

TUTKIMUSPERUSTAINEN FYSIIKAN OPETTAJANKOULUTUSOHJELMA – PROSESSI JA NYKYTILA

Pekka E. Hirvonen, Risto Leinonen, Mikko Kesonen, Ville Nivalainen & Mervi Asikainen
Fysiikan ja matematiikan laitos, Itä-Suomen yliopisto

Tiivistelmä Aineenopettajankoulutuksen järjestämistä säätelee asetus, mutta käytännön tasolla toimintaa voidaan tutkimusperustaisesti kehittää ja toteuttaa monin tavoin. Tässä artikkelissa esittelemme kuinka Joensuussa on kehitetty fysiikan opettajankoulutusta ainelaitoksella tehtävän tieteellisen tutkimuksen keinoin noin 20 vuoden ajan. Aineenopettajakoulutus kestää kokonaisuudessaan keskimäärin viisi vuotta, joista neljä vuotta opettajaopiskelija työskentelee ainelaitoksen tarjoamien opintojen parissa. Opettajaopiskelijan näkemykset ainesisällön, opettamisen ja oppimisen kysymyksistä voivat kehittyä koko viisivuotisen opettajankoulutuksen ajan, jos tutkimukseen perustuvat opinnot organisoidaan oikealla tavalla. Tämän lisäksi myös ainesisällön oppiminen voi olla erittäin tehokasta. Artikkelin avulla osoitamme, että myös ainelaitosten opettajankoulutuksen tulisi aina perustua tieteelliseen tutkimukseen.

1 Johdanto

Fysiikan opettajankoulutusta tukeva ja sitä kehittävä tieteellinen tutkimustyö käynnistyi Joensuun yliopiston fysiikan laitoksella 1990-luvun alkupuolella ja on sittemmin laajentunut ja kansainvälistynyt Itä-Suomen yliopiston fysiikan ja matematiikan laitoksella 2000- ja 2010-luvuilla. Tohtorin tutkintoon johtaneita väitöskirjatöitä fysiikan opettamisen ja oppimisen tutkimus on tuottanut näinä vuosina yhteensä yhdeksän lukuisine artikkeleineen, samoin uusia kursseja ja koulutuskäytänteitä on syntynyt suuri määrä. Kansainvälinen julkaisutoiminta on tehnyt kehitystyöstämme uskottavaa ja läpinäkyvää, ja tutkimuksemme läpikäymät vertaisarviointiprosessit takaavat kehitystyömme olevan tieteellisen tarkastelun kestävä.

Ainelaitoksella tehtävän kehitystyön lisäksi opettajankouluttajien yhteistyö ainelaitosten, soveltavan kasvatustieteen ja normaalikoulun välillä on tuottanut tutkimukseen perustuvia käytänteitä ja opinnäytetöitä. Monissa tapauksissa ainelaitoksen kehittämistyö on käynnistynyt juuri opettajankoulutuksen kolmikannan yhteisten keskustelujen tuloksena. Tässä artikkelissa kuitenkin keskitymme kolmeen tieteellisen tutkimuksen ja kehittämistyön kohteina olevaan teemaan, joita on pääosin toteutettu ainelaitoksella.

Ensimmäinen artikkelimme osio käsittelee koulussa ja opettajankoulutuksessa keskeistä kokeellista ja tutkimuksellista työskentelytapaa, jonka kehitystyö aloitettiin ensimmäisen kokeellisen koulufysiikan laboratorion perustamisella 1993. Aihetta käsittelevä julkaisutoiminta alkoi 1999 (Hirvonen, 1999) ja jatkui edelleen 2000-luvulla väitöskirjatöihin johtaneessa projektissa (Nivalainen, 2011). Uusin tutkimus- ja koulutusympäristömme on sijoitettu Itä-Suomen yliopiston LUMA-keskuksen yhteyteen, ja

se sisältää kokeellista ja tutkimuksellista oppimista tukevia oppimisympäristöjä kaiken ikäisille oppijoille. Toimintaympäristöt mahdollistavat fysiikan, matematiikan, kemian ja tietojenkäsittelytieteen aiheiden käsittelyn ja myös laaja-alaisempien tieteiden välisten kokonaisuuksien suunnittelun.

Artikkelimme toinen osio tarkastelee eri fysiikan osa-alueisiin kohdentuneita tutkimusprojekteja, jotka ovat johtaneet kaikkiaan viiden fysiikan opetuksen ja oppimisen väitöskirjatyön syntymiseen. Aihealueet kattavat lähes kaikki fysiikan osa-alueet, kuten mekaniikan (Savinainen, 2004), sähköopin (Hirvonen, 2003), kvantti- ja atomifysiikan (Asikainen 2006), sähkömagnetismin (Saarelainen, 2011), termofysiikan (Leinonen, 2013) ja optiikan (Kesonen, 2014). Osa tutkimusprojekteista on painottunut lukiotasoisien opetuksen kehittämiseen (Savinainen, 2004), mutta pääosin tutkimuksella on edistetty yliopistossa tapahtuvaa opettajankoulutusta.

Kolmas esille nostettava näkökulma kohdentuu fysiikan pääaineopettajaopiskelijoille kehitettyihin maisteriopintojen kursseihin ja näin hyödyntää vahvasti kaikkea tehtyä tutkimusta ja tutkimusprojekteissa omaksuttua alan tieteellistä tietoa. Toisaalta maisteriopinnot sisältävät myös täysin omia tarkastelunäkökulmia, kuten fysiikan historian ja fysiikkaan liittyvät tieteenfilosofiset aspektit. Kaikkiaan opettajille räätälöityjä maisteriopintoja fysiikan ohjelmassa on tarjolla 25 opintopisteen verran, ja lisäksi kaikki opettajaopiskelijat tekevät opettajan ammatillista kehittymistä tukevat pro gradu -työn (20 op), jossa yhdistyvät fysiikan sisällölliset ja ainedidaktiset sekä opetuksen ja oppimisen tutkimuksen näkökulmat.

1 Kokeellisuus, tutkimuksellisuus ja fysiikan opettajankoulutus

Kokeellisen työskentelyn rooli fysiikan kouluopetuksessa ja opettajankoulutuksessa aiheutti 1990-luvun alussa kiivastakin keskustelua – jopa julkisesti esitettiin koulukokeellisuuden olevan lähinnä päämäärätöntä puuhastelua ilman selkeää tarkoitusta. Opetussuunnitelmauudistuksen yhteydessä vuonna 1994 esiteltiin kokeellinen lähestymistapa, jonka pohjalta myös opettajankoulutusta kehitettiin (Lavonen & Meisalo, 1997).

1.1 Kokeellinen lähestymistapa

Joensuun yliopiston fysiikan laitoksen ja kasvatustieteellisen tiedekunnan yhteistyönä rakensimme ja varustimme syksyllä 1997 laboratorion, jonka ensisijainen käyttötarkoitus oli fysiikan kokeellisen lähestymistavan taitojen ja näkökulmien opettaminen tuleville matemaattisten aineiden opettajille. Samana syksynä ainelaitoksen opetusohjelmaan vakiintui Kokeellisen koulufysiikan kurssi, jolla on edelleen oma tärkeä paikkansa matemaattisten aineiden opettajankoulutusohjelmissa. Kurssia kehitettiin 90-luvulla voimakkaasti esillä olleen hahmottavan lähestymistavan periaatteiden mukaisesti (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994), myöhemmin mukaan tuli myös mallintava lähestymistapa.

Ensimmäisen kehityssyklin tulokset julkaistiin toimintatutkimuksen muodossa (Hirvonen, 1999).

Alkuperäisen kurssin perusajatus oli luoda kokeellisuudesta monipuolinen kuva ja painottaa sen merkitystä osana fysiikan tiedonmuodostuksen prosessia. Kokeellisuuden käyttö koulutasolla ei saa rajoittua pelkästään esitettyjen lainalaisuuksien verifiointiin, vaan sen tulee vahvistaa käsitteiden, lakien ja teorioiden kehittymisen prosessia samalla luoden kuvaa fysiikasta empiirisenä luonnontieteenä (Hirvonen, 2002). Kurssin tehtäväannot painottivat vahvasti opettajaopiskelijoiden itsenäistä roolia fysiikan rakenteiden ja tiedon analysoinnissa sekä kokeellisten työkokonaisuuksien suunnittelussa. Työskentelyssä hyödynnettiin jo tuolloin monipuolisesti tietokoneavusteisia mittausjärjestelmiä sekä markkinoille tulleita ensimmäisiä simulointiohjelmiä. Samoin huomiota kiinnitettiin fysiikasta kokeellisen työskentelyn kautta oppilaille välittyvään mielikuvaan (*Nature of Science*).

1.2 Kokeellisen työskentelyn haasteet ja tavoitteet

Toinen kokeellisen työskentelyn mahdollisuuksia ja haasteita selvittänyt tutkimusprojekti käynnistyi vuonna 2003. Myös tällä kertaa tutkimuskontekstina toimi kyseinen Kokeellisen koulufysiikan kurssi, mutta tutkimus kohderyhmä laajeni opettajaksi opiskelevien lisäksi käsittämään työssä olevat matemaattisten aineiden opettajat. Vuosien 2001–2007 aikana Joensuun yliopiston fysiikan laitos järjesti opetusministeriön rahoituksella Didaktisen fysiikan laudatur -pätevöittämissä koulutusohjelman, jonka yhtenä aiheena oli kokeellinen työskentelytapa. Opettajaksi opiskelevien ja työssä olevien opettajien vertailu nosti esiin mielenkiintoista uutta opettajankoulutuksen kehittämisessä hyödynnettävää tietämystä.

Tutkimusprojektin ensimmäinen osio käsitteli sitä, kuinka kokeellisuuden tavoitteet ymmärretään kyseisen kurssin kontekstissa. Alan kansainvälinen tutkimuskirjallisuus määrittelee kokeelliselle työskentelylle kymmenittäin erilaisia tavoitteita, joista keskeisimmät liittyvät kokeellisten taitojen, sisältötiedollisen ja käsitteellisen tiedon kehittämiseen, motivaation lisäämiseen, tieteellisen ajattelun kehittämiseen sekä sosiaalisten ja oppimistaitojen kehittämiseen (Nivalainen, Asikainen & Hirvonen, 2013a).

Monivuotisen tutkimusprojektin tulosten perusteella opettajaopiskelijat näkivät kokeellisuuden vahvistavan teoreettisen tiedon ymmärrystä, sekä liittävän sitä arkipäivän tilanteisiin. Teoreettis-kokeellisen linkin merkitys ymmärrettiin hyvin, joten voidaan olettaa, että sitä korostetaan riittävästi myös suomalaisessa kouluopetuksessa. Samoin kokeellisuuden vaikutukset motivaatioon tiedostettiin hyvin. Suuri osa tutkimukseen osallistuneista opiskelijoista oli itse kokenut kokeellisen opetuksen motivaatiota lisäävänä opetuksen toteutustapana jo koulussa. Sen sijaan harva heistä koki, että fysiikan kokeellisuus olisi koulutasolla kehittänyt sosiaalisia ja oppimisen taitoja, vaikka suuri osa kokeellisesta työskentelystä tapahtuu ryhmissä. Suurimmaksi puutteeksi opettajaopiskelijat kokivat tieteellisen prosessin ja luonnontieteellisen ajattelun sekä luonnontieteen luonteen ymmärtämisen vähäisen linkittymisen kokeellisuuteen. Tulos osoittaa, että luonnontieteen

luonteen ja tieteellisen ajattelun kehittämiseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota opettajaopinnoissa. Tätä osa-aluetta tukemaan on maisteriopinnoissa kehitetty oma kurssikokonaisuutensa, samoin asiaa käsitellään pedagogisten opintojen puolella.

Työssä olevien opettajien tutkimus paljasti, että suurimmat haasteet kokeellisen työskentelyn toteutuksessa voidaan jakaa neljään kategoriaan. Samat kategoriat esiintyivät myös opettajaopiskelijoilla. Suurimmat haasteet molemmilla ryhmillä liittyivät laboratorion tai välineistön käyttöön sekä fysiikan sisältötiedon soveltamiseen kokeellisen työskentelyn kontekstissa. Harvemmin molempien ryhmien mainitsemia haasteita olivat opetuksen lähestymistapojen hallinta sekä kokeellisen työskentelyn yleinen organisointi. Tutkimustulostemme mukaan työssä olevilla opettajilla oli opettajaopiskelijoita suurempia vaikeuksia sopeutua modernin laboratorion mahdollisuuksiin ja saada analysoitavaksi soveltuvaa aineistoa kootuksi kokeiden avulla. Opettajaopiskelijat taas eivät puolestaan ymmärtäneet fysiikan ilmiöitä tai osanneet tulkita graafista aineistoa yhtä hyvin kuin kokeneet opettajat. (Nivalainen, Asikainen, Sormunen & Hirvonen, 2010)

Yhteenvedona voidaan todeta, että molempien ryhmien koulutusta suunniteltaessa täytyy kiinnittää erityistä huomiota opetuksellisten lähestymistapojen konkretisoimiseen. Kokeellisten oppimis- ja opetuskokonaisuuksien suunnittelusta ja toteutuksesta opettajaopiskelijat ja työssä toimivat opettajat suoriutuvat melko hyvin ja suunnitellut kokeelliset kokonaisuudet tukevat sekä tiedon rakentumisen että verifiointin prosesseja, mutta laaja-alainen opetusta ohjaava lähestymistapa on usein jäsentymätön. Samoin ainesisällön rakenteen ja käsitteiden välisten riippuvuuksien muodostaman verkon analysointiin kannattaa kiinnittää koulutuksessa huomiota. Tänä päivänä näitä seikkoja korostetaan sekä kokeellisuuteen painottuvilla kursseilla mutta myös maisteriopinnoissamme.

2 Fysiikan eri osa-alueisiin keskittyneet tutkimusprojektit

Fysiikan aihealueisiin liittyvien tutkimusprojektien taustalla on lähes poikkeuksetta vaikuttanut vahvasti kansainvälinen *Physics Education Research* (PER) -traditio. Tämä kyseinen suunta eroaa jossain määrin *Science Education Research* -traditiosta keskittyen vaativampien fysiikan käsitteiden ja osa-alueiden opetuksen ja oppimisen tutkimukseen. Useimmiten käsiteltävien aiheiden vaativuustaso vastaa lukiotasoa tai yliopisto-opintojen perusopintotasoa. Tutkimusprojektimme eivät ole tuottaneet uutta tietoa pelkästään näiden osa-alueiden oppimisesta, vaan on myös syntynyt uudenlaisia opetuksen lähestymistapoja ja näkökulmia, tai muualla kehitettyjä materiaaleja ja käytänteitä on integroitu osaksi omia opetuskäytänteitämme.

2.1 Mekaniikkaa ja vuorovaikutuskaavioita

Joensuussa fysiikan opetuksen ja oppimisen tutkimustradition aloitti professori Jouni Viiri. Hänen mekaniikan opetusta ja oppimista käsittelevällä väitöskirjatyönsä oli alan ensimmäisiä Suomessa (Viiri, 1994). Tämän tutkimusprojektin kautta nykyiset opettajamme

tutustuivat mekaniikan osa-alueen oppimista käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen ja käsitteellisiin testeihin. Mekaniikan tutkimusta jatkoi dosentti Antti Savinainen, jonka tutkimus kohdentui lukiolaisten mekaniikan osaamiseen ja vuorovaikutuskaavioiden käyttöön (Savinainen, 2004). Vuorovaikutuskaavioita ja käsitteellistä osaamista mittaavia tehtäviä hyödynnetään edelleen fysiikan opettajankoulutuksen kursseilla.

2.2 Tasavirtapiireistä sähkö- ja magneettikenttiin

Sähköopin osa-alue on perinteisesti koettu melko vaikeaksi ja abstraktiksi fysiikan osa-alueeksi sekä kouluopetuksessa että myös yliopisto-opinnoissa. Opetussuunnitelmien vaihtuessa ovat myös kyseisen osa-alueen opetuksen painotukset ja jopa asioiden käsittelyjärjestys muuttuneet. Välillä on fysiikan rakenteen mukaisesti aloitettu painokkaasti sähköstatiikasta, mutta viime vuosien aikana tasavirtapiirien käsittelyä on aikaistettu suhteessa sähkömagnetismin teorian käsittelyyn.

Eryistä keskustelua on käyty myös sähköopin mikrotason ilmiöiden käsittelyn merkityksestä ja laajuudesta. On jopa esitetty mielipiteitä, joiden mukaan mikrotason selittäviä malleja tai varauksen ja energian säilymisen periaatteita ei tulisi kouluopetuksessa käsitellä tasavirtapiirien yhteydessä lainkaan. Eri aikakausien erilaiset painotukset näkyvät myös käytetyissä oppimateriaaleissa. Vielä 90-luvulla oli vaikea löytää edes yliopistotasoisia materiaaleja, joissa mikromalleja tai tasavirtapiirien dynaamista luonnetta kuvaavia pintavarausmalleja olisi selitetty tai kuvattu (Hirvonen, 2003).

Mikromallien käytön osalta tilanne on muuttunut, koska opetuksen ja oppimisen tutkimuksen tuloksena on ymmärretty, että vaikeitakaan mitä- tai miksi-kysymyksiä ei kannata opetuksessa välttää. Jos oppilas ei saa mitään vastausta kysymyksiinsä, kuten *mitä tapahtuu kun virtapiiri suljetaan, miksi lamppu syttyy välittömästi* tai *kuinka sähkövirtaa tulisi kuvata*, hän keksii selitykset omassa mielessään. Valitettavasti usein nämä selitykset eivät ole kovin lähellä hyväksyttävää tieteellistä selitystä. Näin on päädytty siihen lopputulokseen, että jopa hieman naiivi tieteellinen malli on parempi oppimisen lähtökohta kuin täysin itse keksitty (Hirvonen 2007). Tästä johtuen mikromallien käyttö virtapiirien toimintaa selittävinä malleina on lisääntynyt sekä lukio- että yliopistotasoisissa oppimateriaaleissa. Tällä hetkellä fysiikan perusopetuksessa käytetään tarkoituksellisesti oppimateriaaleja, joiden suunnittelussa ja toteutuksessa mikromallit on huomioitu.

Sähkö- ja magneettikentät puolestaan yllättävät edelleen sekä opettajat että oppilaat abstraktiudellaan. Lukio-opetuksen ongelmien yhtenä taustatekijänä voidaan pitää suhteellisen rajattua asiasisältöä ja lyhyttä vaativan asiasisällön käsittelyyn varattua aikaa. Sähkömagnetismin osa-alueesta ehditään käsitellä yksittäisiä lainalaisuuksia, mutta selittävämmän teorian tasolle ei ole mahdollista päästä. Edelleen kentistä välittyvä kuva on pikemminkin Coulombilaiseen kuin Maxwellilaiseen selitysmalliin perustuva (Saarelainen 2011).

Opettajankoulutuksen toteutuksessa edellä mainitut ongelmat on syytä tiedostaa ja nostaa eksplisiittisesti esiin. Samoin on tärkeää varmistaa, että sekä käsitteellinen ymmärrys

että teoreettinen kokonaiskäsitys kehittyvät riittävän pitkälle. Teoreettisen kokonaisnäkömyksen ja ongelmanratkaisustrategioiden kehittämiseen kiinnitetään huomiota perus- ja aineopintojen aikana, ja maisteriopinnoissa palataan vielä kertaalleen käsitteellisen näkökulmaan. Tasapainoinen eri näkökulmia sopivasti painottava aineenhallinta varmistaa sen, että kouluun siirtyvä opettaja pystyy rakentamaan tästä haastavasta osa-alueesta johdonmukaisen, ymmärrettävän ja tutkimuksellisen kokeelliseen lähestymistapaan nojaavan opetuskokonaisuuden.

2.3 Kvanttifysiikkaa opettajille

1900-luvun vaihteessa syntynyt kvanttifysiikka kytkeytyy kouluopetukseen erityisesti lukion syventävällä modernin fysiikan kurssilla. Yliopistossa aihealue on todettu haasteelliseksi, eikä perinteisten yliopiston aineopinto- tai syventävien kurssien ole katsottu antavan hyviä valmiuksia kvanttifysiikan aiheiden opetukseen lukiossa. Tästä syystä vuonna 2003 käynnistettiin väitöskirjahanke, jonka tavoitteena oli suunnitella opettajaksi valmistuville kurssi, joka vastaa tähän haasteeseen. Kurssin suunnittelussa tehtiin yhteistyötä Helsingin yliopiston fysiikan laitoksen fysiikan opetuksen tutkimusryhmän kanssa.

Kurssin sisältö koostettiin historiallisista kvanttifysiikan perusilmiöistä, jotka fysiikan historiassa johtivat kvanttifysiikan syntyyn (Asikainen, 2006). Opetusta toteutettiin sykklisellä menetelmällä, jossa opetus koostui esitehtävistä, vuorovaikutteisista luennoista ja jälkitehtävistä (Asikainen & Hirvonen, 2009). Kurssi järjestettiin muutamia kertoja sekä fysiikan opettajaksi opiskeleville että työssä oleville opettajille. Kurssiin liittyvän väitöskirjatutkimuksen tulokset osoittivat, että sekä opiskelijoiden että opettajien kvanttifysiikan ilmiöiden osaaminen on vaatimatonta aiempien kurssien jälkeen, mutta kurssi auttoi hallitsemaan ilmiöiden selitysmallit paremmin (Asikainen, 2006).

Erittäisen haasteellista kurssille osallistuneille oli kvanttiolioiden, esimerkiksi fotonin ja elektronin, kvanttiluonteen ymmärtäminen, sillä elektroniin liitettiin usein hiukkasmaisia ja fotonin aaltomaisia mielikuvia, eikä niitä nähty duaalisina olioina (Asikainen, 2006). Myös elektronin ja fotonin olemuksen opetukseen usein käytettävän kaksoisrakokokeen tulkinta osoittautui haastavaksi sekä opettajaopiskelijoille että opettajille (Asikainen & Hirvonen, 2014). Näiden aiheiden opetukseen tulee siten kiinnittää enemmän huomiota fysiikan aineenopettajakoulutuksessa.

Väitöskirjahankkeen päätyttyä sen puitteissa kehitetty kurssi päätettiin yhdistää aineopintojen Kvantti- ja atomifysiikan kurssin kanssa siten, että em. kurssin kehittäjä vastaisi uuden kurssin opetuksesta ja kehittämisestä. Näin parhaimmat ideat tutkimusperusteiselta kurssilta siirtyivät osaksi pysyvää, kaikille fysiikan perus- ja aineopinnot suorittaville tarkoitettua pakollista kurssia. Merkittävimpänä muutoksena voidaan todeta kurssin opetuksen muuttaminen ilmiölähtöisempään lähestymistapaan, jolla on aikaisempaa enemmän yhtymäkohtia kouluopetuksen kanssa. Kurssin opetuksessa myös kiinnitetään entistä enemmän huomiota kvanttimekaniikan formalismin ymmärtämiseen, mikä on kokemuksemme mukaan auttanut muokkaamaan mielikuvaa kvanttimekaniikasta

aiempaa positiivisemmaksi. Kvanttifysiikan aihealueeseen liittyen on tehty viimevuosina myös useita pro gradu -tutkielmia, mikä osoittaa sen muuttuneen opettajaopiskelijoita kiinnostavaksi fysiikan osa-alueeksi.

2.4 Energian säilyminen ja entropia säätelee ilmiöitä

Termofysiikka eli lämpöoppi keskittyy fysiikan käsitteistä kenties keskeisimpään, energiaan, ja sen muuntumiseen. Lämpöopin pääsäännöt eivät toimi yhdistävänä tekijänä vain fysiikan eri osa-alueille, sillä energiansäilymlaki ja entropian kasvun periaate säätelevät luonnontieteen alaan sisältyviä prosesseja niin kemian kuin biologiankin aloilla. Samoin teknisten laitteiden toimintaa ja hyötysuhdetta määrittävät yleiset rajoitteet seuraavat näistä lainalaisuuksista. Täten myös kemian, biologian ja maantieteen opettajaksi valmistuvien olisi hyvä ymmärtää mainittujen fundamentaalisten periaatteiden sisällöt.

Näiden tärkeiden näennäisesti yksinkertaisten lakien sisällöt aiheuttavat monenlaisia ongelmia oppilaille ja opiskelijoille. Vaikka sisältöihin paneudutaan jo lukiossa, yliopistoon saapuvien opiskelijoiden sisältötieto on usein käsitteellisesti epätäsmällistä. Opiskelijoiden ajatukset ovat myös usein ristiriitaisia ja perustuvat käsitteiden arkipäiväisiin merkityksiin. Perinteinen yliopistotasoinen luento- ja laskuharjoitus pohjainen opetuskaan ei takaa hyvää käsitteellistä ymmärrystä, vaan opiskelijoilla on havaittu olevan puutteita ja ongelmia käsitteiden *työ* ja *lämpö* soveltamisessa, käsitteiden välisissä riippuvuuksissa ja graafisten esitysten hyödyntämisessä. (Leinonen, 2013)

Oppimisen parantamiseksi kehitimme uudenlaisen opetuksen toteutustavan, joka yhdistää luentotyypistä ja ryhmätyöskentelyyn perustuvaa opetusta (HPIL = Hints and Peer Interaction in Lectures). Uuden lähestymistavan teoreettinen tausta nojaa Vygotskyn (1978) esittämään teoriaan lähikehityksen vyöhykkeestä (ZPD = Zone of Proximal Development). Yksinkertaistettuna voidaan ajatella, että oppimista tapahtuu kahdella tavalla: itsenäisesti ja avustettuna. Kun avustettu oppiminen tapahtuu lähikehityksen vyöhykkeellä, voi oppija saavuttaa yksin saavuttamattomissa olevan oppimistavoitteen, kun hänelle tarjotaan sopivia ärsykeitä. Nämä ärsykkeet voivat olla esimerkiksi ohjaajan, opiskelukaverin tai tietokoneohjelman tarjoamia vihjeitä. Tällaista opetusta ja ohjausta kutsutaan yleisesti scaffolding-menetelmäksi tai minimaalisen avun periaatteeksi. (Collins, Brown & Newman, 1989)

HPIL-opetuksen alussa opiskelijat saavat pohdittavakseen lämpöopin käsitteellisiä tehtäviä, joihin heidän tulee vastata itsenäisesti. Tämän jälkeen opiskelijoille tarjotaan tutkimuspohjaisia fysiikan sisältötietoon liittyviä vihjeitä, joiden avulla opiskelijoiden tulee arvioida aiemmin antamaansa vastausta uudelleen. Kolmannessa vaiheessa opiskelijoita pyydetään muodostamaan pareja ja vertailemaan vastauksiaan. Tämä on yksi scaffoldingin muoto, jossa hyödynnetään pari- ja ryhmäkeskusteluja, joiden eduista on raportoitu laajasti. Yksittäinen opetus sessio toteutetaan 60 minuutin aikana normaalissa luento-ympäristössä, eikä sen toteuttamiseen tarvita merkittäviä lisäresursseja, kuten opetusassistentteja tai välineistöä. (Leinonen, 2013) Saavuttamiemme tulosten mukaan opiskelijoiden

käsitteellinen ymmärrys paranee merkittävästi uusien tutkimuspohjaisten materiaalien ja menetelmän ansiosta. Tarkemmin prosessia analysoitaessa erityisen hyödyllisiksi aktiviteeteiksi tutkimuksessa osoittautuivat opiskelijoita aktivoivat tehtävät, kuten graafisen esityksen hyödyntäminen ongelmanratkaisun apuvälineenä ja parikeskustelut. Näyttää myös siltä, että saavutettu ymmärtämisen taso on syvällisempää ja oppimistulokset pysyvämpiä kuin perinteisillä luento- ja laskuharjoitusmenetelmillä saavutetut.

Toinen lämpöopin pääsäännön oppimiseen keskittynyt tutkimus käsittelee entropian käsitteen makro- ja mikrotason ymmärrystä yliopistotasolla. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka johdonmukaisesti opiskelijat osaavat selittää lämmönsiirtymisilmiötä lämpöopin toisen pääsäännön näkökulmasta makroskooppisella ja mikroskooppisella tasolla. Tulosten mukaan makrotasolla ilmiö osataan selittää täsmällisesti, mutta mikrotasolla päädytään usein säilyvän entropian malliin. Tämä osoittaa, että opiskelijoiden sisältötiedossa on ristiriitaisuuksia, joita he eivät useinkaan itse havaitse. (Leinonen, Asikainen & Hirvonen, 2015).

Lämpöopin opettamisen tutkimusprojektien myötä on kehittynyt uusia tutkimukseen perustuvia opettajankoulutusta tukevia yliopisto-opetuksen käytänteitä sekä laajasti hyödynnettäviä käsitteellisen ymmärryksen kehittymistä tukevia materiaaleja. Osaa materiaalista voidaan hyödyntää myös lukiotasoisessa opetuksessa (Leinonen, Asikainen & Hirvonen, 2013). Lisäksi kehitettyihin materiaaleihin ja niiden taustalla olevaan kansainväliseen tutkimuskirjallisuuteen palataan vielä tarkemmin opettajille suunnattujen maisteriopintojen aikana käsitteelliseen fysiikkaan ja fysiikan ymmärtämisen ongelmiin keskittyvillä kursseilla.

3 Tutorial-opetusmenetelmä osaksi fysiikan opettajankoulusta

Tunnetusti opettajaopiskelijat mukautuvat yliopistossa käytettyihin opetusmenetelmiin ja pyrkivät hyödyntämään oppimiaan menetelmiä myöhemmin kouluopetuksessa. Toisaalta taas koulujen opetuksen toteutustavat ovat uudistuneet varsin merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana, joten myös yliopistosektorilla ja opettajankoulutuksessa on välttämätöntä kehittää ja testata uudenlaisia tutkimukseen perustuva opetuksen toteutustapoja ja menetelmiä.

Eräs kansainvälisesti tunnetuimmista fysiikan opetusmenetelmistä on *Tutorials in Introductory Physics* (McDermott & Shaffer, 2010), joka on kehitetty Washingtonin yliopiston fysiikan opetuksen tutkimusryhmässä vuosikymmeniä jatkuneen *Physics Education Research* -työn tuloksena. Tutorial-opetusmenetelmän käyttö vaatii erityisjärjestelyjä; esimerkiksi suurissa luentosaleissa tapahtuva opetus korvataan osittain 20 opiskelijan ryhmissä tapahtuvalla pienryhmätyöskentelyllä, jossa tarvitaan useita ohjaajia. Tutorial-menetelmän toteuttaminen luentoihin nojaavassa yliopisto-opetuksessa alkuperäismuodossaan on haasteellista ilman lisäresursseja.

Vuosina 2009–2014 toteutetun optiikan yliopisto-opettamista käsittelevän tutkimusprojektin aikana kehitettiin Tutorial-interventio, joka mahdollistaa kyseisen

opetusmenetelmän käyttämisen myös suurissa luentosaleissa. Intervention suunnitteluvaiheessa tutkijamme työskenteli Tutorial-opetusmenetelmän kehittäjien kanssa Washingtonin yliopiston fysiikan opetuksen tutkimusryhmässä. Tutoriaalien autenttisesta kehitysympäristöstä omaksutut tiedot ja taidot olivat avainasemassa interventiota laadittaessa ja sitä kokeiltaessa Itä-Suomen yliopiston fysiikan perusopintotason kurssilla. (Kesonen, 2014)

Interventio tuotti uutta tietoa valo-opin perusteiden oppimisesta ja opetuksesta. Opiskelijoilla on usein arkihavaintoihin perustuvia käsityksiä, jotka ovat ristiriidassa fysiikan sisältötiedon kanssa. Näiden virhekäsitysten muuttaminen on yleensä hidas ja monivaiheinen prosessi. Tutkimusprosessin aikana tarkasteltiin missä määrin opiskelijoiden virhekäsitykset korvautuvat tieteellisillä käsitteillä 90 minuutin Tutorial-intervention aikana. Interventio toteutettiin neljä kertaa vuosina 2011–2014. Jokaisella toteutuskerralla opiskelijoiden virhekäsitysten osuus väheni ja oikeiden vastausten osuudet kasvoivat. Selkeästi oli havaittavissa, että tutoriaaliopetus edistää opiskelijoiden valo-opin perusteiden oppimista ja tukee luento-opetusta tarkoituksenmukaisella tavalla.

Kokonaisuutena tutkimusprojektin tulokset ilmentävät tutkimuspohjaisten opetusmenetelmien käyttöönoton problematiikkaa. Usein tutkimuspohjaisten opetusmenetelmien käyttö vaatii enemmän resursseja kuin perinteinen opetus. Riittävä menetelmän tuntemus kuitenkin mahdollistaa sen muokkaamisen ja perusajatusten toteuttamisen olemassa olevien resurssien puitteissa. Samoin laadukkaalla tutkimuksella on mahdollista saada näyttöä opetusmenetelmän toimivuudesta ja oppimistuloksista. Yksittäisetkin tutkimukset ja niiden myötä syntyvät opetusinterventiot kannustavat laajamittaisempaan opetuksen uudistamiseen. Tästä erinomaisena esimerkkinä Tutorial-opetusmenetelmä, joka on nykyään käytössä kaikilla Itä-Suomen yliopiston fysiikan aineenopettajan koulutusohjelmaan kuuluvilla peruskursseilla koko ensimmäisen opiskeluvuoden ajan.

4 Maisteriopintojen kehittäminen

Fysiikan opettajaopiskelijoille tarjoamme 25 opintopisteen maisteriopintojen kokonaisuuden, jota olemme rakentaneet kahden vuosikymmenen ajan erilaisia näkökulmia huomioiden. Ensimmäisiin kokonaisuuksiin malli saatiin Marylandin yliopiston Physics Education -ryhmässä kehitetyistä kursseista, jotka perustuvat vahvasti Physics Education -alan tutkimuskirjallisuuteen ja julkaistujen tulosten hyödyntämiseen. Nämä kyseiset kurssit pyrkivät erityisesti parantamaan käsitteellisen ymmärtämisen tasoa sekä nostamaan esiin opiskelijoilla esiintyviä vaihtoehtoisia ajattelumalleja ja käsityksiä.

Seuraava voimakkaampi kehityksen vaihe sijoittui 2000-luvun alkupuolelle, jolloin Joensuun yliopiston fysiikan laitos järjesti didaktisen fysiikan laudatur-opintokokonaisuuden työssä oleville matemaattisen aineiden opettajille. Kuuden vuoden toimintakauden aikana kursseista vastaavilla opettajilla oli erinomainen tilaisuus tutustua työssä olevien opettajien opettajantiedon tasoon ja mahdollisiin kehittämistä vaativiin osa-

alueisiin. Didaktisen fysiikan laudaturopintojen aikana kerätty tietämys osoitti, että vuosikymmenienkään opetuskokemus ei takaa, että opettajalle kehittyy koherentti ja laaja-alainen näkemys fysiikan opettajalta vaadittavista tiedoista ja taidoista. Kokemuksien pohjalta ja tutkimustietoa hyödyntäen kehittyivät fysiikan opettajaopiskelijoille suunnatut maisteriopintojen kurssit. Tutkimustiedon kehittymisen osalta tärkeässä roolissa ovat myös edellä esitellyt aihekohtaiset tutkimushankkeet perus- ja aineopintotasolla.

Fysiikan ja matematiikan opettamisessa hyödynnettävä opettajantieto on tutkimusryhmässämme myös omana tutkimuskohteenaan. Opettajantiedon avulla voidaan määritellä ja analysoida opettamisessa tarvittavaa osaamista ja samalla hyödyntää saatua tietämystä koulutuksen suunnittelussa. Oma tutkimuksemme on kohdentunut suomalaisten normaalikoulujen opettajien näkemyksiin matematiikan ja fysiikan opetuksessa tarvittavista opettajantiedon osa-alueista. Kyseinen kohderyhmä on keskeinen opettajankoulutuksessa, koska juuri opetusharjoittelussa yhdistyvät useat opetustyön kannalta keskeiset tiedon osa-alueet konkreettisiksi opetuksen suunnittelun ja toteutuksen prosesseiksi. (Asikainen, Hirvonen & Pehkonen, 2013; Asikainen & Hirvonen, 2011)

Seuraavassa esittelemme neljä opettajille suunnattua maisteriopintojen kurssia ja kerromme lyhyesti myös opettajaopiskelijoiden opinnäytetöiden rakenteista ja teemoista. Esiteltävien kurssien lisäksi opettajaopiskelijamme toteuttavat vuosittain kurssin, jonka päämääränä on oppia suunnittelemaan ja toteuttamaan eri ikäisille oppilaille suunnattu tiedetapahtumatyöpaja. Kokonaisuus toteutetaan vuosittaisen Joensuussa järjestettävän SciFest-tapahtuman yhteydessä ja on osa Itä-Suomen yliopiston LUMA-keskuksen toimintaa.

Esiteltävät kurssit ovat Fysiikan historia, Fysiikka rakenteellisena tieteenä, Käsitteellisen fysiikan kurssi opettajille ja Fysiikan ymmärtämisen ongelmat. Kurssien yhteisenä tavoitteena on syventää ja jossain määrin uudelleen organisoida fysiikan perus- ja aineopinnoissa omaksuttua sisältöä. Kurssit käymällä opettajaopiskelijoille muodostuu monipuolinen kuva fysiikasta tieteenä ja opittavana ja opetettavana oppiaineena. Joensuussa opiskelevat opiskelijat ovat maisteriopintoihin tullessaan suorittaneet osan pedagogista opinnoista ja tietyn määrän opetusharjoittelua normaalikoulussa. Näin laajentunut perusnäkemys antaa erinomaisen pohjan syventää fysiikan tietämystä eri näkökulmista ja integroida sekä aiempaa että uutta fysiikan näkökulmaa opetuksen ja oppimisen problematiikkaan. Toisaalta näiden kurssien avulla varmistetaan, että kaikilla valmistuvilla fysiikan opettajilla on vähintäänkin riittävät lähtökohdat aloittaa opettajana työskentely ja työnsä kehittäminen.

4.1 Fysiikan ja vähän muidenkin luonnontieteiden historiaa

Fysiikan historian kurssilla lienee kursseista pisimmät perinteet, sillä se kuuluu lähes kaikkien fysiikan koulutusta antavien yksiköiden opetusohjelmaan. Fysiikan historialliset kehityskulut avaavat monenlaisia mahdollisuuksia tarkastella fysiikan ja rinnakkaisten tieteenalojen kehittymisen käännteitä. Kyse ei ole ainoastaan fysiikan historiassa

tapahtuneiden uuden tiedon löytämiseen johtaneiden yksittäisten ihmisten saavutuksista. Näistä tärkeimpinä näyttäytyvät tieteenalojen väliset, fysiikan sisäisten osa-alueiden ja osa-alueiden sisällä tapahtuneet kehityskulut. Samoin nostamme esille tieteen harhapolkuja ja tieteen osa-alueiden kehityksen jopa vuosikymmeniksi pysäyttäneitä, myöhemmin vääriksi osoittautuneita, kokeita ja tuloksia.

Fysiikan historian kautta saatua käsitteenmuodostuksesta syntyvää mielikuvaa on mahdollista varovasti verrata myös oppimisen käsitteen muodostukseen kaikkine virheineen ja vaihtoehtoisine ajattelumalleineen. Kouluopetuksen kannalta tärkeämpi kurssin tavoite on kuitenkin luoda ymmärrystä siitä, kuinka tieteen prosessit ja tieteen tekemisen tavat näyttäytyvät historian valossa alati muuttuvina prosesseina, joskin joiden peruseräiteiden pysyvyys voidaan tunnistaa. Uusimpana avauksena ohjaamme erästä historian pro gradu –työtä yhteistyössä historian laitoksen asiantuntijoiden kanssa. Näin olemme päässeet tutustumaan historian tutkimuksen näkökulmaan ja siihen kuinka historioitsija pyrkii ymmärtämään fysiikan tiedon muodostumisen prosesseja huomioiden kyseiselle historian ajanjaksolle tyypillisen ajattelun ja kontekstin. Historiallinen näkökulma on osa minkä tahansa tieteenalan käytänteiden ja tiedon kokonaisvaltaista ymmärtämistä.

4.2 Fysiikan rakenteet ja luonnontieteiden merkityksen kokonaisvaltainen ymmärtäminen

Fysiikka rakenteellisena tieteenä –kurssi pyrkii vastaamaan kokonaisvaltaisesti fysiikan opettajankoulutuksen useampaan haasteeseen. Keskeisimpänä yksittäisenä havaintojen ja opettajantiedon tutkimuksen kautta vahvistuneena opettajankoulutuksen ongelmana näemme usein opettajalta puuttuvan kokonaisvaltaisen teoreettisen opetustyötä ohjaavan viitekehyksen. Perinteisesti tähän viitekehykseen kuuluvat opetettavan aineen sisältötieto mukaan lukien tiedon luonne sekä tieto aineen opettamisesta ja oppimisesta. Usein opettajat ovat kykeneviä kuvailemaan joitakin ajatuksia, joille he opetustyönsä perustavat, mutta valitettavasti harvemmat opettajat pystyvät kiinnittämään työskentelynsä ja tietonsa eri osa-alueet mihinkään laajempaan teoreettiseen viitekehykseen.

Tämä kyseinen kurssi pyrkii yhdistämään opettajantiedon osa-alueita luomalla kuvaa fysiikasta rakenteellisena luonnontieteenä ja avaamalla rakenteellisuuden eri tasoja. Samalla rakennetaan yhteyttä jatkuvasti kehittyvien tieteenalojen sekä ympäröivän yhteiskunnan ja sen osana olevan koulutuksen välille. Teknologian merkitystä ei voida sivuuttaa luonnontieteistä puhuttaessa, sillä luonnontieteet, matematiikka ja tietojenkäsittelytiede ovat mahdollistaneet meitä ympäröivän teknologian kehittymisen. Toisaalta taas teknologia on mahdollistunut entistä syvällisemmän luonnon rakenteiden ja yksityiskohtien tutkimuksen. Teknologian osa-alue on nousemassa nyt entistä enemmän esille myös kouluopetuksen yhteydessä opetussuunnitelman perusteiden uudistumisen myötä vuoden 2016 alusta alkaen, joten opettajaksi valmistuvilla tulee olla valmiuksia teknologian integroimiseen osaksi luonnontieteiden opetusta.

Kurssin kirjallisuus ja siinä käsiteltävät aiheet muuttuvat hieman jokaisella toteutuskerralla. Kurki-Suonioiden teosta *Fysiikan merkitykset ja rakenteet* (1994) käytetään taustamateriaalina kuten myös Ibrahim Hallounin (2004) teoksia. Enimmäkseen luentokeskustelut perustuvat kuitenkin ajankohtaisiin tiedeuutisiin ja jossain määrin myös tiedepoliittisiin linjauksiin. Kokonaisuutena integroimme fysiikkaa ja muita luonnontieteitä osaksi laajempaa yhteiskunnallista ja teknologista toimintaympäristöämme käsitellen samalla fysiikan ja luonnontieteiden opetuksen ja oppimisen kysymyksiä.

4.3 Käsitteellinen ymmärtäminen osana kokonaisvaltaista fysiikan ymmärtämistä

Käsitteellistä ymmärrystä ei ole syytä ymmärtää liian kapea-alaisesti, sillä se ei tarkoiteta pelkästään yksittäisten käsitteiden sisältöjen ymmärtämistä vaan pikemminkin sitä, kuinka käsitteet kuvaavat fysiikan ilmiöiden ja olioiden ominaisuuksia ja kuinka käsitteiden ja edelleen suureiden välisistä riippuvuuksista muodostuvat fysiikan lait, suureiden väliset verkostot ja myöhemmin myös teoreettiset kokonaisuudet. Käsitteellisen ymmärryksen, teoreettisen ymmärryksen tai ongelmaratkaisutaitojen erottelemisen ei lähtökohtaisesti ole mielekäästä sen enempää kouluopetuksessa, opetussuunnitelmatyössä kuin opettajankoulutuksessa, mutta näitä eri osa-alueita voidaan painottaa opettajankoulutuksen eri kursseilla.

Käsitteellisen fysiikan kurssilla tarkastellaan aiemmilta luentokursseilta tuttuja fysiikan teemoja käsitteellisesti ja pääosin ilman laskemista. Kurssin rungon muodostavat erilaiset tutkimuspohjaiset käsitteelliset testit, kuten esimerkiksi FCI, DIRECT, CSEM ja QMCS (esim. Hestenes et al., 1992), joiden avulla käydään läpi keskeisimmät fysiikan osa-alueet. Kurssin tärkeimpiä tehtäviä on havahduttaa opiskelijat ymmärtämään, että hyvätkään ongelmanratkaisurutiinit eivät aina takaa hyvää fysiikan käsitteellistä ymmärrystä. Tämä toteutetaan siten, että käsiteltävän teeman läpikäyminen aloitetaan antamalla opiskelijoille aiheen käsitteellinen testi itsenäisesti tehtäväksi. Myöhemmin testit käydään huolellisesti läpi opiskelijoiden kanssa keskustellen. Vuosien mittaan kurssin materiaalit ja toteutustavat vaihtelevat hieman. Aikaisempina vuosina olemme muun muassa kokeilleet ranking task -tehtäviä, joista osa laittaa kurssin opettajankin pohdintakyvyt koetukselle (O'Kuma, 2004).

Kurssipalautteiden mukaan opettajaopiskelijat kokevat kurssin omia tietorakenteita ja osaamista positiivisella tavalla ravistelevaksi ja uutta näkökulmaa fysiikan osaamiseen ja opettamiseen avaavaksi kokonaisuudeksi.

4.4 Fysiikan ymmärtämisen ongelmat

Kurssi Fysiikan ymmärtämisen ongelmat toimii luontevana parina Käsitteellisen fysiikan kurssille. Tällä seminaarityyppisesti toteutettavalla kurssilla perehdytään kansainväliseen fysiikan ymmärtämisen ongelmia käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen, pääosin tutkimusraporttien sisältöön. Alkuluennoilla opiskelijoille esitellään fysiikan oppimisen tutkimuksen taustateorioita esimerkiksi mentaalimalleista, vaihtoehtoisista fysiikan käsityksistä ja muun muassa käsitteellistä muutosta kuvaavia teorioita tai niiden osia.

Teoriaosuuden tarkoitus on antaa opiskelijoille yleiskuva niistä keinoista, joilla opiskelijoiden fysiikan ymmärryksen ongelmia on tutkimuksen keinoin lähestytty.

Kurssin pääpaino on kuitenkin opiskelijoiden pitämässä seminaariesityksissä, joissa he esittelevät tieteellisissä artikkeleissa raportoituja fysiikan ymmärtämisen ongelmia. Kurssin opettaja jakaa jokaiselle opiskelijalle johonkin fysiikan osa-alueeseen liittyvän artikkelin tai artikkeliparin, josta hänen tulee pitää oppitunnin mittainen seminaariesitelmä. Seminaariesityksessä tulee esitellä tutkimuksen menetelmät, keskeiset testikysymykset, opiskelijoilla havaitut ymmärtämisen ongelmat, esitetyt ratkaisut ongelmiin ja omaa pohdintaa. Valtaosa seminaariajasta varataan keskusteluihin, sillä testikysymysten oikeat ratkaisut aiheuttavat usein vilkasta keskustelua. Lisäksi opiskelijat peilaavat esitettyjä ymmärtämisen ongelmia omiin tietorakenteisiinsa, ja tätä kautta keskustelu syvenee. Kukin opiskelija pitää kurssin aikana kaksi seminaariesitystä, joten kurssin aikana analysoidaan kymmeniä tutkimusartikkeleita. Seminaariesitysten lisäksi opiskelijoiden tulee palauttaa seminaariesitystä syventävä kirjallinen raportti. Kurssin päätyttyä raportit jaetaan kaikille kurssilaiselle, jolloin heillä on helposti hyödynnettävää suomenkielistä materiaalia oman opetuksensa tueksi.

Kurssipalautteiden mukaan fysiikan ymmärtämisen ongelmiin syventyminen auttaa opiskelijoita tunnistamaan sekä tulevien oppilaiden ongelmia että huomaamaan puutteita omassa tietorakenteissaan. Yhtenä keskeisenä kurssin tavoitteena on osoittaa tuleville opettajille physics education -tutkimuksen merkitys ja hyödyt eräänä opetuksen kehittämisen teoreettisena lähtökohtana.

4.5 Pro gradu -tutkielma yhdistää opettajankoulutuksen eri osa-alueet

Fysiikan opettajaksi opiskelevat tekevät lähes poikkeuksetta niin sanotun opettajalinjan pro gradu -tutkielman, jonka laajuus on 20 opintopistettä. Parhaimmillaan pro gradu -tutkielmassa yhdistyvät eri opettajankoulutuksen osa-alueiden – ainelaitoksella tarjottava opetus, aineenopettamisen pedagogiikka ja käytännön harjoittelu – osaamisalueet muodostaen kokonaisuuden opetuksen, oppimisen ja opetettavan aineen yhdestä temasta.

Pro gradujen teoreettisen taustan muodostaa useimmissa tapauksessa physics education - tai science education -tutkimuskirjallisuus. Kansainvälistä kirjallisuutta hyödynnetään laajasti mutta mukana on myös kansallisesti tehtyä tutkimusta. Töiden kontekstit tulevat fysiikan eri osa-alueista, ja työn menetelmällinen toteutus voi sisältää esimerkiksi koulutason opetusinterventiota, oppilaiden osaamisen tai käsitysten tutkimusta tai oppimateriaalien analyysia. Opetusinterventioita on toteutettu sekä normaalikoulussa harjoitteluiden yhteydessä että muissa kouluissa.

Opiskelijoilta kerätyn palautteen perusteella opettajalinjan pro gradu -tutkielmat on koettu mielekkääksi tavaksi muodostaa yksi laajempi kokonaisuus, jossa yhdistyy opettajankoulutuksen eri näkökulmat. Esitetyn kaltaisten lopputöiden ohjaus ei olisi mahdollista ilman ainelaitoksella tapahtuvaa oppiaineen näkökulmasta tehtävää opetuksen ja oppimisen tieteellistä tutkimusta, joka mahdollistaa ohjaajien riittävän asiantuntijuuden.

5 Kokonaisuus on enemmän kuin osiensa summa

Koulutuksen laadun arviointi on vaativa tehtävä. Sitä voidaan tehdä useilla eri tavoilla, esimerkiksi keräämällä palautetta jo työelämään siirtyneiltä opettajilta, kuten olemme tehneet kehittäessämme matematiikan opettajankoulutusohjelmaa. Toisaalta laatua voidaan arvioida koulutuksen sisällä keräämällä palautetta opettajankoulutuksen eri osa-alueissa toimivilta asiantuntijoilta. Fysiikan opettajankoulutuksen eräänä jatkuvana laatumittarina toimii vuoropuhelu ainelaitoksen, soveltavan kasvatustieteen ja normaalikoulun ohjaavien opettajien välillä.

Useissa tapauksissa ainelaitoksen tutkimusperustaiset kehittämishankkeet ovat saaneet alkunsa sisäisen palautteen kautta, selkeimpänä esimerkkinä tästä ovat ainelaitoksen kokeelliseen opetukseen ja tutkimuksellisuuteen painottuvat kurssit. Normaalikoulun ohjaavilla opettajilla on erinomainen mahdollisuus tehdä havaintoja opettajaopiskelijoiden osaamisen tasosta, olipa kyseessä sitten aineenhallinta, ongelmanratkaisutaidot, kokeellisen työskentelyn hyödyntäminen tai näkemykset luonnontieteen luonteesta. Toisaalta tiedon siirtymistä tapahtuu myös toiseen suuntaan, sillä usein Joensuun normaalikoulun harjoittelua ohjaavat opettajat saavat palautetta esimerkiksi kirjoittamiensa uusien oppimateriaalien sisällöistä ainelaitoksen asiantuntijoilta. Samoin ainelaitoksen ja normaalikoulun asiantuntijat ovat aktiivisesti osallistuneet pedagogisten opintojen opetussuunnitelmatyöhön soveltavan kasvatustieteen puolella.

Fysiikan aineenopettajankoulutuksen kehittämistyö Joensuussa ei ole kuitenkaan pysähtynyt tässä artikkelissa esitettyihin teemoihin. Parhailtaan teemme tutkimustyötä opetusmenetelmien ja oppimisympäristöjen uudistamiseksi. Tähän teemaan sisältyy perinteistä menetelmiin liittyvää tutkimusta, mutta myös tieto- ja viestintäteknikan pedagogisesti järkevää hyödyntämistä. Samaan aikaan on kehitteillä uusia kurssikokonaisuuksia, jotka antavat tuleville aineenopettajille valmiuksia tulevan opetussuunnitelman mukaiseen ilmiöpohjaiseen opetukseen ja avaavat laajemminkin oppiaineiden välisiä rajoja. Lisäksi erikseen on syytä mainita matemaattisten aineiden ja luokanopettajan koulutusohjelma, joka valmentaa opettajiamme yhtenäisen peruskoulun tavoitteiden toteuttamiseen.

Lopuksi on syytä nostaa esiin aineenopettajankoulutuksen nykyisen rakenteen ainelaitoksen opetukselle kohdentamat vaatimukset. Aineenopettajankoulutuksesta neljäviidesosaa tapahtuu juuri ainelaitoksilla. Ainelaitoksen tarjoamien opintojen merkitys on siis ratkaisevan tärkeä koko koulutuskokonaisuuden onnistumisen kanalta. Tämä siitäkkin huolimatta, että Joensuussa harjoittelu ja pedagogiset opinnot on tarkoituksenmukaisesti jaettu sekä alempaan että ylempään tutkintoon.

Olemme pyrkineet tällä artikkelilla osoittamaan, että juuri ainelaitoksella aineen näkökulmasta tehtävän tieteellisen opetuksen ja oppimisen tutkimuksen avulla voidaan rakentaa opettajakoulutusta parhaalla mahdollisella tavalla tukeva koulutuskokonaisuus, joka integroi aineen sisällön sekä aineen opettamisen ja oppimisen kysymyksiä yhteen koko koulutusohjelman ajan. Näin rakennettu ohjelma antaa valmistuvalle opettajalle erinomaiset

tieteelliseen tutkimustietoon perustuvat lähtökohdat aloittaa opettajan työ ja kehittää omaa ammatillista ja tieteellistä osaamistaan koko työuransa aikana.

Lähteet

- Asikainen M. A., Hirvonen P.E. and Pehkonen E. (2013). Finnish mentor mathematics teachers' views of the teacher knowledge required for teaching mathematics. *Higher Education Research*, 3(1), 79-91.
- Asikainen, M., and Hirvonen, P.E. (2010). Finnish cooperating physics teachers' conceptions of physics teachers' teacher knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, 21 (4), 393-409.
- Asikainen, M. (2006). *Opettajien ja opettajaopiskelijoiden kvantti-ilmiöitä ja -olioita kuvaavat mallit: tapaustutkimus*. University of Joensuu, Department of Physics, Dissertations 51, 263 p.
- Asikainen M. A. & Hirvonen P. E. (2009). A study of pre- and inservice physics teachers' understanding of photoelectric phenomenon as part of the development of a research-based quantum physics course. *American Journal of Physics*, 77(7), 658-666.
- Asikainen, M. A., and Hirvonen P. E. (2014). Probing pre-and in-service physics teachers' knowledge using the double-slit thought experiment. *Science & Education*, 23(9), 1811-1833.
- Clement, J. 1993. Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. 1989. Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick, *Knowing, Learning, and Instruction: Essays in Honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hirvonen, P. E. 2003. Pintavaarausteoriaan pohjautuvan lähestymistavan vaikutukset tasavirtapiirien ymmärryksen kehittämiseen yliopisto-opetuksessa. Dissertations, Department of Physics, University of Joensuu, No 36.
- Hirvonen, P. E. 2007. Surface-charge-based micro-models – a solid foundation for learning about direct current circuits. *European Journal of Physics*, 28(3), 581-592.
- Hirvonen, P. E. 1999. Hahmottavan lähestymistavan omaksuttavuus ja sovellettavuus kokeellisen koulufysiikan kursseilla. Lisensiaattityö, Fysiikan laitos, Joensuun yliopisto.
- Kesonen, M. 2014. *Improving students' learning about optics at university*. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences. No 165
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994. Fysiikan merkitykset ja rakenteet. Helsinki: Limes ry.
- Lavonen, J. & Meisalo V. 1997. Luonnontieteiden opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio. Helsinki: Helsingin yliopisto.
- Leinonen, R. 2013. Improving the learning of thermal physics at university. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences. No 124.
- Leinonen, R., Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E. 2013. Lämpöopin ensimmäinen pääsääntö ja kaasuprosessit lukiossa. *Dimensio*, 6, 37-41.
- Leinonen, R., Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E. 2015. Grasping the second law of thermodynamics at university – The consistency of macroscopic and microscopic explanations. Hyväksytty julkaistavaksi lehdessä *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. 2010. *Tutorials in Introductory Physics*. New Jersey: Pearson Education.
- Nivalainen, V. 2011. Pre-Service teachers' objectives, challenges, and experience of practical work. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences. No 35.
- Nivalainen, V., Asikainen, M.A., Sormunen, K. & Hirvonen, P.E. 2010. Preservice and inservice teachers' challenges in the planning of practical work in physics. *Journal of Science Teacher Education*, 21(4), 393-409.

- Nivalainen, V., Asikainen, M.A., & Hirvonen, P.E. 2013a. Preservice teachers' objectives and their experience of practical work. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9.
- Nivalainen, V., Asikainen, M.A., & Hirvonen, P.E. 2013b. Open guided inquiry laboratory in physics teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 449-474.
- Redish, E. F. 1994. Implications of cognitive studies for teachings physics. *American Journal of Physics*, 62(9), 796-803.
- Savinainen, A. 2004. High school students' conceptual coherence of qualitative knowledge in the case of the force concept. Dissertations, Department of Physics, University of Joensuu, No 41.
- Thomas L. O'Kuma, David P. Maloney, and Curtis J. Hieggelke (2004). *Ranking Task Exercises in Physics*. student edition ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
http://opus.ipfw.edu/physics_facpubs/39
- Viiri, J. 1995. Voimakäsitteen opettaminen ja oppiminen insinöörikoulutuksen fysiikan kurssissa. Dissertations, Department of Physics, University of Joensuu, No 7.
- Vygotsky, L. 1978. Interaction between learning and development. In M. Cole, V. John-Steiner, V. Scribner, & E. Souberman, *Mind and Society - The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 79-91). Cambridge: Harvard University Press.