta sen sijaan, että joku muu vastaisi kysymyksiin, vastaa hän niihin itse.

## 3 SIMULAATIOT JA PIIRROKSET FYSIIKAN OPETUKSESSA

### 3.1 Simulaatiot

Simulaatioilla tarkoitetaan fysiikan opetuksessa tietokoneella tai esimerkiksi tablettitietokoneella käytettäviä sovelluksia, joilla voidaan mallintaa fysiikan ilmiöitä. Simulaatioilla voidaan mallintaa monia sellaisia asioita, joiden demonstroiminen perinteisillä laboratoriovälineillä olisi haastavaa ja simulaatioilla voidaan myös korvata monia laboratoriovälineitä. Tämä mahdollistaa sen, että kaikkia laboratoriovälineitä ei tarvitse kouluun edes hankkia. Simulaatioiden ansioista myös sellaiset ilmiöt voidaan tehdä näkyväksi, joita ei muuten voitaisi paljain silmin havaita. Esimerkiksi Coloradon yliopiston PhET-simulaatiossa Circuit Construction Kit virtajohtimen sähkövirtaa on mallinnettu elektronien tasaisena liikkeenä (University of Colorado, 2013).

On havaittu, että simulaatioita käyttämällä oppilaat oppivat paremmin kuin perinteisiä oppilastyövälineitä käyttämällä (Finkelstein, et al., 2005). Perinteisiä laboratoriovälineitä käyttämällä oppilaiden huomio saattaa kiinnittyä ilmiön ymmärtämisen kannalta epäolennaisiin, käytännön toteutukseen liittyviin asioihin. Simulaatioilla fysiikan ilmiöiden mallintaminen sujuu yleensä nopeasti ja se mahdollistaa hyvän toistettavuuden.



Tällöin aikaa jää enemmän myös ilmiön taustalla olevan fysiikan pohtimiseen. Simulaatioiden hyvä puoli on myös se, että ne parantavat työturvallisuutta. Simulaatioita käyttämällä voidaan esimerkiksi lämmittää vettä ja määrittää veden ominaislämpökapasiteetti tai tehdä yksinkertaisia sähköopin töitä ilman, että kukaan oppilaista olisi vaarassa saada päällensä kuumaa vettä tai sähköiskun. Toisaalta tavallisilla oppilastyövälineillä tehdyissä oppilastöissä oppilaat joutuvat ottamaan huomioon asioita, jotka vaikuttavat työturvallisuuteen.

Simulaatioiden käyttämiseen liittyy myös ongelmia, jotka saattavat aiheuttaa väärinkäsityksiä oppilaiden keskuudessa. Simulaatiot perustuvat aina johonkin malliin ja siten poikkeavat jonkin verran todellisista tilanteista. Vuonna 2009 testatuista yli 200 simulaatiosta 80 % kuvasivat ideaalisia tilanteita eli niissä ei otettu lainkaan huomioon esimerkiksi kitkaa ja ilmanvastusta (Chen, 2010). Esimerkiksi PhET-simulaatiossa Circuit Construction Kit virtajohtimissa liikkuva elektronit saattavat antaa oppilaalle virheellisen kuvan elektronien koosta ja siitä, että ne kulkevat johtimessa nopeasti eteenpäin (University of Colorado, 2013). Samassa simulaatiossa johdinten pituudella ei ole merkitystä piirin sähkövirtaan, vaikka todellisuudessa virtajohtimet vastustavat sähkövirtaa ja resistanssin suuruuteen vaikuttaa muun muassa johtimen pituus. Tällöin oppilaalle saattaa syntyä virheellinen käsitys aiheesta ja sen vuoksi simulaation lisäksi tulisikin aina käyttää myös oikeita laboratoriovälineitä. Tutkimusten mukaan simulaatioiden ja perinteisten laboratoriovälineiden yhdistelmällä oppilaat oppivat paremmin kuin silloin, jos opetuksessa käytettiin pelkästään simulaatioita (Jaakkola, et al., 2011).

## 3.2 Piirroksat

Kuvalliset esitykset ovat tärkeässä roolissa luonnontieteissä. Kuvallisia esityksiä ovat muun muassa kuvat, kuvaajat, diagrammit ja videot. Esimerkiksi luonnontieteiden tutkimustulokset esitetään tieteellisissä julkaisuissa kuvaajien muodossa ja fysiikan yhtälöissä käytetään paljon kreikkalaisia kirjaimia. Oppilaille tulisi opettaa tapoja, joilla tieteenekijät käyttävät kuvallisia esityksiä hyödykseen (Ainsworth, et al., 2011). Kuvaajien ja symbolien tulkitsemisen opettelu alkaa jo koulussa ja fysiikan oppikirjoissa käytetään paljon kuvallisia esityksiä. Perinteisten oppikirjakuvitusten lisäksi kirjojen sivuilla on myös fysikaalisia kuvaajia sekä kuvia kokeellisten töiden mittausasetelmista. Esimerkiksi lukiossa käytettävissä fysiikan oppikirjoissa Fysiikka (Lehto, et al., 2005) ja Physica (Hatakka, et al., 2012) sekä peruskoulun *FyKe 7-9 Fysiikka* -oppikirjassa (Kangaskorte, et al., 2013) on runsaasti havainnollistavia kuvia sekä kuvallisten esitysten tulkintaa tai tuottamista vaativia tehtäviä.

Kuvien opetuskäytössä on monia etuja. Niitä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi silloin, jos oppilaalla on vaikeuksia lukemisen tai kirjoittamisen kanssa. Kuvia voidaan käyttää myös esimerkiksi maahanmuuttajien kanssa, sillä kuvien kieli on universaali eikä kielitaidottomuus haittaa niiden tulkitsemista. Kuvia voidaan käyttää hyödyksi, kun halutaan havainnollistaa jotain abstraktia asiaa. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kappaleeseen kohdistuvien voima-, nopeus- ja kiihtyvyyksvektorien piirtäminen vapaakappalekuviin. Kun voimavektorit piirretään näkyviin, voi oppilaan

olla helpompi kuvaa apuna käyttäen määrittää esimerkiksi kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman suunta

Fysiikan opetuksessa kuvia käytetään useimmiten hyödyksi siten, että oppilaan täytyy tulkita kuvaa. Esimerkiksi harjoitustehtäviin saattaa liittyä jokin kuva, jota oppilaan täytyy analysoida voidakseen ratkaista tehtävän. Tällainen kuva voi olla esimerkiksi graafinen esitys jonkin mittauksen tuloksista tai vapaakappalekuva. Joskus tehtävät voivat olla luonteeltaan sellaisia, että oppilaan täytyy tehtävänannon perusteella piirtää tilanteesta kuva, jota voi käyttää avuksi tehtävän ratkaisussa. Tällöin oppilas joutuu itse miettimään, millaisen kuvan hän tilanteesta piirtää eli mitkä asiat ovat tehtävän ratkaisemisen kannalta oleellisia.

Oppilaita täytyisi opettaa enemmän myös kuvien piirtämiseen, sillä kuvien piirtäminen itse syventää opiskelijoiden osaamista esimerkiksi kuvaajien ominaisuuksista. Kuvat ovat luonnontieteissä käytännöllisiä, kun halutaan selventää esimerkiksi tutkimustuloksia. Tilanteesta riippuen sopiva kuva voi olla esimerkiksi kuva mittauslaitteistosta tai tietokoneella piirretty kuvaaja mittaustuloksista. Joskus piirroksia voidaan käyttää myös oppimismenetelmänä. Oppilaalle voidaan antaa tehtäväksi esimerkiksi piirretyn tiivistelmän tekeminen lukemastaan tekstistä (Ainsworth, et al., 2011). Tällöin oppilas ei voi kopioida tekstiä suoraan, vaan hänen täytyy tuottaa tiivistelmänsä sisältö itse. Tämä voi tehostaa erityisesti visuaalisten oppijoiden oppimista, sillä kuvien tekeminen on heille ominainen tapa oppia (Fleming & Mills, 1992).

### 3.3 Simulaatiot ja piirrokset oppimisen tukena

Oppikirjatekstien lisäksi myös simulaatioita voidaan käyttää piirrosten tekemisen tukena. Tutkimuksen mukaan mahdollisuus käyttää simulaatiota samanaikaisesti piirroksen laatimisen kanssa sai oppilaat ottamaan paremmin huomioon erilaisten muuttujien vaikutuksen piirrettävään ilmiöön. Tutkimuksessa vertailtiin oppilaita, joilla oli mahdollisuus käyttää piirtämisen tukena joko tekstiä tai simulaatiota (Leenaars, et al., 2013). Saman tutkimuksen mukaan oppilaat, jotka piirsivät mallikuvan sijaan realistisen piirroksen, ottivat huomioon useampia muuttujia, kuin mallikuvan piirtäneet oppilaat. Mallikuvalla tarkoitetaan tässä piirrosta, jossa esimerkiksi auto esitetään pelkkänä laatikkona, kun taas realistisessa kuvassa auto on piirretty auton näköiseksi.

Toisaalta on havaittu, että visuaalisten esitysten, esimerkiksi piirrosten tekeminen ennen dynaamisten visualisaatioiden käyttöä lisää oppilaiden oppimista simuloitavasta aiheesta, sillä piirrosten tekeminen parantaa oppilaiden kykyä linkittää asioita teorioiden ja dynaamisten visualisaatioiden välillä (Zhang & Linn, 2011). Dynaamisilla visualisaatioilla tarkoitetaan tässä eräänlaisia simulaatioita, joilla voidaan tehdä näkyväksi jokin sellainen asia, jota ei muuten pystyittäisi näkemään, esimerkiksi kemiallinen reaktio atomi- ja molekyylylitasolla.

## 4 KAKSOISRAKO, DIFFRAKTIO JA INTERFERENSSI

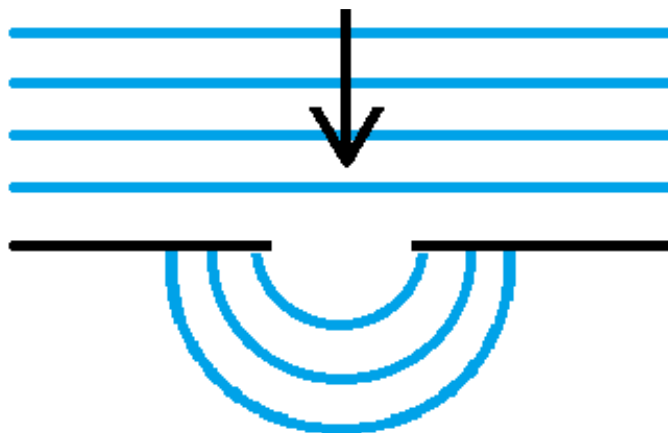
Aallot voidaan tämän tutkimuksen tarpeisiin jakaa mekaanisiin ja sähkömagneettisiin aaltoihin. Mekaaninen aalto on häiriö, joka etenee väliaineessa. Väliaine voi olla esimerkiksi ilma, vesi tai jokin metalliesine ja samassa väliaineessa voi edetä samanaikaisesti useita aaltoliikkeitä. Mekaaninen aaltoliike voi olla poikittaista tai pitkittäistä värähtelyä ja joskus niiden yhdistelmäkin. Tutuimpia esimerkkejä mekaanisista aalloista ovat aallot veden pinnalla sekä ääniaallot. Sähkömagneettinen aalto on sähkömagneettisen kentän värähtelyä ja se ei tarvitse väliainetta edetäkseen. Sähkömagneettiset aallot voivat edetä siis myös avaruudessa. Esimerkiksi radioaallot, valo sekä röntgenaallot ovat sähkömagneettisia aaltoja. (Knight, 2013)

Sekä mekaaniset että sähkömagneettiset aallot toteuttavat aaltoliikkeen perusominaisuudet. Aallot voivat heijastua, taittua, absorboitua, diffraktoitua eli taipua ja interferoida eli yhteisvaikuttaa muiden aaltojen kanssa. Mekaaniset ja sähkömagneettiset aallot noudattavat myös aaltoliikkeen perusyhtälöä

$$v = f\lambda,$$

missä  $v$  on aallonnopeus,  $f$  taajuus ja  $\lambda$  aallonpituus. Kun aaltorintama saapuu kahden väliaineen rajapintaan ja etenee väliaineesta toiseen, aallon taajuus ei muutu. (Knight, 2013)

Diffraktiolla tarkoitetaan aaltojen taipumista, jota tapahtuu, kun etenevä aalto kohtaa esteen. Tällöin aalto muuttaa muotoaan. Aaltojen diffraktiota voidaan mallintaa alankomaalaisen fyysikon Christiaan Huygensin mukaan nimetyn, vuonna 1678 keksityn Huygensin periaatteen mukaan. Huygensin periaatteen mukaan jokaista aaltorintaman pistettä voidaan pitää uuden alkeisaallon syntymäkohtana (Knight, 2013; Young & Freedman, 2000). Esimerkiksi raoissa aalto voi taipua eli diffraktoitua (Kuva 2).

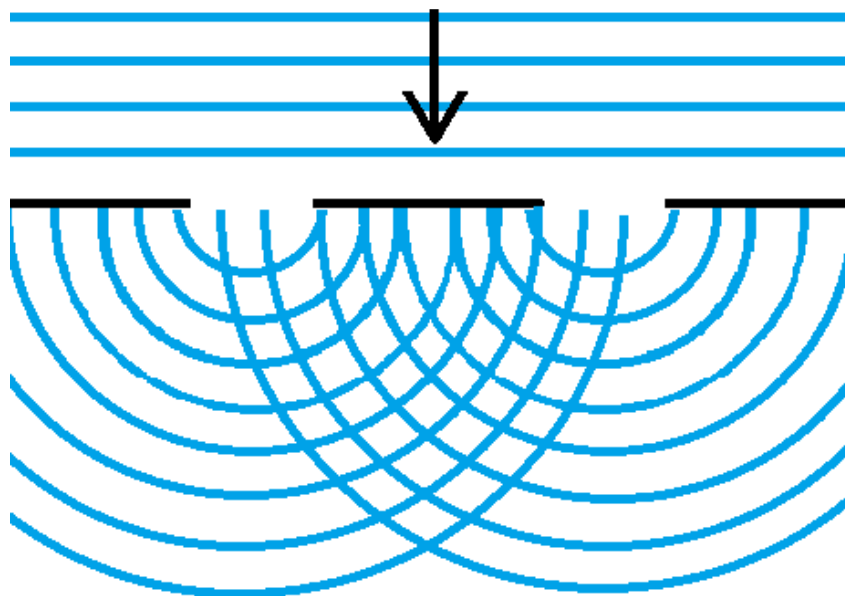


Kuva 2: Tasoaltorintaman diffraktio eli taipuminen raossa

Raolla tarkoitetaan estettä, jossa esteeseen saapuva aalto pääsee etene-  
mään raon läpi. Interferenssi useammasta kuin yhdestä raosta toteuttaa  
hilayhtälön

$$d \sin \theta = m\lambda,$$

missä  $d$  on rakojen välinen etäisyys,  $\theta$  kulma, jolla vahvistava interferenssi  
tapahtuu,  $\lambda$  aallonpituus ja  $m$  kokonaisluku, joka kertoo interferenssimak-  
simin kertaluvun (Knight, 2013). Diffraktio on parhaiten havaittavissa sil-  
loin, kun esteen koko ja aallonpituus ovat samaa luokkaa, sillä diffraktio  
on interferenssi-ilmiö.



Kuva 3: Tasaaltorintaman diffraktio ja interferenssi kaksoisraossa

Interferenssillä tarkoitetaan aaltojen yhteisvaikutusta (Kuva 3). Kun kaksi aaltoa interferoi keskenään, voivat ne joko vahvistaa tai heikentää toisiaan. Superpositioperiaatteen mukaan täysin vastakkaisissa vaiheissa olevat aallot heikentävät toisiaan maksimaalisesti ja vastaavasti täysin samassa vaiheessa olevat aallot vahvistavat toisiaan maksimaalisesti. Kuvan 3 aaltorintamia kuvaavat siniset viivat ja kaaret ovat aaltorintaman aaltojen huippuja ja huippujen risteyskohdissa raoissa taipuneet aallot vahvistavat toisiaan maksimaalisesti. Yhteisvaikutuksen seurauksena syntynyttä summa-aaltoa kutsutaan interferenssiaalloksi. (Knight, 2013)

#### **4.1 Oppilaiden käsityksiä mekaanisten aaltojen diffraktiosta ja interferenssistä**

Oppilaiden käsityksiä veden aaltojen diffraktiosta ja interferenssistä on tutkittu melko vähän. Coetzeen ja Imendan Etelä-Afrikassa tekemän tutkimuksen mukaan oppilailla on useita virhekäsityksiä mekaanisten aaltojen diffraktioon ja interferenssiin liittyen (Coetzee & Imenda, 2012).

Tutkimuksen mukaan ensimmäinen virhekäsitys liittyy superpositioperiaatteeseen: oppilaat ajattelevat, että superpositioperiaatetta kuuluu soveltaa samanaikaisesti sekä  $x$ - että  $y$ -suunnassa. Tällöin esimerkiksi kahden identtisen aallon interferoidessa sekä summa-aallon aallonpituus että amplitudi olisivat kaksinkertaiset verrattuna alkuperäisiin aaltoihin. Oppilaat myös ajattelevat, että interferenssiä tapahtuu ainoastaan aalloilla, jotka eroavat jotenkin toisistaan eli ovat esimerkiksi keskenään eri vaiheissa. Samaan asiaan liittyy virhekäsitys siitä, että interferenssissä aallot ainoas-



taan vahvistavat toisiaan, vaikka todellisuudessa voivat sekä vahvistaa että heikentää toisiaan. Aalloilla saatetaan myös ajatella olevan joitakin ominaisuuksia, joita niillä ei todellisuudessa ole, esimerkiksi massaa. Tällöin aaltojen törmäyksiä käsitellään usein samoin kuin esineiden törmäyksiä ja törmäykset voivat täten olla joko kimmoisia tai kimmottomia. (Coetzee & Imenda, 2012)

Oppilaat ajattelevat myös, että aaltoliikkeen amplitudi on suoraan verrannollinen jaksonaikaan siten, että amplitudin kaksinkertaistuessa myös jaksonaika kaksinkertaistuu. Viimeisenä tutkimuksesta tuli ilmi se, että oppilaat ajattelevat ääniaaltojen ja sähkömagneettisten aaltojen olevan käsitteellisesti sama asia. Tästä johtuu muun muassa se, että he saattavat ajatella äänen etenevän avaruudessa, vaikka todellisuudessa ääni mekaanisena aaltona tarvitsee aina jonkin väliaineen edetäkseen. Oppilaat siis antavat mekaanisille aalloille sellaisia ominaisuuksia, joita niillä ei todellisuudessa ole. (Coetzee & Imenda, 2012)

Oppilaiden käsityksiä valon diffraktiosta ja interferenssistä kaksoisraossa on myös tutkittu (Ambrose, et al., 1999). Myös tässä tutkimuksessa tuli ilmi, että oppilaat voivat ajatella, että aalloille on hybridimalli, joka yhdistelee mekaanisten ja sähkömagneettisten aaltojen ominaisuuksia. Siis oppilaat ajattelevat esimerkiksi valon käyttäytyvän kaksoisraossa samalla tavalla kuin veden aallot. Onkin mielenkiintoista nähdä, toimiiko hybridimalli myös toiseen suuntaan eli käsittelevätkö oppilaat veden aaltoja samalla tavalla kuin valoa.

## **5 IPAD**

### **5.1 iPad laitteena**

iPad on Applen valmistama tablettitietokone, jota käytetään 9,7” kosketusnäyttöä koskettamalla (Apple Inc., 2014). iPadiin on saatavilla myös näppäimistö helpottamaan kirjoittamista, jolloin laite muistuttaa enemmän tavallista kannettavaa tietokonetta. iPadissä on muun muassa kiihtyvyysanturi, gyroskooppi ja ympäristön valoisuuden tunnistin, joihin monet opetuskäyttöön soveltuvat ohjelmat perustuvat (Apple Inc., 2014).

iPadissa yhdistyvät monet älypuhelimien ja kannettavien tietokoneiden hyvät ominaisuudet. iPad on langattomuutensa vuoksi helppo ottaa luokahuoneen ulkopuolelle, joten sitä voidaan käyttää esimerkiksi ulkona. iPadin akku on pitkäkestoinen ja sen luvataan kestävän jopa 10 tunnin ajan (Apple Inc., 2014). iPad on nopeasti käyttövalmis, joten sen käyttöönotto ei vie oppitunnista aikaa juuri lainkaan.

### **5.2 iPadin käyttö opetuksessa**

iPadia voidaan käyttää opetuksessa moneen eri tarkoitukseen. Fysiikan ja muiden luonnontieteiden opetuksessa iPadia voidaan käyttää esimerkiksi simulointiin tai osana mittalaitteistoa. Kun iPadia käytetään osana mittalaitteistoa, voidaan hyödyntää joko laitteen sisäisiä antureita tai liittää lait-

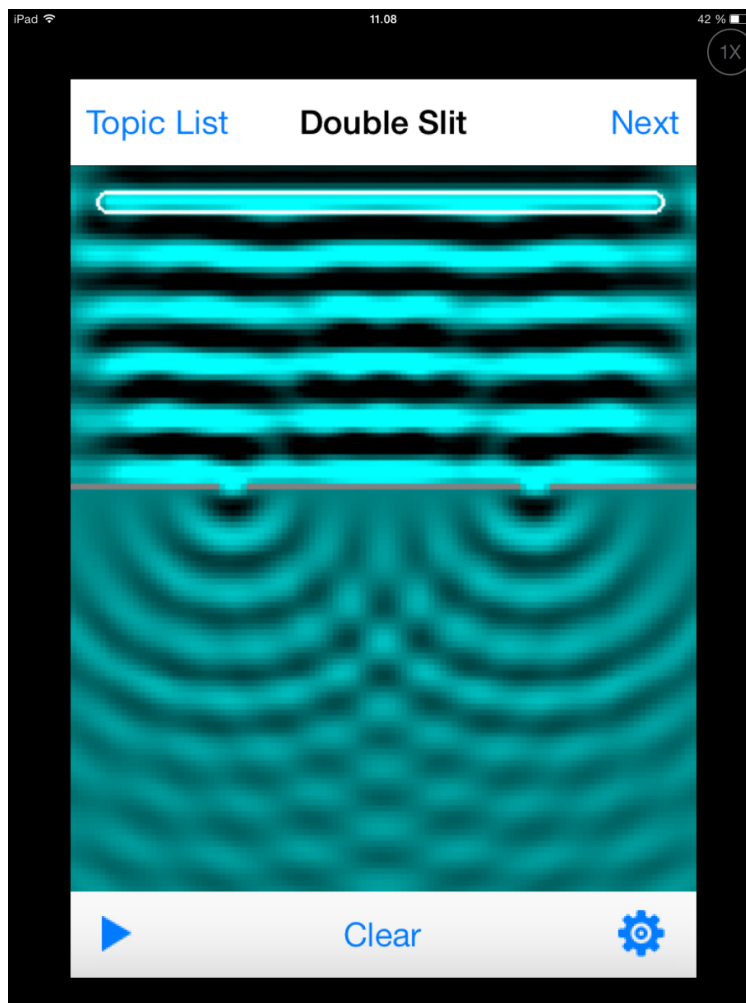
teeseen ulkoisia antureita esimerkiksi lämpötilan mittaamista varten (Aginova Inc., 2014). Opetuskäyttöön soveltuvia simulaatioita ja mittausohjelmistoja löytyy runsaasti App Storesta (Apple Inc. 2, 2014). Monet ohjelmista ovat ilmaisia tai niistä on ainakin saatavilla ilmaisversio.

iPad soveltuu hyvin myös muistiinpanojen tekemiseen ja tiedonhakuun. Jos oppilailla on käytössään iPadit tai muut tablettitietokoneet, voidaan oppikirjoista ja paperisista muistiinpanoista luopua vaikka kokonaan. Täysin sähköisiin oppimateriaaleihin ja tablettitietokoneisiin nojautuvaa opetusta on jo kokeiltu. Yhden lukuvuoden ajaksi luovuttiin oppikirjoista, monisteista ja liitutauluista kokonaan. Kokeiluun osallistuneiden oppilaiden kokemukset olivat pääosin positiivisia. (Fons, 2010)

### **5.2.1 Ripple Tank Free**

Ripple Tank Free on ilmainen mekaanisten aaltojen simulointiin tarkoitettu ohjelma (Falstad.com, 2014). Ripple Tank Free -ohjelmaa voidaan käyttää ainakin iPadillä ja iPhonella. Nykyään ilmaisversiota ei kuitenkaan ole enää saatavilla, vaan ainoastaan maksullinen versio, Ripple Tank on ostettavissa App Storesta (Apple, 2014). Tässä tutkimuksessa käytetyllä Ripple Tank Free -ohjelmalla voi simuloida tasoallon etenemistä kaksoisraon läpi. Simulaatiossa näkee hyvin, miten aalto taipuu mennessään raosta läpi, kuten kuvasta 4 huomataan. Samalla näkee myös sen, miten taipuneet aallot interferoivat eli yhteisvaikuttavat keskenään. Ripple Tank Free -ohjelmassa aaltolähteen taajuutta ja etäisyyttä kaksoisraoista sekä rakojen leveyttä ja niiden välistä etäisyyttä pystyy muuttamaan. Tämä mahdollis-

taa eri tekijöiden vaikutuksen tutkimisen tasoallon diffraktioon ja interferenssiin kaksoisraossa.

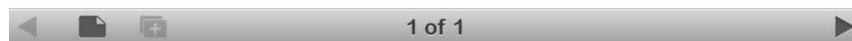


Kuva 4: Veden tasoalloorintaman käyttäytyminen kaksoisraossa Ripple Tank Free -ohjelmalla simuloituna

## 5.2.2 Educreations

Educreations on ilmainen ja helppokäyttöinen iPadille saatavilla oleva ohjelma (Educreations, 2014), jolla pystyy luomaan animoituja esityksiä. Esityksiin voi sisällyttää puhetta, piirroksia, tekstiä ja kuvia ja ne voi tallentaa sekä jakaa esimerkiksi opetusryhmän tai laajemman yhteisön kesken.

Educreations-ohjelmalla voi tallentaa sen, mitä ruudulle piirretään ja kirjoitetaan sekä keskustelun, joka käydään piirtämisen ja kirjoittamisen aikana. Sovellus käyttää äänen nauhoittamiseen iPadin sisäistä mikrofonia. Educreations-ohjelman etu verrattuna erilliseen piirto-ohjelmaan ja ääninauhuriin on se, että siinä keskustelut tulevat oikeaan aikaan piirroksen nähden eli niitä ei tarvitse erikseen synkronoida.



Kuva 5: Educreations-ohjelman käyttöliittymä

Kuvassa 5 on ruutukaappaus Educreations-ohjelman käyttöliittymästä. Sovelluksen yläpalkista voidaan valita piirroksessa käytettävät värit, lisätä esitykseen tekstiä ja valmiita kuvia sekä kumota tai pyyhkiä esityksen osia. Tallennus asetetaan päälle ruudun oikeassa yläkulmassa olevasta REC-painikkeesta. Samasta painikkeesta tallennus on myös mahdollista keskeyttää. Ruudun alalaidassa olevilla nuolilla voi lisätä esitykseen uusia sivuja sekä palata edellisille sivuille. Kun esitys on valmis, sen voi tallentaa ja jakaa vasemman yläkulman Done-painikkeesta. Jotta Educreations-ohjelmalla tehtyjä esityksiä voisi jakaa esimerkiksi oppilaille, täytyy luoda tili, jolle esitykset tallennetaan. Muuten ne tallentuvat vain siihen iPadiin, jolla esitys on luotu.

Tässä tutkimuksessa oppilaat käyttivät piirrosten tekemiseen Educreations-ohjelmaa. Educreations-ohjelmaa on käytetty tutkimustarkoitukseen jo aiemmin, kun on tutkittu oppilaiden tekemiä piirroksia ja piirtämisen aikana käytyjä keskusteluja (Lehtinen & Viiri, 2014).

## 6 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT

### 6.1 Tutkimuskysymykset

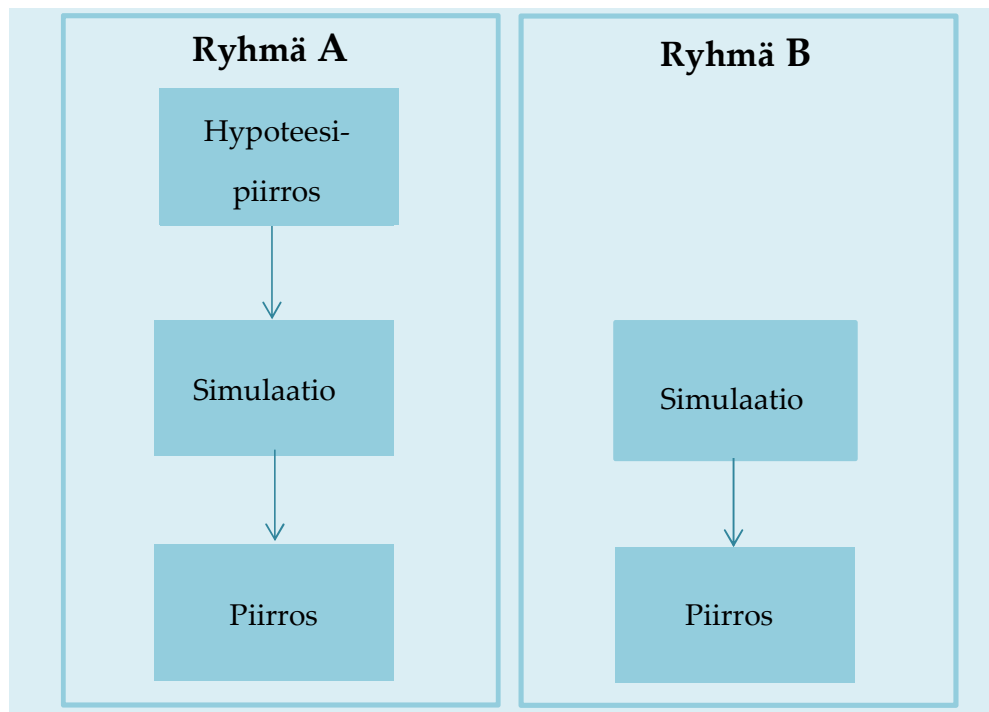
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten piirrosten tekeminen ja simulaation käyttö samaan aiheeseen (veden tasoalторintaman eteneminen kaksoisraon läpi) liittyen vaikuttavat toisiinsa. Tutkimuskohteina olivat oppilaiden tekemät piirrokset, simulaation käyttö sekä oppilaiden käymät keskustelut piirtämisen ja simuloinnin aikana.

Aiempien tutkimusten pohjalta esiin nousivat seuraavat kysymykset, joihin tällä tutkimuksella pyrittiin löytämään vastaukset:

1. Miten oppilaat keskustelevat toistensa kanssa tehdessään piirrossamalla fysiikan ilmiöstä (veden tasoalторintaman eteneminen kaksoisraon läpi)?
2. Vaikuttaako simulaation käyttäminen piirroksen laatuun?
3. Vaikuttaako ennen simulointia tehty piirros simulaation käyttöön ja sen aikana käytyyn keskusteluun?
4. Millaisia käsityksiä oppilailla on veden tasoalтоjen diffraktiosta ja interferenssistä?

## 6.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimukseen osallistui 26 abiturienttia. Tutkimus suoritettiin helmikuussa 2014 ja tutkimukseen osallistuneet oppilaat kävivät silloin fysiikan ker-tauskurssia. Kaikki tutkimukseen osallistuneet oppilaat olivat aiemmin suorittaneet lukiofysiikan Aallot-kurssin, joten aalto-oppi oli heille ennes-tään tuttu aihepiiri. Tutkimukseen osallistuneet oppilaat jaettiin kahteen ryhmään (ryhmät A ja B), jotka olivat Aallot-kurssin arvosanojen mukaan lähes samantasoisia, sillä ryhmän A arvosanojen keskiarvo oli 9,3 ja ryh-män B 8,7.



Kuva 6: Tutkimusasetelma



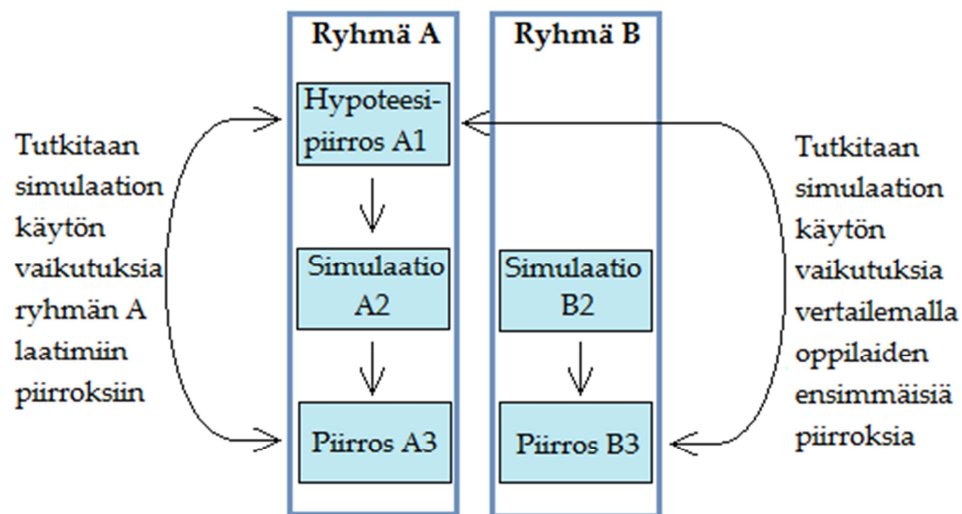
Oppilaat osallistuivat tutkimukseen pareittain. Yksilösuorituksia ei tutkimukseen haluttu, sillä silloin ei olisi pystytty tutkimaan oppilaiden välistä keskustelua. Ryhmässä A oli seitsemän oppilasparia ja ryhmässä B kuusi oppilasparia. Ryhmä A teki hypoteesipiirroksen tutkittavasta ilmiöstä ennen simulointia ja ryhmä B aloitti suoraan simulaatiotehtävällä. Molemmat ryhmät tekivät vielä jälkikäteen piirrokset simuloidusta ilmiöstä. Kuvassa 6 on havainnollistettu ryhmien A ja B osallistumista tutkimukseen.

Simulaationa käytettiin Ripple Tank Free -ohjelmaa, jolla pystyy simuloimaan monia aalto-opin ilmiöitä, mukaan lukien veden tasoallon käyttäytymistä kaksoisraossa. Piirrokset tehtiin käyttäen Educreations-ohjelmaa, jolla pystyy nauhoittamaan piirtoprosessin keskusteluineen. Educreations-ohjelmaa käytettiin myös simuloinnin aikana käytyjen keskustelujen äänittämiseen. Kumpaakin tutkimuksessa käytetyistä ohjelmista käytettiin iPadilla. Koska Educreations-ohjelmaa ei voi käyttää samanaikaisesti samalla iPadilla muiden sovellusten kanssa, oppilailla oli tutkimuksen aikana käytössään myös toinen iPad, jolla he käyttivät Ripple Tank Free -ohjelmaa. Ripple Tank Free -ohjelman käyttämistä rajoitettiin sillä, että iPadit, joissa kyseinen ohjelma oli, olivat oppilaiden käytössä ainoastaan simulointia vaatineen tehtävän tekemisen ajan. Näin ollen oppilaat eivät voineet katsoa piirroksiinsa mallia Ripple Tank Free -ohjelmasta piirtoprosessin aikana.

Oppilaat saivat tutkimuksen tehtäviin kirjallisen ohjeistuksen. Jokaisen tehtävän alussa oppilaille jaettiin moniste, jossa oli ohjeistus kyseiseen tehtävään sekä ohjeita Educreations- ja Ripple -ohjelmien käyttöön. Kuhn-

kin tehtävään liittyvät monisteet (Liite 1) olivat oppilaiden käytössä ainoastaan kyseisen tehtävän tekemisen ajan. Näin ollen oppilaat eivät ennalta tienneet, millaisia tehtäviä heidän tulee tutkimukseen osallistuessaan tehdä, eivätkä toisaalta voineet palata enää edellisiin tehtäviin tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa. Oppilaille heti tutkimuksen alussa jaettu johdantoteksti (Liite 1) aalloista, diffraktiosta ja interferenssistä sen sijaan oli oppilaiden käytössä koko tutkimukseen osallistumisen ajan.

Simulaation käytön vaikutuksia kunkin oppilasparin tekemiin piirroksiin tutkittiin vertailemalla ryhmän A tehtävissä A1 ja A3 laatimia piirroksia toisiinsa. Tällä tavoin nähtiin, oliko simulaation käytöllä vaikutusta ryhmän A laatimiin piirroksiin. Tutkimuksessa vertailtiin myös ryhmän A tehtävässä A1 laatimia hypoteesipiirroksia ryhmän B simuloinnin jälkeen tehtävässä B3 laatimiin piirroksiin.



Kuva 7: Havainnollistava kuva oppilaiden laatimien piirrosten vertailusta

Näitä piirroksia verrattiin toisiinsa siksi, että kyseessä oli kummankin ryhmän ensimmäinen piirros ja haluttiin tutkia vaikuttaako simulaation käyttö ensimmäisen piirroksen tekemiseen. Kuvassa 7 on havainnollistettu, mitä piirroksia on vertailtu keskenään simulaation käytön vaikutuksen selvittämiseksi. Piirrosten analysoinnista on kerrottu tarkemmin luvussa 6.3.

Piirroksen vaikutusta simulaation käyttöön tutkittiin analysoimalla simuloinnin aikana käytyjä keskusteluja ja vertailemalla ryhmiä A ja B toisiinsa. Ryhmien A ja B keskusteluja vertailtiin sen vuoksi toisiinsa, että ryhmä A oli tehnyt piirroksen ennen simulointia, kun taas ryhmä B ei ollut. Simulaation käyttö äänitettiin Educreations-ohjelmalla. Oppilaat saivat tehtävissä A2 ja B2 monisteen, jossa oli ohjeistus Ripple Tank Free -simulaation käyttöön. Monisteessa oli lisäksi kysymyksiä, jotka ohjasivat simulaation käyttöä, jotta oppilaat saatiin simuloimaan haluttuja asioita. Oppilaiden tuli vastata kysymyksiin kirjallisesti simuloinnin aikana, joten monisteesta voitiin jälkikäteen tarkistaa, mihin lopputulokseen oppilaat olivat simulaation perusteella tulleet, mikäli se ei käynyt ilmi keskusteluista. Keskustelujen analysoinnista on kerrottu tarkemmin luvussa 6.4.

Oppilaiden käsityksiä tasoaaltojen diffraktiosta ja interferenssistä tutkittiin analysoimalla ryhmän A tehtävässä A1 laatimia piirroksia ja niihin liittyviä keskusteluja. Näin tehtiin siksi, että simuloimalla oppilaat olivat voineet saada lisätietoa aiheesta ja sen vuoksi simuloinnin jälkeen tehdyt piirrokset ja niiden aikana käydyt keskustelut jätettiin tutkimusaineiston ulkopuolelle, kun tähän kysymykseen etsittiin vastausta. Oppilaille jaettiin

ennen tehtävien tekemisen aloittamista johdantoteksti, joka oli tarkoitettu ainoastaan muistinvirkistykseksi, joten katsottiin, ettei se vaikuttanut oppilaiden käsityksiin veden tasoaltojen diffraktiosta ja interferenssistä merkittävästi.

Tässä tutkielmassa olevat keskustelukatkelmat ja piirrokset on otettu tähän tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden keskusteluista ja piirtoprosesseista. Oppilaiden anonymiteetin säilyttämiseksi esimerkeiksi poimitut keskustelukatkelmat ja piirrokset on koodattu siten, että niistä ilmenee vain oppilasparin numero sekä se, kumpaan ryhmään kyseinen oppilaspari kuului. Esimerkiksi koodi RAP2 tarkoittaa ryhmän A oppilasparia 2 ja vastaavasti RBP6 ryhmän B oppilasparia 6.

Luokkahuoneen tapahtumia kuvattiin videokameralla. Videointi suoritettiin siksi, että jälkikäteen olisi mahdollista tarvittaessa tarkastella esimerkiksi tehtävien ohjeistusta sekä sitä, mitä luokkahuoneessa tapahtui tehtävien teon aikana.

### **6.3 Piirrosten analysointi**

Oppilaiden piirtoprosessit tallennettiin Educreations-ohjelmalla, joten jälkikäteen pystyttiin katsomaan koko piirtoprosessi uudelleen läpi. Sen ansiosta pystyttiin tarvittaessa tarkastelemaan piirtämisen vaiheita sekä sen aikana käytyjä keskusteluja.

### 6.3.1 Hyvän piirroksen kriteerit

Jotta piirroksia pystyttiin vertailemaan keskenään, täytyi laatia kriteerit hyvän piirroksen ominaisuuksille. Tehtävänannossa pyydettiin oppilaita mallintamaan piirtämällä veden tasoalloorintaman käyttäytymistä kaksoisraossa. Ensimmäinen kriteeri oli luonnollisesti se, että aallot todellakin olisi piirretty tasoaltoina kulkemaan kohti kaksoisrakoa. Oppilaiden tulisi myös käsitellä veden aaltoja mekaanisina aaltoina sähkömagneettisten aaltojen sijaan ja sen tulisi myös ilmetä piirroksissa. Aaltolähdettä ja tasoaltojen heijastumista takaisin aaltolähteeseen ei tarvitsisi välttämättä piirtää näkyviin. Riittää, että oppilaat olisivat pohtineet aaltolähteen ja kaksoisraojen välisen etäisyyden vaikutusta mallinnettavaan ilmiöön joko piirroksissaan tai keskusteluissaan.

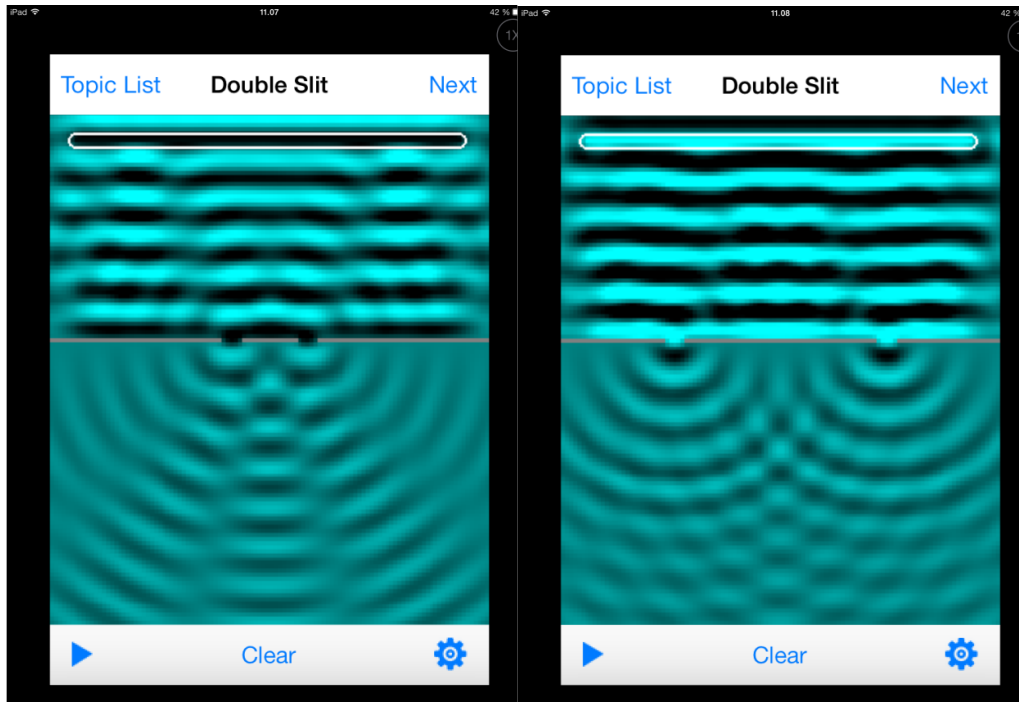
Kun aallot saapuvat rakoon, ne taipuvat. Kaksoisraoissa taipuneet aallot tulisi piirtää kaarevina ja aaltoja kuvaavien kaarien tulisi ulottua niin pitkälle kuin mahdollista. Alkeisaaltojen piirtämistä ja käsittelyä erikseen ei vaadita. Kaksoisraoissa taipuneet aallot interferoivat eli yhteisvaikuttavat keskenään ja interferenssin tulisi olla kuvissa näkyvissä. Summa-aaltojen piirtämistä kuvaan ei vaadita, mutta se katsotaan ansioksi. Taulukossa 1 on esitetty piirroksissa vaadittujen kriteerien kuvaukset sekä esimerkit kunkin kriteerin esiintymisestä piirroksissa tai keskusteluissa.

Taulukko 1: Hyvän piirroksen kriteerit. Esimerkkeinä vaihekuvia oppilaspain RAP5 tehtävään A3 laatimasta piirroksesta.

Kriteeri	Kuvaus	Esimerkki
Aallot ovat tasoaaltoja	Aallot on piirretty tasomaisina etenemään kohti kaksoisrakoa.	
Aallolähteen etäisyys kaksoisraosta	Oppilaiden tulee pohtia, miten aallolähteen etäisyys kaksoisraosta vaikuttaa piirrettävään ilmiöön.	Asia ilmenee joko keskusteluista tai piirroksista.
Diffraktio	Kun aallot tulevat rakoön, ne taipuvat. Taipuneiden aaltojen tulee ulottua mahdollisimman pitkälle.	
Interferenssi	Kummastakin raosta läpi tulevat taipuneet aallot yhteisvaikuttavat keskenään.	
Summa-aalto	Oppilaat ovat superpositioperiaatetta käyttäen perustelleet summa-aallon syntymisen.	

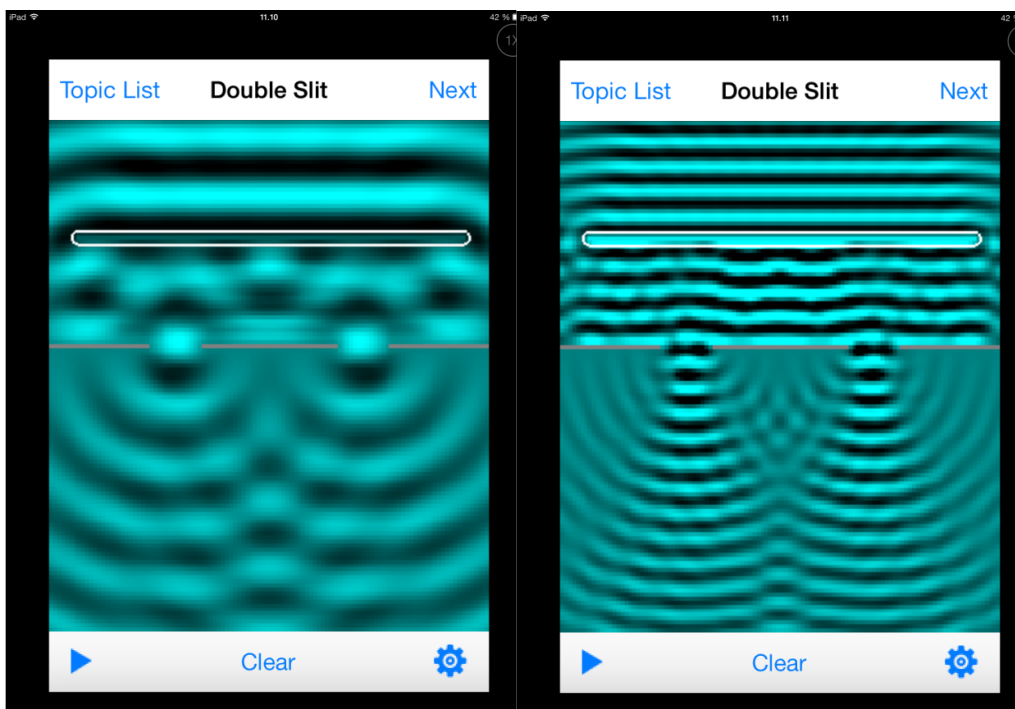
### 6.3.2 Ruutukaappauksia simulaatiosta

Tässä tutkimuksessa oppilaat saivat käyttää Ripple Tank Free -ohjelmaa aaltojen simulointiin. Koska oppilaat saivat mallintaa kyseisellä ohjelmalla samaa ilmiötä kuin piirsivät, on mahdollista, että simuloinnin jälkeen tehdyissä piirroksissa esiintyy samoja piirteitä kuin simulaation tilanteissa. Simuloimalla havaitut tilanteet ovat voineet vaikuttaa jonkin verran myös oppilaiden käymiin keskusteluihin piirtämisen aikana. Yhteneväisyyksien havaitsemiseksi seuraavassa on esitetty kuvia simuloituista tilanteista.



Kuva 8: Rakojen etäisyyden vaikutus veden tasoaaltojen taipumiseen kaksoisraossa Ripple Tank Free -ohjelmalla simuloituna. Vasemmanpuoleisessa kuvassa raot ovat lähellä toisiaan ja oikeanpuoleisessa kaukana toisistaan.

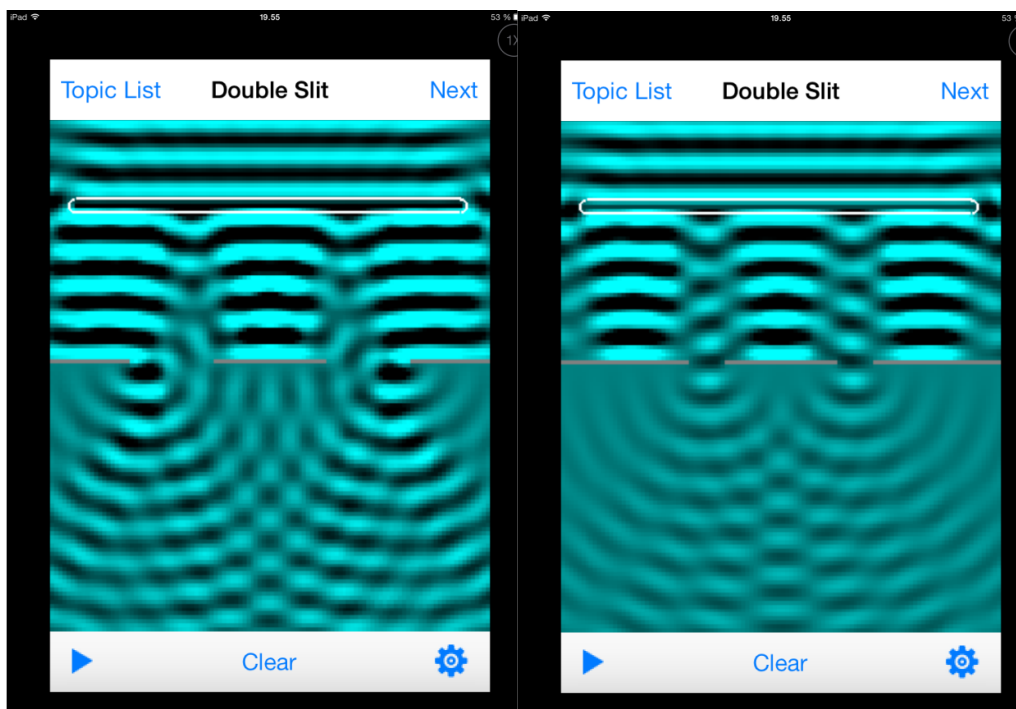
Kuvassa 8 voidaan nähdä rakojen välisen etäisyyden vaikutus aaltojen käyttäytymiseen kaksoisraossa. Simulaation perusteella voi ainakin tehdä sellaisen havainnon, että interferenssikuviot ovat kyseisissä tilanteissa hyvin erilaisia. Kun raot ovat lähellä toisiaan, raoissa taipuneet aallot eivät näytä niin kaarevilta. Lisäksi näyttää, etteivät ne mene ollenkaan viereisen raon eteen. Interferenssikuvio kyseisessä tilanteessa näyttää sektorimaiselta. Kun raot ovat kauempana toisistaan, diffraktioaaltojen kaarevuus näkyy paremmin ja simulaation avulla on helpompi huomata esimerkiksi se, että raoissa taipuneet aallot voivat mennä viereisen raon eteen.



Kuva 9: Taajuuden vaikutus veden tasoaaltojen taipumiseen kaksoisraossa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa olevien aaltojen taajuus on pienempi kuin oikeanpuoleisessa kuvassa.



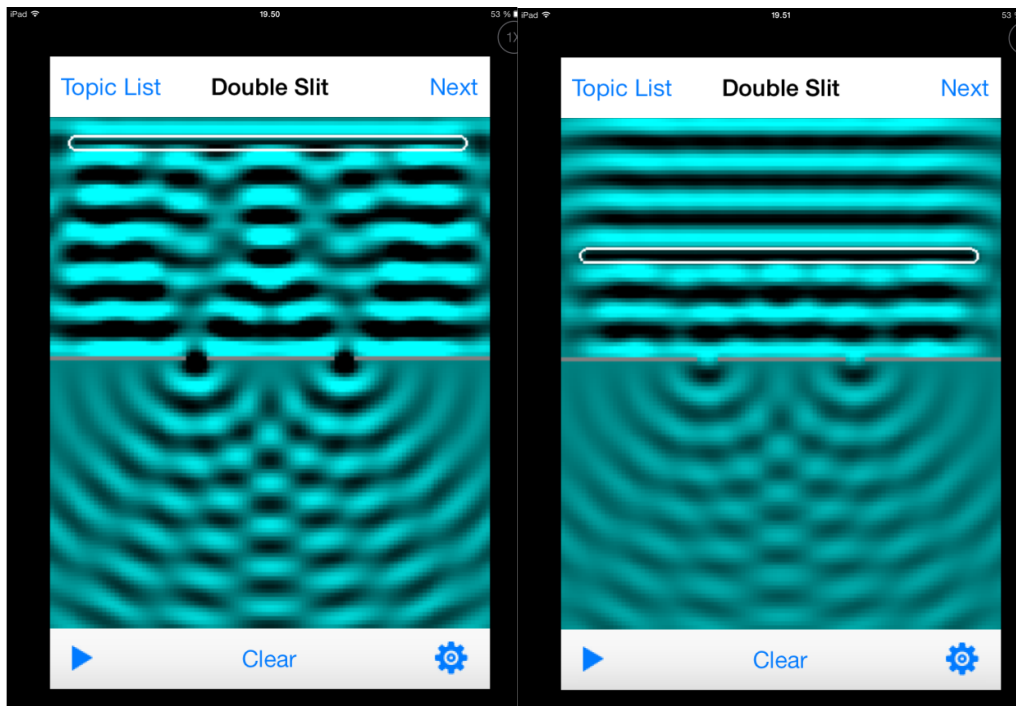
Kuvasta 9 voidaan havaita taajuuden vaikutus veden tasoaaltojen diffraktioon kaksoisraossa Ripple Tank Free -ohjelmalla simuloituna. Kuten luvussa 4 todettiin, diffraktio on selkeimmin havaittavissa, kun esteen koko ja aallonpituus ovat samaa luokkaa. Tämä on selkeästi nähtävissä myös kyseisestä kuvasta, sillä siinä vasemmanpuoleisessa tilanteessa ilmiö on selkeämmin havaittavissa aallonpituuden ja raon leveyden ollessa silmämääräisesti arvioituna samaa suuruusluokkaa. Jos raot olisivat kapeammat kuin esimerkkikuvassa (Kuva 9), olisi ilmiö nähtävissä selkeämmin isommalla taajuudella.



Kuva 10: Rakojen leveyden vaikutus veden tasoaaltojen taipumiseen kaksoisraossa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa olevan esteen raot ovat leveämpiä kuin oikeanpuoleisessa kuvassa.

Kuvasta 10 voidaan havaita rakojen leveyden vaikutus veden tasoaaltojen taipumiseen kaksoisraossa. Rakojen leveys vaikuttaa periaatteessa samalla tavalla ilmiöön kuin taajuuden muuttaminenkin. Tässä tilanteessa taajuus ja sen myötä myös aallonpituus pysyvät vakiona, mutta rakojen leveys muuttuu.

Kuvan 11 avulla voidaan havaita aaltolähteen ja kaksoisraon välisen etäisyyden vaikutus simuloitavaan ilmiöön. Aallot taipuvat raoissa samalla lailla ja interferenssikuvio on samanlainen molemmissa tilanteissa, mutta hieman sumeampi, jos aaltolähde on lähempänä kaksoisrakoa.



Kuva 11: Aaltolähteen ja kaksoisraon välisen etäisyyden vaikutus veden tasoallon taipumiseen kaksoisraossa.

## **6.4 Keskustelujen analysointi**

Keskustelujen analysointiin käytettiin kahta eri luokittelua ja oppilaiden käymät keskustelut piirtämisen ja simulaation käytön aikana luokiteltiin sen mukaan, mistä ja miten oppilaat keskustelivat keskenään.

### **6.4.1 Keskustelujen analysointi keskustelun tason mukaan**

Oppilaiden käymiä keskusteluja analysoitiin sen pohjalta, millaisista asioista he keskustelivat eli tutkittiin lähinnä sitä, olivatko käydyt keskustelut luonteeltaan käytännön toimintaan vai fysiikan ideatasoon liittyviä. Luvussa 2.1.2 on kerrottu tarkemmin keskusteluiden tasoista. Koska tutkimusaineistoon sisältyi monta keskustelua, joita oli vaikeaa luokitella aihepiiriltään pelkästään käytännön toimintaan tai fysiikan ideatasoon liittyväksi, otettiin kolmanneksi kategoriaksi näiden yhdistelmä. Oppilailta teetetyt tehtävät olivat luonteeltaan sellaisia, että heille oli varmasti luontevaa käydä keskustelua, joka liittyi sekä fysiikkaan että käytännön toimintaan. Oppilaiden täytyi esimerkiksi piirrosta tehdessään miettiä, mitä he piirroksen piirtävät ja miten he käyttävät Educreations-ohjelmaa.

### **6.4.2 Keskustelujen luokittelu keskustelutyypin mukaan**

Tähän käytettiin luvussa 2.1.3 esiintynyttä Mercerin (Mercer, 2004) luokittelua keskustelutyypeille monologilla laajennettuna. Erot eri keskustelutyypien välillä voivat olla hyvinkin pieniä ja niiden selventämiseksi seuraavassa on esimerkit disputatiivisesta, kumulatiivisesta ja eksploratiivisesta keskustelusta sekä monologista.

Esimerkki disputatiivisesta keskustelusta (RBP6, tehtävä B2):

O1: *Tässä menee nyt vähä liian kauan.*

O2: *Ei se mitään haittaa.*

O1: *Kyl se vähä haittaa.*

O2: *Okei...*

O1: *Meillä on menny 13 minuuttia neljän virkkeen tekemiseen, eikä ne ole ees virkkeitä. Ei oo isoa alkukirjainta eikä pistettä. Ne on vaan epämääräisiä havaintoja.*

O2: *Jaa. Haittaaks se?*

O1: *Kyl se vähä mua haittaa.*

Edellä olevan esimerkin disputatiivinen keskustelu on tyyliältään väittelyä. Toista oppilasta häiritsee liiallinen ajankäyttö, kun taas toinen ei näe asia-  
sa mitään ongelmaa.

Esimerkki kumulatiivisesta keskustelusta (RAP1, tehtävä A1):

O1: *Nämä kuvastavat aaltoja.*

O2: *Siinä tulee monta kivaa aaltoa, aaltorintama.*

O1: *Ja sitten tässä tulee vastaan tämä mustalla piirretty kaksoisrako, joka tuota noin niin. Tässä tapahtuu diffraktiota.*

O2: *Kyllä*

O1: *Joo, aaltoliikkeen hajautuminen ja tämä perustuu...*

O2: *Huygensin periaatteeseen*

O1: *Ei ku ei itseasiassa...*

O2: *Joo, kyllä perustuu siihenkin.*

O1: *Aaltorintaman piste aiheuttaa uuden alkeisaallon. Käytännössä se muoto menee näin.*

Edellä olevassa esimerkissä kumulatiivisesta keskustelusta oppilaat päätyvät kyllä oikeaan lopputulokseen, mutta kritiikki keskustelukumppania kohtaan puuttuu. Vaikka välillä tuntuu, että oppilaat eivät ole kaikesta samaa mieltä, ei keskustelukumppanin vääriä näkemyksiä yritetäkään korjata, vaan ennemmin jatketaan eteenpäin. Oppilaiden pyrkimyksenä tuntuu keskustelun perusteella olevan ainoastaan piirroksen saaminen valmiiksi.

Esimerkki eksploraatiivisesta keskustelusta (RBP1, tehtävä B3):

O1: *Meneekö ne ihan vaan näin?*

O2: *Joo*

O1: *Siinä nyt ei ole ihan tasaiset nuo tuota aallonpituudet, mutta joo...*

O2: *Joo*

O1: *Mitäs sitte? Miten me piirrettäis ne maksimit? Ku eiks ne ollu semmosii kummiski leveitä.*

O2: *Joo, oli*

O1: *Tähän eteenhän tuli yks. Oliko se niin?*

O2: *Ai mitä yks?*

O1: *Kaksoisraon. Tuleeks tähän eteen heti yks maksimi?*

O2: *Ootas... No jos mietitään sillei... En mä tiä, jotenki se... Piirrä vähä...*

O1: *Meneeks ne näin kaarella?*

O2: *Joo kai*

O1: *Noin. Sit joku pieni...*

O2: *Miten se meni?*

O1: *Eiks se jotenki noin menny*

O2: *Joo, okei. No mitä jos... Mitä se taajuus nyt? Mitä me mietittiin  
sillon, et se taajuus vaikuttaa? Se oli se, et niit tuli enemmän.*

O1: *Tuli enemmän, niin...*

O2: *Joo*

Tässä oppilaat keskustelevat rakentavasti piirroksestaan ja miettivät yhdessä, mitä piirroksen laittavat. Keskustelussa ei käytetä lähes lainkaan fysiikan termejä, mutta selkeästi oppilaat yrittävät miettiä käyttämänsä simulaation avulla, miten piirros olisi järkevintä toteuttaa.

Esimerkki monologista (RAP2, tehtävä A1):

O1: *Ja sitte, ku tässä on tää toinenki rako, niin sit sieltä tulee kans näin. Ja tää on se diffraktio, eikö? Sit sää saat piirtää punasella ne interferenssiaallot.*

O2: *...*

O1: *No siis joka tapauksessa ne interferenssiaallot. Täältä tulevat on eri vaiheessa, kun täältä tulevat, kun ne levittäytyy tonne ja nää levittäytyy tonne ja niin pois päin. Niin sitte, kun ne on eri vaiheissa, esimerkiksi ku.. Olkoon tää nyt vaikka ykkönen ja tää kakkonen. Tää ykkösaalto on näin (piirtää ruudun alalaitaan mallikuovan aallosta) ja sitte samaan aikaan tää kakkosaalto on näin niin sitte niistä tulee tänne niinku... Tässä se on suunnilleen yhtä paljon, mut sitte tässä se on*

*ihan eri vaiheissa. Se amplitudi on ihan eri kohassa. Sen takii se on nolla. Tässä tulee se semmonen niinku se summa-aalto.*

Monologissa ainoastaan toinen oppilaista on äänessä. Hän piirtää ja samalla selittää piirtämäänsä. Ensimmäisen puheenvuoron lopussa hän yrittää saada myös toista oppilasta osallistumaan keskusteluun ja piirtämiseen, mutta epäonnistuu siinä ja jatkaa monologiaan.

### **6.4.3 Vertaisarviointi**

Oppilaiden käymiä keskusteluja analysoi tutkielman tekijän lisäksi myös yksi opettajankoulutuslaitoksen jatko-opiskelija. Kuten aiemmin todettiin, on erityyppisten keskusteluiden välinen raja joskus hyvin häilyvä, joten vertaisarvioinnin avulla pyrittiin parantamaan tutkimusaineiston analysoinnin luotettavuutta. Vertaisarvioinnin suorittaneella henkilöllä oli aiempaa kokemusta keskustelujen luokittelusta tässä luvussa (6.4) esitellyllä tavalla, joten hän oli sopiva valinta vertaisarvioinnin tekijäksi. Vertaisarviointi suoritettiin siten, että vertaisarvioinnin tekijä analysoi osan tutkimusaineiston keskusteluista ja hänen tekemiänsä analyysyjä verrattiin tutkielman tekijän tekemiin analyysihin. Vertaisarvioinnin suorittajan ja tutkielman tekijän analysoinnit keskusteluista olivat 75 % yhtäpitäviä.

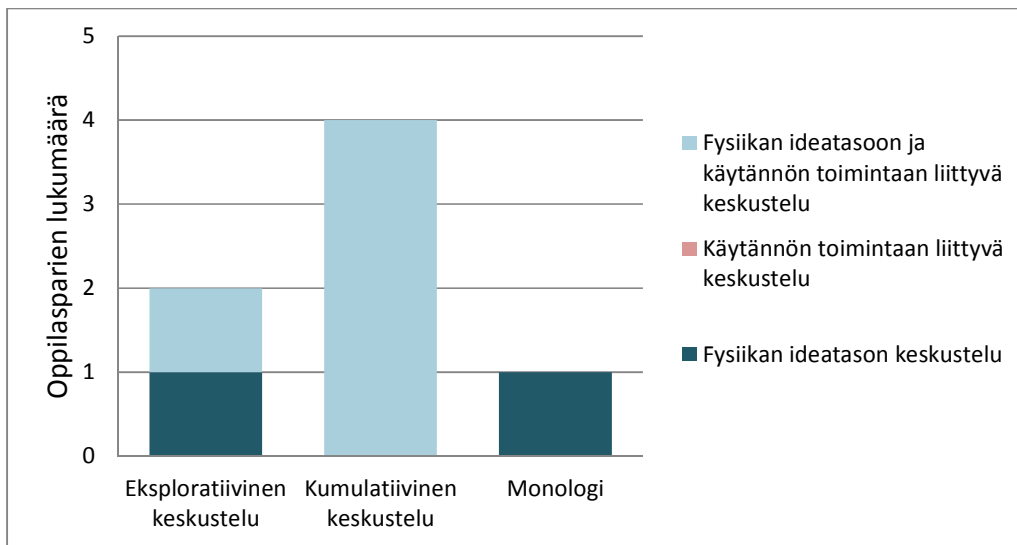
## 7 TULOKSET

### 7.1 Oppilaiden käymät keskustelut piirtämisen aikana

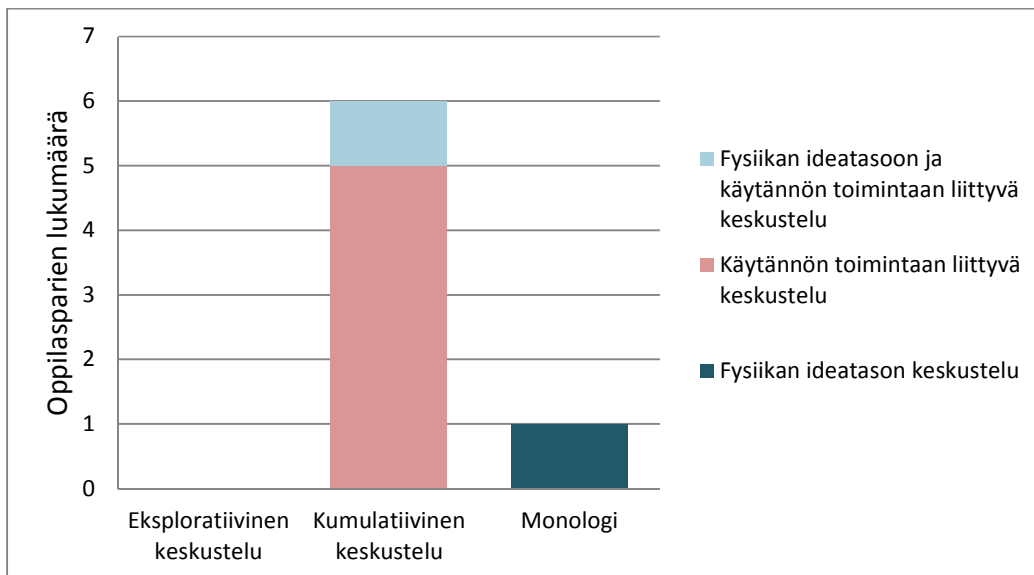
Keskustelut analysoitiin luvussa 6.4 esitellyllä tavalla. Disputatiivista keskustelua ei ollut tutkimusaineistossa lainkaan, joten se on jätetty pois keskustelutyyppejen jakaantumista havainnollistavista pylväsdiagrammeista (Kuva 12, Kuva 13 ja Kuva 14).

Ryhmän A keskustelut olivat pääosin kumulatiivisia molempien piirto-prosessien aikana. Ryhmän A keskustelut ensimmäisen piirroksen aikana olivat useimmiten luonteeltaan kumulatiivisia ja aihepiiriltään sekoitus käytännön toimintaan ja fysiikkaan liittyvästä keskustelusta (Kuva 12). Kahden oppilasparin käymä keskustelu oli luonteeltaan eksploratiivista ja yhdellä se oli monologia. Simuloinnin jälkeen keskustelut liittyivät pääosin käytännön toimintaan (Kuva 13). Oppilasparit, jotka ennen simulointia keskustelivat eksploratiivisesti, keskustelivat simuloinnin jälkeen kumulatiivisesti. Yleisesti ottaen ryhmän A keskusteluiden taso huononi tai pysyi samana, kun verrattiin simuloinnin jälkeistä piirtoprosessia simulointia edeltäneeseen piirtoprosessiin.





Kuva 12: Ryhmän A oppilaiden käymien keskustelujen tyypit ja keskustelun tasot ennen simulointia tehdyn piirroksen aikana



Kuva 13: Ryhmän A oppilaiden käymien keskustelujen tyypit ja keskustelun tasot simuloinnin jälkeen tehdyn piirroksen aikana

Ryhmän A oppilaat käyttivät jonkin verran hyödykseen simuloimalla saamiaan tietoja, mutta niidenkään fysikaalista taustaa ei edes yritetty selittää. Tapauksissa, joissa simulaatio mainittiin piirroksen aikana käydyissä keskusteluissa, oppilaat kertoivat vain simulaation avulla tekemistään havainnoista. Vaikka tehtävien A1 ja A3 tehtävänannoissa pyydettiin oppilaita mallintamaan piirtämällä eri tekijöiden (taajuus, aallonpituus, rakojen ominaisuudet ja rakojen ja aaltolähteen välinen etäisyys) vaikutusta tasoallon diffraktioon ja interferenssiin kaksoisraossa, niin yleisesti ottaen ryhmän A oppilaat olivat jättäneet nämä pohdinnat tekemättä niin keskusteluissaan kuin piirroksissaankin. Monet ryhmän A oppilaspareista tekivät tehtävässä A3 tietoisesti toisinnon tehtävän A1 piirroksestaan. Oppilaiden tekemä tietoinen valinta ilmeni keskusteluiden perusteella, joista on alla esitetty kaksi esimerkkiä.

O1: *Joo, mahtavaa. Me teemme tämän uudestaan! Keksimme pyörän uudestaan.*

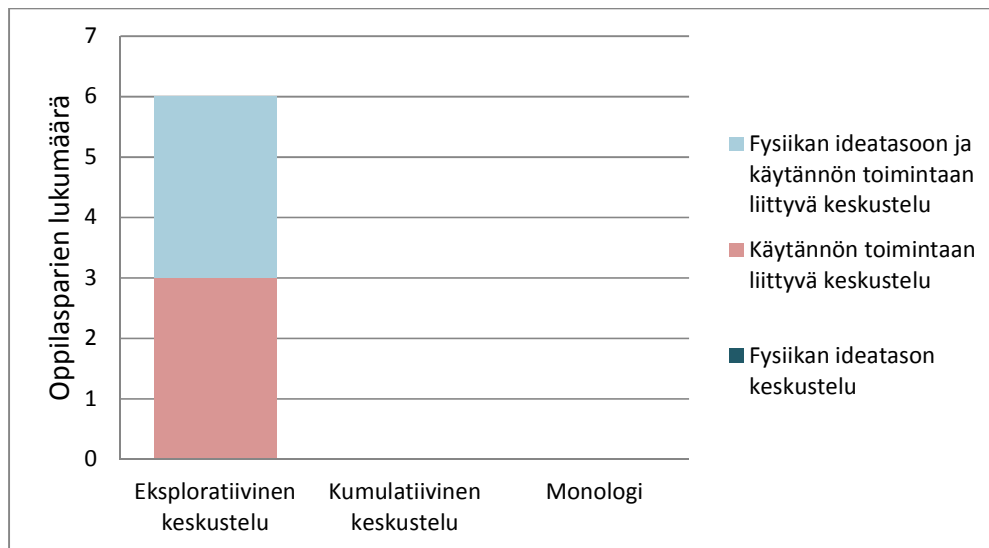
(Ote oppilasparin RAP1 keskustelusta)

O1: *Onks tää nyt se sama uudelleen?*

O1: *No se on se sama...*

(Ote oppilasparin RAP7 keskustelusta)

Koska piirroksesta tehtiin toisinto, ei sitä tarvinnut selittää ja pohtia sen kummemmin enää tehtävän A3 aikana.



Kuva 14: Ryhmän B oppilaiden käymien keskustelujen tyypit ja keskustelun tasot simuloinnin jälkeen tehdyn piirroksen aikana

Ryhmän B simuloinnin jälkeen tekemän piirroksen aikana käydyt keskustelut olivat laadullisesti parempia ja laajempia kuin ryhmän A käymät keskustelut. Ryhmän B oppilaiden käymät keskustelut olivat tyyliltään eksploraatiivisia ja liittyivät yhtä usein fysiikan ideatasoon ja käytännön toimintaan kuin pelkkään fysiikkaan (Kuva 14). Ryhmän B oppilaat käyttivät piirrosta tehdessään avuksi simuloimalla saamiaan tietoja veden tasoallon diffraktiosta ja interferenssistä kaksoisraossa ja se oli havaittavissa keskusteluista. Ryhmän B oppilaatkaan eivät yleensä selittäneet simuloimalla tekemiään havaintoja, vaan ainoastaan käyttivät niitä hyväkseen tehdessään piirrosta.

Vaikka molempien ryhmien keskusteluissa esiintyi virheellisiä käsityksiä piirrettävään ilmiöön liittyen, oli ryhmän B käymä keskustelu kriittisem-

pää ja pohdiskelevampaa ja sisälsi enemmän viittauksia simulaatioon. Ryhmän B keskusteluissa oli myös runsaasti pohdintaa eri tekijöiden vaikutuksista tasoaaltojen diffraktioon ja interferenssiin.

## **7.2 Simulaation käytön vaikutus piirroksen laatuun**

Kun vertailtiin ryhmän A kunkin oppilasparin tehtävissä A1 ja A3 laatimia piirroksia keskenään huomattiin, ettei simulaation käyttö ole merkittävästi vaikuttanut piirrosten laatuun. Muutamia lisäyksiä piirroksiin oli tehty, mutta yleisesti kunkin oppilasparin tehtävissä A1 ja A3 laatimat piirrokset olivat lähes identtisiä keskenään. Tämä ilmenee myös taulukosta 2, jossa on esitelty lukumäärällisesti luvussa 6.3.1 määriteltyjen hyvän piirroksen kriteerien esiintyvyys oppilasparien laatimissa piirroksissa. Jos siis oppilaiden piirroksissa oli virheellisyyksiä tai puutteita ennen simuloimista, olivat samat virheellisyydet ja puutteet myös simuloimisen jälkeen tehdyissä piirroksissa.

Kuten edellisen tutkimuskysymyksen tulosten kohdalla todettiin, monet ryhmän A oppilaspareista piirsivät tehtävään A3 tietoisesti toisinnon tehtävän A1 piirroksista. Näin ollen ryhmän A tehtävässä A3 laatimissa piirroksissa ei ollut pohdittu juuri lainkaan eri tekijöiden vaikutusta tasoalton diffraktioon ja interferenssiin kaksoisraossa, vaikka tehtävänannossa oppilaita näin ohjeistettiin tekemään.

Taulukko 2: Hyvän kuvan kriteerien toteutuminen oppilasparien piirroksissa.

Ryhmä ja tehtävä Kriteeri	Ryhmä A, tehtävä A1 (oppilasparien lukumäärä)	Ryhmä A, tehtävä A3 (oppilasparien lukumäärä)	Ryhmä B, tehtävä B3 (oppilasparien lukumäärä)
Aallot ovat tasoaaltoja	3	3	5
Aaltolähteen etäisyys kaksoisraosta	0	0	4
Diffraktio	2	2	4
Interferenssi	4	3	4
Summaaalto	1	2	1

Vertailtaessa ryhmien A ja B ensimmäisiä piirroksia (tehtävät A1 ja B3) keskenään, huomattiin niiden välillä eroavaisuuksia. Ryhmän B piirroksissa oli useammin piirretty oikein esimerkiksi diffraktio ja siinä missä ryhmän A piirroksissa ei ollut pohdittu juuri lainkaan eri tekijöiden vaikutusta piirrettävään ilmiöön, oli ryhmän B piirroksissa pohdintaa runsaasti (Taulukko 2). Eri tilanteista oli piirretty useita kuvia sekä samalla sanalli-

sesti selitetty piirrosta. Kummankin ryhmän piirroksissa esiintyi samankaltaisia virheellisyyksiä ja puutteita, mutta ryhmän B piirrokset olivat kattavampia siinä suhteessa, että niissä on pohdittu eri tekijöiden vaikutusta piirrettävään ilmiöön.

Simulaation käytöllä vaikutti olevan myönteisiä vaikutuksia oppilaiden laatimiin piirroksiin vain siinä tapauksessa, että oppilaat tekivät ensimmäisen piirroksensa simuloitavasta aiheesta vasta simuloinnin jälkeen. Jos oppilaat olivat jo ennen simulointia laatineet piirroksen simuloitavasta aiheesta, tekivät he simulaation jälkeisestä piirroksesta samanlaisen kuin ennen simulointia tehdystä.

### **7.3 Piirroksen vaikutus simulaation käyttöön**

Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, ettei aiemmin tehdyllä piirroksella ole vaikutusta simulaation käyttöön. Oppilaiden käymät keskustelut olivat molemmissa ryhmissä hyvin samankaltaisia ja koskivat simulaatiosta tehtyjä havaintoja. Keskustelut olivat luonteeltaan kumulatiivisen ja eksploratiivisen keskustelutyötyylien yhdistelmiä: kun oppilaat keskustelivat simulaation käytöstä, oli keskustelu kumulatiivista ja vastaavasti eksploratiivista silloin, kun oppilaat keskustelivat simuloimalla tekemistään havainnoista. Kummankaan ryhmän oppilaat eivät kuitenkaan pyrkineet selittämään simuloimalla tekemiään havaintoja fysiikan avulla. Ryhmän A oppilaat eivät viitanneet simulaation aikana käymissään keskusteluissa kertaakaan aiemmin tekemäänsä piirroksen, eivätkä ainakaan keskuste-

luiden perusteella käyttäneet laatimaansa piirrosta hyväkseen simulaation käytön aikana.

Ainoa huomattava ero ryhmien välillä oli se, että ryhmän A oppilaat suoriutuivat simulointitehtävästä ryhmän B oppilaita nopeammin. Ryhmän A oppilaat käyttivät simulointitehtävään keskimäärin noin 6 minuuttia, kun taas ryhmän B oppilailta kului simulointitehtävään keskimäärin noin 14 minuuttia. Ryhmien A ja B välinen ero on tässä asiassa merkittävä, sillä ryhmän B oppilailta kului simulointitehtävään yli kaksinkertainen aika ryhmään A verrattuna.

#### **7.4 Oppilaiden käsitykset veden tasoaltojen diffraktiosta ja interferenssistä**

Tähän tutkimuskysymykseen etsittiin vastausta luvussa 6.2 esitellyllä tavalla. Yleisesti ottaen oppilaiden piirrokset olivat melko hyviä ja tasoaltojen interferenssi ja diffraktio tuntuivat ainakin keskusteluiden perusteella olleen käsitteellisesti hallussa. Vaikka piirrokset olivat melko hyviä, esiintyi lähes jokaisessa niistä kuitenkin jonkin verran virheitä. Monissa tapauksissa piirrokset olivat hieman ristiriidassa oppilaiden käymien keskusteluiden kanssa. Tällä tarkoitetaan sitä, että vaikka piirroksessa olikin virheellisyyksiä, saattoi asia olla kuitenkin keskusteluissa selitetty oikein ja vastaavasti toisinpäin. Esimerkiksi kuvaan 15 liittyvässä keskustelussa selitettiin piirrosta oikein, vaikka piirroksessa olikin virheitä esimerkiksi interferenssiin liittyen.

O1: *Okei. Eli ensimmäisenä tässä jonkin näköstä aaltoliikettä...*

O2: *Kyllä*

O1: *Vedessä. Ja sitten tää...*

O2: *Se rako, kaksoisrako*

O1: *Vesi kohtaa kaksoisraon, näin. Ja nyt sitten tää aaltoliike kohtaa tämän kaksoisraon, niin Huygensin periaatteen mukaan näissä raoissakin tapahtuu...*

O2: *Siis siinä syntyy uus...*

O1: *Niin, siis siinä syntyy alkeisaaltolähteitä, koska siinä on rakoja.*

O2: *Siis tässä tapahtuu tätä aaltojen taipumista eli diffraktiota, niin siinä tää este on tavallaan alkeisaaltolähde.*

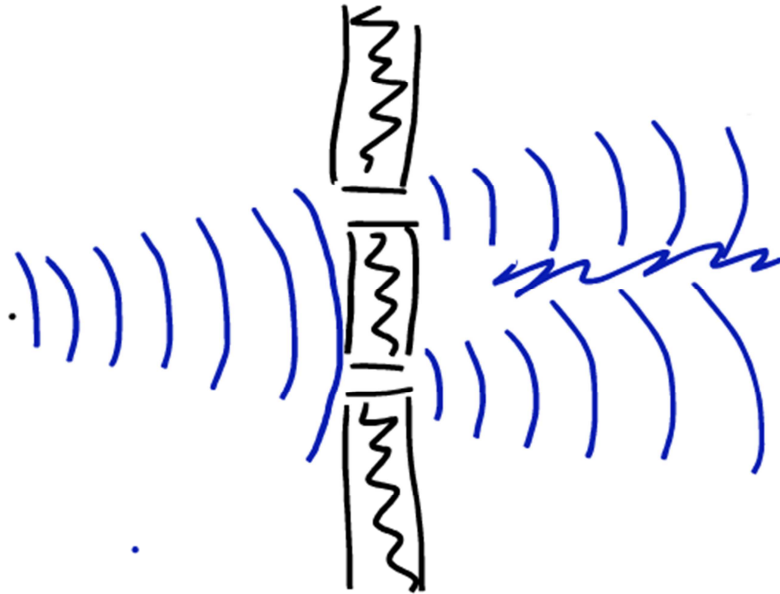
O1: *Joo. Ja tavallaan näistä raoista syntyy sitte tämmöset uudet alkeisaaltoliikkeet. Ja tässä niiden välillä syntyy niiden interferenssialue. Ja riippuen siitä niiden kohtaamisesta, ne saattaa vahvistaa toisiaan tai heikentää toisiaan.*

O2: *Joo, kyllä.*

(Ote oppilasparin RAP6 keskustelusta tehtävän A1 aikana)

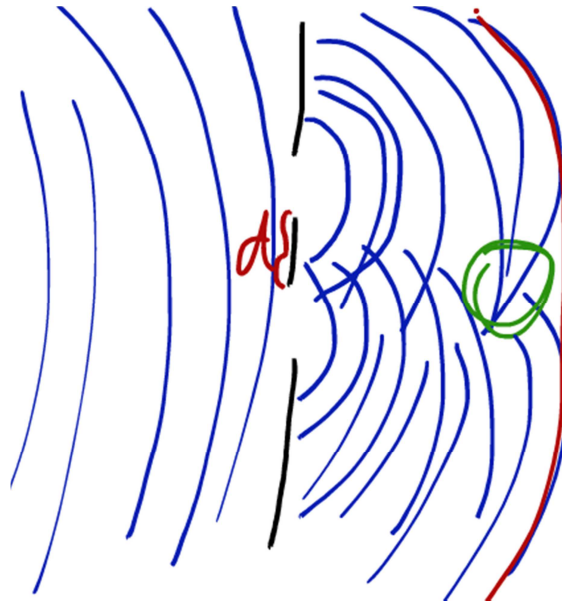
Piirroksissa vaikeuksia tuottivat muun muassa diffraktioaaltojen piirtäminen, sillä usein raoissa taipuneiden aaltojen kaaret jäivät vajaiksi. Ainoastaan kaksi oppilasparia seitsemästä osasi piirtää diffraktioaalto oikein (Taulukko 2). Sen vuoksi interferenssin piirtäminen kuvaan täysin oikein saattoi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta, sillä taipuneet aallot eivät piirroksissa välttämättä kohdanneet ollenkaan sen vuoksi, että kaaret olivat jääneet vajaiksi. Tällaisesta piirroksesta on esitetty esimerkki (Kuva 15).



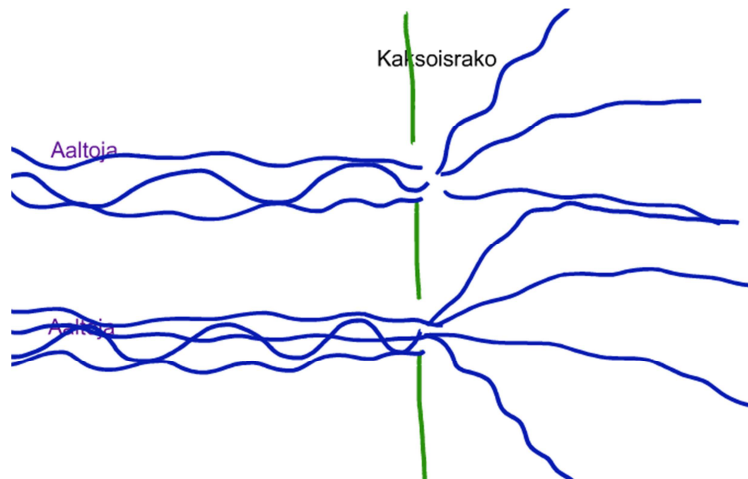


Kuva 15: Oppilasparin RAP6 tehtävässä A1 laatima piirros, jossa diffraktioaaltojen kaaret ovat jääneet vajaiksi. Interferenssiä kuvataan diffraktioaaltojen välissä olevalla epämääräisellä käyrällä.

Superpositioperiaatteen käyttö piirroksissa oli harvinaista, ja vielä harvinaisempaa oli sen esiintyminen keskusteluissa. Useimmiten interferenssi kuitattiin vain piirtämällä aallot risteämään ja varsinaisten summaaaltojen piirtäminen jäi kokonaan tekemättä. Korkeintaan aaltojen risteämiskohta oli ympyröity ja suullisesti selitetty, että siinä aallot heikentävät toisiaan (Kuva 16). Oppilaille oli lisäksi epäselvää, mitä tapahtuu, kun kaksi diffraktioaaltoa kohtaa. Eräässä piirroksessa oli esitetty näkemys, jonka mukaan kohtaamisensa jälkeen diffraktioaallot etenevät keskenään samaan suuntaan (Kuva 17).



Kuva 16: Oppilasparin RAP7 tehtävässä A1 laatima piirros, jossa aaltojen risteämiskohta on ympyröity ja summa-aalto piirretty virheellisesti. Piirroksen liittyvässä keskustelussa käytettiin hilayhtälöä.



Kuva 17: Oppilasparin RAP3 näkemys veden tasoaaltojen diffraktiosta ja interferenssistä kaksoisraossa. Piirros liittyy tehtävään A1.

Oppilaiden selitykset olivat usein hyvin pinnallisia, eivätkä oppilaat kovinkaan usein pyrkineet selittämään piirroksiansa fysiikan avulla. Fysiikan termejä käytettiin vähän, eivätkä oppilaat usein maininneet tehtävänannossa annettujen diffraktion ja interferenssin lisäksi muita fysiikan termejä. Fysiikan kieli tuntui siis tuottavan oppilaille vaikeuksia.

Useimmat tutkimukseen osallistuneista oppilaista käyttivät taajuuden ja aallonpituuden vaikutuksen perustelemisessa avukseen aaltoliikkeen perusyhtälöä ja tekivät päätelmänsä oikein. Muutamalla oppilasparilla pohdinnoissa esiintyi hilayhtälö, kuten kuvaan 16 liittyvässä keskustelussa. Kuvan 17 piirroksessa oppilaat olivat myös piirtäneet aallot siten, että ne muistuttivat hyvin paljon tapaa, jolla sähkömagneettiset aallot usein piirretään. Tämä viittaisi siihen, että oppilaat sekoittavat sähkömagneettisten ja mekaanisten aaltojen ominaisuuksia toisiinsa.

## 8 POHDINTAA

### 8.1 Yhteenveto tutkimustuloksista

Ensimmäinen tutkimuskysymys koski oppilaiden käymien keskusteluiden laatua piirtämisen aikana ja erityisesti simulaation käytön vaikutuksia kyseisiin keskusteluihin. Tämän tutkimuksen perusteella ryhmän A keskustelut olivat pääosin kumulatiivisia kummankin piirroksen laatimisen aikana. Heidän käymiensä keskusteluiden taso kuitenkin yleisesti ottaen laski, sillä jälkimmäistä piirrosta ei selitetty enää niin hyvin kuin ensimmäistä piirrosta. Tähän voi vaikuttaa muun muassa se, että oppilaat ajattelivat tekevänsä simulaation jälkeisestä piirroksesta samanlaisen kuin ensimmäisestä piirroksestaan. Koska piirtoprosessista tuli mekaaninen toisinto edellisestä, ei piirrosta tarvinnut enää selittää uudelleen. Ryhmän B keskustelut simulaation jälkeisen piirroksen tekemisen aikana olivat laadullisesti parempia kuin ryhmän A kummankin piirroksen tekemisen aikana käymät keskustelut ja ryhmä B viittasi keskusteluissaan huomattavasti useammin simulaatioon.

Molempien ryhmien kohdalla harvinaista oli se, että piirrosta selitettiin fysiikan lakien tai teorioiden avulla. Yleisesti ottaen piirroksia selitettiin hyvin käytännönläheisesti. Molempien ryhmien tapauksissa simulaation jälkeen käydyissä keskusteluissa otettiin paremmin huomioon eri tekijöiden vaikutus piirrettävään ilmiöön. Ryhmän A kohdalla ero ensimmäisen

ja toisen piirroksen aikana käydyissä keskusteluissa oli kuitenkin pieni. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan siis todeta, että simulaation käyttö sai oppilaat ottamaan keskusteluissaan paremmin huomioon eri tekijöiden vaikutuksen piirrettävään ilmiöön. Tulos on sopusoinnussa Leenarsin, van Joolingenin ja Bollenin aiemmin tekemän tutkimuksen (Leenaars, et al., 2013) kanssa, jonka mukaan simulaation käyttö auttaa oppilaita ottamaan huomioon useampia piirrokseen vaikuttavia muuttujia. Vaikka tähän tutkimuskysymykseen vastattaessa ei analysoitukaan oppilaiden piirroksia, voidaan näin kuitenkin sanoa, sillä analysoidut keskustelut liittyivät oppilaiden laatimiin piirroksiin.

Toinen tutkimuskysymys koski simulaation käytön vaikutuksia oppilaiden laatimien piirrosten laatuun. Tähän kysymykseen ei tullut selkeää vastausta tämän tutkimuksen perusteella, sillä ryhmän A piirrokset eivät merkittävästi parantuneet, vaikka simulaatiota käytettiin ennen toisen piirroksen laatimista. Toisaalta taas ryhmän B simuloinnin jälkeen laatimat piirrokset olivat kattavampia kuin ryhmän A tehtävissä A1 ja A3 laatimat piirrokset. Oppilaiden piirroksissa oli jonkin verran yhtäläisyyksiä luvussa 6.3.2 esiteltyihin simulaation ruutukaappauksiin. Vaikea kuitenkin sanoa, johtuivatko yhtäläisyydet varsinaisesti simulaation käytöstä vai oppikirjakuvituksesta, sillä ryhmien A ja B ensimmäiset piirrokset olivat hyvin samantyyllisiä. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan siis todeta, että simulaation käytöllä on myönteisiä vaikutuksia oppilaiden laatimiin piirroksiin, mikäli simulaation käytön jälkeen laadittava piirros on oppilaiden ensimmäinen kyseiseen aiheeseen liittyen.

Tämän tutkimuskysymyksen tuloksissa mielenkiintoisinta on juuri se, ettei simulaation käytöllä näyttänyt tämän tutkimuksen perusteella olleen vaikutusta oppilaiden piirroksiin, mikäli he olivat ennen simulaation käyttöä jo laatineet piirroksen samasta aiheesta. Suurin syy piirrosten muuttumattomuuteen on varmasti se, että oppilaat ajattelivat tekevänsä toisinnon ensimmäisen tehtävän piirroksista. On mahdollista, että sen vuoksi oppilaat eivät käyttäneet simuloimalla saamia tietoja hyödykseen laatimissaan uutta piirrosta simulaation käytön jälkeen. Tässä tutkimuksessa oppilaita ei erikseen pyydetty käyttämään simuloimalla saamia tietoja hyödykseen piirroksen laatimisessa ja myös se on voinut vaikuttaa oppilaiden toimintaan ja sitä kautta myös tutkimustuloksiin. Kuitenkin ryhmän B oppilaat osasivat piirrosten ja keskusteluiden perusteella näin tehdä ilman ohjeistustakin. Ryhmän B osalta myös tämän tutkimuskysymyksen vastaus on yhtäpitävä Leenarsin, van Joolingenin ja Bollenin aiemmin tekemän tutkimuksen (Leenaars, et al., 2013) kanssa eli oppilaat osasivat ottaa piirroksissaan huomioon useampia muuttujia, jos he saivat ennen piirtämistä käyttää simulaatiota.

Myös tutkimuksen ajankohdalla on voinut olla vaikutusta tutkimustuloksiin. Tutkimus järjestettiin iltapäivällä pidetyn kaksoistunnin aikana siten, että ryhmä B osallistui tutkimukseen ensimmäisen tunnin aikana ja ryhmä A toisen tunnin aikana. On mahdollista, että ryhmän A oppilaat eivät ajankohdan vuoksi olleet enää tarpeeksi motivoituneita ja pyrkivät vain saamaan tutkimuksen tehtävät mahdollisimman nopeasti tehtyä, jotta pääsisivät lähtemään kotiin. Tämä on voinut vaikuttaa huonontavasti ryhmän A oppilaiden käymiin keskusteluihin ja heidän laatimiinsa piir-

roksiin. Oppilaiden keskusteluista kävi ilmi, että heillä oli seuraavana päivänä ylioppilaskirjoitukset, joten myös se on mahdollisesti voinut vaikuttaa oppilaiden osallistumiseen negatiivisesti. Sekä ryhmän A että B oppilaat olivat lukion abiturienteja ja tasoltaan hyvin samankaltaisia ainakin kurssiarvosanojen perusteella, joten opiskelijoiden pohjatiedot ovat keskimääräisesti olleet hyvin samanlaiset. Oppilaiden väliset tasoerot eivät siis olleet tämän tutkimuksen kannalta merkittäviä.

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli aiemmin laaditun piirroksen vaikutusta simulaation käyttöön. Tämän tutkimuksen perusteella aiemmin laaditulla piirroksella ei näyttäisi olevan vaikutusta simulaation käyttöön ja sen aikana käytyihin keskusteluihin. Ainoa ero ryhmien välillä oli simulaation käyttöön kuluneessa ajassa, sillä ryhmän A oppilaat suoriutuivat simuloitavasta yli puolet nopeammin kuin ryhmän B oppilaat. Koska ryhmän A oppilaiden oli jo ennen simulaation käyttöä täytynyt miettiä veden tasoaaltojen käyttäytymistä kaksoisraossa, on mahdollista että piirroksen tekeminen ennen simulaation käyttöä on vaikuttanut sen vuoksi simulaation käyttöön kuluneeseen aikaan. Tämän tutkimuksen tulos on ristiriidassa Zhangin ja Linnin tekemän tutkimuksen kanssa, sillä sen mukaan aiemmin laadittu piirrosmalli vaikuttaa myönteisesti simulaation käyttöön ja auttaa oppilaita yhdistämään havaintoja ja teoriaa toisiinsa (Zhang & Linn, 2011).

Oppilaiden vastaukset simulaatioon liittyviin kysymyksiin olivat myös hyvin lyhytsanaisia. Ne olivat lähinnä simulaatiolla tehtyjä havaintoja, eikä yksikään oppilaspari vastauksissaan selittänyt tekemiänsä havaintoja

fysiikan avulla. Toisaalta tätä ei vaadittu tehtävänannossakaan. Oppilaita pyydettiin ainoastaan selvittämään simulaation avulla vastaukset monisteen kysymyksiin. Oppilaiden vastaukset simulaatioon liittyviin tehtäviin olisivat voineet olla laajempia ja enemmän fysiikkaan liittyviä, jos tehtävänannossa olisi vaadittu perusteluja oppilaiden tekemille havainnoille.

On mahdollista, että simulaation käyttö lisäsi oppilaiden kognitiivista kuormaa niin paljon, etteivät he pystyneet käyttämään aiemmin laatimaansa piirrosta hyödykseen käyttäessään simulaatiota. Myös tehtävänannon lukeminen tehtävämonisteesta (Liite 1) on saattanut lisätä oppilaiden kognitiivista kuormaa. Kognitiivisella kuormalla tarkoitetaan rasitusta, joka kohdistuu työmuistiin (Sweller, 1988). Ihmisen työmuisti on rajallinen, joten kognitiivisen kuorman ollessa liian suuri, ihmisen toimintakyky alenee.

Neljäs ja samalla viimeinen tämän tutkimuksen tutkimuskysymys koski oppilaiden käsityksiä veden tasoaaltojen diffraktiosta ja interferenssistä. Käsitteellisesti oppilaat tuntuivat hallitsevan diffraktion ja interferenssin ja keskusteluissa kyseisiä termejä käytettiin oikein. Piirroksissa kuitenkin oli virheitä. Yleisin virhe oli selkeästi diffraktioaaltojen piirtäminen väärin ja sen myötä myös interferenssin ja superposition puuttuminen kuvista. Piirrosten virheellisyys voi johtua esimerkiksi siitä, että oppilaat eivät olleet tarpeeksi harjaantuneita kuvien piirtämiseen. Mahdollisesti kuvien ja erilaisten piirrosmallien käyttöä kouluopetuksessa tulisi lisätä. Toisaalta taas on mahdollista, että oppilaat tekivät piirroksistaan liian suurpiirteisiä sen vuoksi, että he ovat tottuneet tekemään fysiikan tunneilla mallikuvia. Toi-



sin sanoen on mahdollista, että he laativat tarkoituksella kuvan, joka on suurin piirtein oikein.

Oppilaat käyttivät myös huomattavan vähän fysiikan kieltä selittäessään piirroksiaan tai simuloimalla tekemiään havaintoja. Ottaen huomioon sen, että tähän tutkimukseen osallistuneet oppilaat olivat lukion abiturientteja, jotka olivat suorittaneet useita fysiikan kursseja lukiossa, olisi voinut olettaa heidän käyttävän puheessaan enemmän fysiikan termejä. Voitaisiinko kouluissa tehdä jotain sen eteen, että oppilaat ryhtyisivät käyttämään enemmän fysiikkaa puheessaan? Onko fysiikan kouluopetus painottunut liikaa laskutehtävien ratkaisemiseen?

Suurin osa oppilaista ei sekoittanut käsitteellisesti mekaanisia ja sähkömagneettisia aaltoja, mutta joillakin tutkimukseen osallistuneilla oppilailla oli käytössään malli, joka yhdisti sähkömagneettisten ja mekaanisten aaltojen ominaisuuksia. Mekaanisille aalloille käytettiin hilayhtälöä ja niitä mallinnettiin piirroksella, jossa ne näyttivät sähkömagneettisilta aalloilta. Sen perusteella voidaan todeta, että oppilaat sekoittavat mekaaniset ja sähkömagneettiset aallot keskenään. Tämä on yhtäpitävää Coetzeen ja Imendan sekä Ambrosen ym. aiemmin tekemien tutkimusten kanssa (Coetzee & Imenda, 2012; Ambrose, et al., 1999), joiden mukaan oppilaat yhdistelevät sähkömagneettisten ja mekaanisten aaltojen ominaisuuksia. Asiaan saattaa vaikuttaa se, että sähkömagneettisilla ja mekaanisilla aalloilla on sellaisia ominaisuuksia, jotka pätevät molemmille, mutta myös sellaisia ominaisuuksia, jotka pätevät vain jommallekummalle.

## 8.2 Mahdollisia jatkotutkimusaiheita

Tutkimusaineistoa analysoitaessa ja tutkimuskysymyksiin vastatessa tuli ilmi se, että oppilaat tekevät simulaatiota käyttäessään virheellisiä johtopäätöksiä simulaation avulla. On mahdollista, että simulaation käyttö ilman ohjausta ei ole hyvä asia oppilaiden oppimisen kannalta. Oppilaiden ohjauksen tarvetta simulaation käytön aikana voisi siis tutkia myöhemmin lisää.

Olisi mielenkiintoista tutkia syitä siihen, miksi oppilaat käyttivät niin vähän fysiikan kieltä tähän tutkimukseen osallistuessaan. Oliko syy mahdollisesti tehtävien ohjeistuksessa? Jos oppilaita olisi ohjeistettu käyttämään fysiikan termejä ja perustelemaan piirroksiaan ja simuloimalla tekemiään havaintoja, olisivatko he käyttäneet enemmän fysiikan kieltä puheessaan. Vai johtuiko vähäinen fysiikan sanaston käyttäminen siitä, etteivät oppilaat yksinkertaisesti hallinneet fysiikkaa niin hyvin.

Ohjeistuksen vaikutusta oppilaiden toimintaan voisi muutenkin tutkia enemmän. Tällaisia ajatuksia nousi muun muassa tutkittaessa simulaation vaikutuksia sen jälkeen laadittuun piirrokseseen. Siis osaisivatko oppilaat käyttää paremmin hyödyksi simuloimalla saamiaan tietoja piirroksia laatiessaan, jos heitä erikseen neuvottaisiin niin tekemään.

## LÄHDELUETTELO

Abrahams, I. & Millar, R., 2008. Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), pp. 1945 - 1969.

Aginova Inc., 2014. *iCelsius - Thermomete/sensor for iPad*. [Online] Available at: <http://www.icelsius.com/> [Haettu 9 Toukokuu 2014].

Ainsworth, S., Prain, V. & Tytler, R., 2011. Drawing to Learn in Science. *Science*, Issue 333, pp. 1096 - 1097.

Ambrose, B., Shaffer, P., Steinberg, R. & McDermot, L., 1999. An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics*, 67(2), pp. 146 - 155.

Apple Inc. 2, 2014. *Education - App Store Downloads on iTunes*. [Online] Available at: <https://itunes.apple.com/fi/genre/ios-education/id6017?mt=8> [Haettu 9 Toukokuu 2014].

Apple Inc., 2014. *iPad - Vertaile iPadeja*. [Online] Available at: <http://www.apple.com/fi/ipad/compare/> [Haettu 5 Toukokuu 2014].

Apple, 2014. *Ripple Tank on the App Store on iTunes*. [Online]  
Available at: <https://itunes.apple.com/us/app/ripple-tank/id453338629?ls=1&mt=8>  
[Haettu 31 Maaliskuu 2014].

Chen, S., 2010. The view of scientific inquiry conveyed by simulation-based virtual laboratories. *Computers & Education*, 55(3), pp. 1123 - 1130.

Coetzee, A. & Imenda, S., 2012. Alternative conceptions held by first year physics students at a South African University of Technology concerning interference and diffraction of waves. *Research in Higher Education Journal*, Osa/vuosikerta 16.

Collins English Dictionary - Complete and Unabridged 10th Edition, 2009.  
*Monologue - Define monologue at Dictionary.com*. [Online]  
Available at: <http://dictionary.reference.com/browse/monologue?s=t>  
[Haettu 16 Toukokuu 2014].

Educreations, 2014. *Educreations on the iPad*. [Online]  
Available at: <http://www.educreations.com/about/ipad/>  
[Haettu 19 Maaliskuu 2014].

Falstad.com, 2014. *Ripple Tank Free*. [Online]  
Available at: <http://www.falstad.com/apps/RippleTankFree/>  
[Haettu 31 Maaliskuu 2014].

Finkelstein, N. ym., 2005. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical review special topics - Physics education research*, 1(1), p. 010103.

Fleming, N. & Mills, C., 1992. Not Another Inventory, Rather a Catalyst for Reflection. *To Improve the Academy*, Osa/vuosikerta 11, pp. 137 - 155.

Fons, J., 2010. A Year Without Paper: Tablet Computers in the Classroom. *The Physics Teacher*, 48(7), pp. 481 - 483.

Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J. & Viiri, J., 2012. *Physica 1: Fysiikka luonnontieteenä*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Hogan, K., Nastasi, B. & Pressley, M., 1999. Discourse Patterns and Collaborative Scientific Reasoning in Peer and Teacher-Guided discussions. *Cognition & Instruction*, 17(4), pp. 379 - 432.

Jaakkola, T., Nurmi, S. & Veermans, K., 2011. A Comparison of Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation Only and Simulation-Laboratory Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), pp. 71 - 93.

Kallunki, V., 2009. *A Historical Approach to Children's Physics Education: Modelling of DC-circuit Phenomena in a Small Group*. Väitöskirjatutkimus, Helsinki: Helsinki University Print.

Kangaskorte, A. ym., 2013. *FyKe 7-9 Fysiikka*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Knight, R., 2013. *Physics for Scientists and Engineers*. Kolmas painos toim. San Francisco: Pearson.

Leenaars, F., van Joolingen, W. & Bollen, L., 2013. Using self-made drawings to support modelling in science education. *British Journal of Educational Technology*, 44(1), pp. 82 - 94.

Lehtinen, A. & Viiri, J., 2014. Using tablets as tools for learner-generated drawings in the context of teaching the kinetic theory of gases. *Physics Education*, 49(3), pp. 344 - 348.

Lehto, H., Luoma, T. & Eloranta, K., 2005. *Fysiikka 1: Fysiikka luonnontieteenä*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Mercer, N., 2000. *Words and Minds: How We Use Language to Think Together*. London: Routledge.

Mercer, N., 2004. Sociocultural discourse analysis: Analysing classroom talk as a social mode of thinking. *Journal of Applied Linguistics*, 1(2), pp. 137 - 168.

Mortimer, E. & Scott, P., 2003. *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Maidenhead: Open University Press.

Sweller, J., 1988. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), pp. 257-285.

University of Colorado, 2013. *Electricity, Circuits, Current - PhET*. [Online] Available at: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/circuit-construction-kit-dc>

[Haettu 4 Helmikuu 2014].

Wood, D., Burner, J. & Ross, G., 1976. The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), pp. 89 - 100.

Wood, D. & Middleton, D., 1975. A Study of Assisted Problem-Solving. *British Journal of Psychology*, 66(2), pp. 181-191.

Vygotsky, L., 1978. Interaction between learning and development. Teoksessa: M. Gauvain & M. Cole, toim. *Readings on the Development of Children*. New York: W. H. Freeman and Company, pp. 29-36.

Young, H. & Freedman, R., 2000. *University Physics with Modern Physics*. 10. painos toim. San Francisco: Pearson.

Zhang, Z. & Linn, M., 2011. Can Generating Representations Enhance Learning With Dynamic Visualizations?. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), pp. 1177 - 1198.





## LIITE 1

### Johdantoteksti

Lue seuraava johdantoteksti aaltoliikkeen diffraktiosta ja interferenssistä huolellisesti läpi ennen tehtävien tekoa. Saat käyttää johdantotekstiä avuksesi missä vaiheessa tahansa tehtävien tekemistä.

*Mekaaninen aaltoliike on liikettä, jossa jokin häiriö etenee väliaineessa, esimerkiksi vedessä tai ilmassa. Samassa väliaineessa voi edetä samanaikaisesti useita aaltoliikkeitä. Aaltoliikkeiden yhteisvaikutusta sanotaan interferenssiksi ja sen tuloksena syntyvää summa-aaltoa interferenssiaalloksi.*

*Huygensin periaatteen mukaan jokaista aaltorintaman pistettä voidaan pitää uuden alkeisaallon syntymäkohtana. Interferoidessaan alkeisaallot muodostavat uuden aaltorintaman.*

*Ilmiötä, jossa väliaineessa oleva este aiheuttaa aaltoliikkeen hajaantumista, sanotaan aaltoliikkeen taipumiseksi eli diffraktioksi. Diffraktiossa este toimii alkeisaaltolähteenä. Myös raot toimivat alkeisaaltolähteinä.*

*(Lehto, Havukainen, Leskinen, Luoma. Fysiikka 3: Aallot, 2006)*

## LIITE 1

Tehtävä A1.

**Lukekaa huolellisesti tämän sivun tehtävänanto läpi ennen tehtävän aloittamista.**

**Käynnistäkää Educreations-sovellus.**

**Tehtävänänne on mallintaa piirtämällä veden aaltorintaman etenemistä kaksoisraon läpi.** Ennustakaa piirtäen, miten aaltolähteen taajuus ja aallonpituus sekä raot vaikuttavat ilmiöön.

**Ennen kuin aloitatte piirtämisen, laittakaa nauhoitus päälle.** Nauhoitus käynnistyy painamalla Educreations-ohjelmassa ruudun oikeassa yläkulmassa olevaa REC-kuvaketta. Varmistakaa, että nauhoitus on päällä kokoajan, kun piirräte. Ohjelma nauhoittaa kaiken, mitä ruudulla tapahtuu sekä käymänne keskustelun.

**Keskustelkaa piirtoprosessin aikana piirroksenne** ja pyrkikää selittämään piirroksenne mahdollisimman hyvin. Käyttäkää tarpeen mukaan eri värejä selkeyttämään piirroksenne. Mikäli tarvitsette useita sivuja piirroksillenne, saatte uusia sivuja ruudun alalaidasta olevasta nuolesta.

**Kun olette saaneet piirroksenne valmiiksi, voitte pysäyttää nauhoituksen.** Vielä tässä vaiheessa teidän ei tarvitse tallentaa piirroksenne. Riittää, että pause-näppäintä on painettu. **Tärkeintä on, ettette hävitä piirroksenne.** Educreations-ohjelmaa ei saa **sammuttaa**, sillä tulette vielä käyttämään sitä myöhemmässä vaiheessa.

Jatkakaa seuraavaan tehtävään vasta luvan saatuanne.

## LIITE 1

Tehtävä A2.

**Lukekaa huolellisesti tämän sivun tehtävänanto läpi ennen aloittamista.**

**Tehtävänänne on simuloida veden aaltorintaman etenemistä kaksoisraon läpi.**

**Ottakaa käyttöönne toinen iPad. Käynnistäkää Ripple Tank Free -sovellus.** Selatkaa valikosta niin kauan alaspäin, että löydätte *Diffraction*-alavalikosta kaksoisraon (*Double Slit*).

**Nauhoittakaa simuloidessanne käymänne keskustelut.** Ottakaa toinen iPad, josta käynnistätte Educreations-ohjelman. Nauhoitus käynnistyy painamalla Educreations-ohjelmassa ruudun oikeassa yläkulmassa olevaa REC-kuvaketta. Varmistaakaa, että nauhoitus on päällä kokoajan, kun simuloitte. Ohjelma nauhoittaa kaiken, mitä puhutte.

**Ripple Tank Free -sovelluksessa** voitte liikuttaa aaltolähdettä ja kaksoisrakoa vetämällä niitä sormella näyttöä pitkin. **Rakojen etäisyyttä** toisistaan saatte muutettua napauttamalla rakoa ja vetämällä sen jälkeen sormella ruutuun ilmestyneitä neliöitä. **Rakojen leveyttä** voitte muuttaa napauttamalla rakoja vielä toisen kerran ja sen jälkeen sormella vetämällä. **Aaltolähteen taajuutta** (frequency) voitte muuttaa kaksoisnapsauttamalla aaltolähdettä.

**Älkää muuttako rakojen määrää** (*number of slits*).

**KÄÄNNÄ!**

## LIITE 1

**Kirjoittakaa tähän simuloimalla tekemienne havaintojen perusteella, miten eri parametrien muuttaminen vaikuttaa tasoallon diffraktioon kaksoisraossa.**

Taajuus

Rakojen leveys

Rakojen välinen etäisyys

Rakojen etäisyys aaltolähteestä

**Voitte pysäyttää Educreations-ohjelman nauhoituksen, kun olette saaneet simuloinnin tehtyä.** Vielä tässä vaiheessa teidän ei tarvitse tallentaa mitään. Riittää, että pause-näppäintä on painettu. **Tärkeintä on, ettette hävitä Educreationsiin tekemänne nauhoitusta. Educreations-ohjelmaa ei saa sammuttaa, sillä tulette vielä käyttämään sitä myöhemmässä vaiheessa.**

Voitte sulkea simuloimiseen käyttämänne iPadin.

Jatkakaa seuraavaan tehtävään vasta luvan saatuanne.

## LIITE 1

Tehtävä A3.

**Lukekaa huolellisesti tämän sivun tehtävänanto läpi ennen tehtävän aloittamista.**

**Palatkaa Educreations-sovellukseen.**

**Ottakaa ennen tämän tehtävän aloittamista uusi, puhdas sivu sovelluksesta.** Uuden sivun saatte ruudun alalaidasta olevasta nuolesta.

**Ennen kuin aloitatte piirtämisen, laittakaa taas nauhoitus päälle.** Nauhoitus käynnistyy painamalla Educreations-ohjelmassa ruudun oikeassa yläkulmassa olevaa REC-kuvaketta. Varmistakaa, että nauhoitus on päällä kokoajan, kun piirrätte.

**Tehtävänänne on mallintaa piirtämällä veden aaltorintaman etenemistä kaksoisraon läpi.** Mallintakaa piirtäen, miten aaltolähteen taajuus ja aallonpituus sekä raot vaikuttavat ilmiöön.

**Keskustelkaa piirtoprosessin aikana piirroksenne** ja pyrkikää selittämään piirroksenne mahdollisimman hyvin. Käyttäkää tarpeen mukaan eri värejä selkeyttämään piirroksenne.

Kun olette saaneet piirroksenne valmiiksi, pysäyttäkää nauhoitus pausnäppäimestä ja odottakaa tarkempia ohjeita piirrosten tallentamista varten.

## LIITE 1

Tehtävä B2.

**Lukekaa huolellisesti tämän sivun tehtävänanto läpi ennen tehtävän aloittamista.**

**Simuloikaa veden aaltorintaman etenemistä kaksoisraon läpi.** Käyttäkää simuloimiseen Ripple Tank Free -sovellusta (Diffraction, Double Slit).

**Nauhoittakaa simuloidessanne käymänne keskustelut.** Ottakaa toinen iPad, josta käynnistätte Educreations-ohjelman. Nauhoitus käynnistyy painamalla Educreations-ohjelmassa ruudun oikeassa yläkulmassa olevaa REC-kuvaketta. Varmistakaa, että nauhoitus on päällä kokoajan, kun simuloitte. Ohjelma nauhoittaa kaiken, mitä puhutte.

Ripple Tank Free -sovelluksessa voitte liikuttaa aaltolähdettä sekä kaksoisrakoa vetämällä niitä sormella näyttöä pitkin. **Rakojen etäisyyttä** toisistaan saatte muutettua napauttamalla toista raoista ja vetämällä sen jälkeen sormella ruutuun ilmestynyttä neliötä. **Rakojen leveyttä** voitte muuttaa napauttamalla rakoja uudelleen ja sen jälkeen sormella vetämällä. **Aaltolähteen taajuutta** (frequency) voitte muuttaa kaksoisnapauttamalla aaltolähdettä.

**Älkää muuttako rakojen määrää** (*number of slits*).

**KÄÄNNÄ!**

## LIITE 1

**Kirjoittakaa alle simuloimalla tekemiinne havaintojen perusteella, miten eri parametrien muuttaminen vaikuttaa tasoallon diffraktioon kaksoisraossa.**

Taajuus

Rakojen leveys

Rakojen välinen etäisyys

Rakojen etäisyys aaltolähteestä

**Voitte pysäyttää Educreations-ohjelman nauhoituksen, kun olette saaneet simuloinnin tehtyä.** Vielä tässä vaiheessa teidän ei tarvitse tallentaa mitään. Riittää, että pause-näppäintä on painettu. **Tärkeintä on, ettette hävitä Educreationsiin tekemänne nauhoitusta. Educreations-ohjelmaa ei saa sammuttaa,** sillä tulette vielä käyttämään sitä myöhemmässä vaiheessa.

Jatkakaa seuraavaan tehtävään vasta luvan saatuanne.

## LIITE 1

Tehtävä B3.

**Lukekaa huolellisesti tämän sivun tehtävänanto läpi ennen tehtävän aloittamista.**

**Käynnistäkää Educreations-sovellus.**

**Tehtävänänne on mallintaa piirtämällä veden aaltorintaman etenemistä kaksoisraon läpi.** Mallintakaa piirtäen, miten aaltolähteen taajuus ja aallonpituus sekä raot vaikuttavat ilmiöön.

**Ennen kuin aloitatte piirtämisen, laittakaa nauhoitus päälle.** Nauhoitus käynnistyy painamalla Educreations-ohjelmassa ruudun oikeassa yläkulmassa olevaa REC-kuvaketta. Varmistakaa, että nauhoitus on päällä kokoajan, kun piirrätte. Ohjelma nauhoittaa kaiken, mitä ruudulla tapahtuu sekä käymänne keskustelun.

**Keskustelkaa piirtoprosessin aikana piirroksenne** ja pyrkikää selittämään piirroksenne mahdollisimman hyvin. Käyttäkää tarpeen mukaan eri värejä selkeyttämään piirroksenne. Uuden sivun saatte ruudun alalaidasta olevasta nuolesta.

Kun olette saaneet piirroksenne valmiiksi, pysäyttäkää nauhoitus pause-näppäimestä ja odottakaa tarkempia ohjeita piirrosten tallentamista varten.