

# DIDAKTINEN FYSIIKKA OPETTAJANKOULUTUSTA SUUNTAAMASSA

Ismo Koponen & Maija Nousiainen  
Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksella annettava aineenopettajan koulutus keskittyy opettajien aineenhallinnan syventämiseen ja se perustuu didaktisen fysiikan tutkimukseen. Didaktinen fysiikka puolestaan on fysiikkaan kuuluva tutkimuksen ja opetuksen ala, joka keskittyy fysiikan käsitteiden, käsiterakenteiden ja niiden kehittymiseen liittyvien piirteiden tutkimukseen. Didaktiseen fysiikkaan nojautuva fysiikan opettajankoulutus hyödyntää tätä tietoa fysiikan opetuksen suunnittelussa ja toteutuksessa. Didaktisen fysiikan tavoitteena on fysiikan opetuksen kehittäminen siten, että opetus ja oppiminen olisivat mahdollisimman lähellä sitä, millaisena fysiikka tieteenä näyttäytyy. Didaktisen fysiikan tutkimuksen "tuotteita" ovat opetuksellisten lähestymistapojen mallit, erityiset didaktiset sovellukset, opetuksessa käytettävät työskentelymenetelmät, kurssisuunnitelmat ja oppimateriaalit.

## 1 Johdanto

Fysiikan aineenopettajilla on tärkeä tehtävä luonnontieteellisen yleissivistyksen ja luonnontieteellisen tiedon välittäjinä. Aineenopettajat ovat myös keskeisessä asemassa oppilaan ajattelun ja tiedon arvioinnin taitojen kehittämisessä ja kommunikaatiotaitojen kehittämisessä. Aineenopettajan tehtävä on kaiken kaikkiaan monitahoinen ja vaativa. Siksi aineenopettajankoulutuksessakin on monipuolisesti ja syvällisesti kyettävä painottumaan tiedon sisältöön ja rakenteeseen, oppijan tiedon rakentumiseen osana oppimisprosessia, johon vaikuttavat sekä oppimispsykologiset, kognitiiviset ja sosiaaliset tekijät että tiedon käyttö ja luovuus, ja tiedon yhteiskunnalliset ulottuvuudet. Koulutuksen tavoitteena on laaja-alainen opetusalan ammattilainen, joka toisaalta hallitsee hyvin ja monipuolisesti fysiikan, mutta myös fysiikan opetukseen ja oppimiseen liittyvät kysymykset.

Helsingin yliopiston fysiikan aineenopettajankoulutuksessa näihin monitahoisiin haasteisiin pyritään vastaamaan koulutuksen kolmikantaisuuden kautta: koulutukseen osallistuvat ainelaitoksen lisäksi opettajankoulutuslaitos ja normaalikoulu. Opettajankoulutuslaitos keskittyy fysiikan didaktiikkaan, joka on fysiikan opetukseen sovellettua kasvatustiedettä ja ainelaitos puolestaan didaktiseen fysiikkaan, joka on fysiikan tiedon ja tietorakenteen analysointia oppimisen ja opetuksen näkökulmasta. Normaalikouluissa koulutuksessa saavutetut tiedot ja taidot laitetaan käyttöön ja hiotaan käytännössä toimivaksi osaamiseksi. Jokaisella toimijalla on siten oma painopistealueensa ja yhteistyötä tehdään tunnistetuilla rajapinnoilla koulutuksen kehittämiseksi ja saavutetun laadun ylläpitämiseksi. Seuraavassa keskitytään fysiikan opettajien koulutukseen fysiikan laitoksella, miten ja millaiseen tutkimukseen ainelaitoksella tapahtuva opettajankoulutus perustuu, kuitenkin unohtamatta sitä, että onnistunut aineenopettajan koulutus on aina lopputulos kolmen yhtä tärkeän, ja aineenopettajan kompetenssin kannalta, keskeisen

toimijan yhteistyöstä. Tarkastelemme seuraavassa lähemmin, miten laitoksellemme tehty fysiikan oppimiseen ja opetukseen liittyvä tutkimus on kohdentunut, mistä se on hakenut vaikutteita ja kuinka se on ohjannut opettajankoulutusta.

Helsingin yliopistossa koulutetaan fysiikan aineenopettajia omassa suuntautumisvaihtoehdossaan. Suuntautumisvaihtoehto antaa mahdollisuudet aineenopettajan tutkinnon rakentamiseen monitieteiseltä pohjalta siten, että se voi erilaisin painotuksin kattaa didaktista fysiikkaa, fysiikan didaktiikkaa, syvempää aineenhallintaa (kuten esim. hiukkasfysiikkaa, kosmologiaa ja avaruusfysiikkaa) tai myös muita fysikaalisia tieteitä (kuten esim. tähtitiedettä, ilmakehä- ja meritiedettä). Helsingin yliopiston tarjoaman fysiikan opettajankoulutuksen sisältöjen ja opetuksellisten ratkaisujen erityispiirteitä voidaan pitää sen vahvaa nojautumista omaan tutkimukseen perustuvaan opettajankoulutuksen kehittämiseen, mahdollisuutta monitieteisyyteen sekä fysikaalisten tieteiden osalta että oppimisen problematiikan osalta. Fysiikan laitoksen antama opettajankoulutus sijoittuu opintojen maisterivaiheeseen ja didaktisen fysiikan osalta tiivistyy 28 opintopisteen kokonaisuuteen, johon kuuluvat kurssit *Fysiikan käsitteet ja rakenteet I ja II*, *Opettajien syventävä laboriokurssi I ja II* sekä *Fysiikan historia ja filosofia*, joista kukin on seitsemän viikon opetusjakson mittainen. Näistä kursseista *Fysiikan käsitteet ja rakenteet* tarkastelevat suorimmin sisältötietoa, opettajien laboriokurssit käytännön koulufysiikan kokeellisuutta, joka rakentaa käsitteiden merkitystä, ja *Fysiikan historia ja filosofia* -kurssi fysiikan tiedon kehittymiseen vaikuttaneita tekijöitä. Kurssit on kehitetty fysiikan laitoksen didaktisen fysiikan ryhmässä tehdyn tutkimuksen perusteella. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin tämän didaktisen fysiikan tutkimuksen lähtökohtia, rakentumista ja tavoitteita.

## 2 Didaktinen fysiikka ja sen tavoitteet

Fysiikan opetuksen keskeisin lähtökohta on fysiikan sisältö tieteenä ja sen antama käsitys sekä maailmasta että tieteellisen tiedon luonteesta. Didaktisen fysiikan näkökulmasta opettajankoulutuksen tulee mahdollisimman hyvin heijastella piirteitä, jotka ovat tyypillisiä myös fysiikalle tieteenä ja siten antaa myös opettajaksi valmistuville mahdollisimman autenttinen kuva oppimisen kohteena olevasta tiedon alasta. Tätä voidaan kutsua "autenttisuuden" päämääräksi. Yliopisto-opetuksessa tämä tavoite on itsestään selvä ja sen on luonnollisestikin oltava saavutettavissa, mutta kouluopetuksessa sen toteuttaminen on hankalampaa. Fysiikan kouluopetuksessa (ja osittain myös opettajankoulutuksessa) opetuksen päämäärät ovat varsin selkeät ja yksinkertaiset: auttaa oppijaa omaksumaan ja ymmärtämään fysiikan tiedon sisällön keskeisimmät tekijät; auttaa näkemään tiedon muodostumisen keskeisimmät periaatteet ja metodit, ja auttaa kehittämään tarvittavat taidot fysiikan tiedon soveltamiseksi. Kuitenkin myös kouluopetuksessa voidaan hyvin tavoitella "episteemistä autenttisuutta", jolla tarkoitetaan tällöin tiedollisten tavoitteiden ja käsitteistämiseen liittyvien tavoitteiden ja tiedon rakentumisen kognitiivisten tekijöiden samankaltaisuutta, (Koponen & Mäntylä 2006; Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2005;

Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo 2003). Fysiikan luonne tieteenä ja sen tiedonhankintamenetelmät ovat siten autenttisuuden tavoitteen kannalta keskeisempiä kuin yksittäiset ”faktat” tai uusimmat tieteen tulokset.

Fysiikan opetuksen ja oppimisen kokonaiskuvan tulisi kyetä yhdistämään fysiikan keskeiset sisällöt ja sen keskeiset tiedon tuottamisen prosessit samaan kuvaan oppimisen kognitiivisten prosessien kanssa; tarvitaan riittävän yleinen ja kattava, ns. *metateoreettinen* viitekehys, jotta monien eri osa-alueiden suhde kokonaisuuteen ja kokonaisuus itsessään hahmottuisi. Osittaisen ratkaisun metateoreettisen viitekehysten luomiseen antavat kognitiotiede ja tieteenfilosofia. Kognitiotiede tarkastelee yksilön oppimiseen ja oppimisprosessiin liittyviä kysymyksiä ja säännönmukaisuuksia kognition ja psykologian näkökulmasta, jolloin se antaa joustavan ja riittävän laajan pohjan käsitteellisen oppimisen kysymysten tarkasteluun. Tieteenfilosofia puolestaan tarkastelee fysiikkaa sen sisältöä laajana kokonaisuutena ja kiinnittää huomionsa fysiikan tiedon rakentumisen prosesseihin. Viimeisen kahden vuosikymmenen aikana luonnontieteiden didaktiikkaan suuntautuva tutkimus ja kirjallisuus ovatkin yhä kasvavassa määrin hyödyntäneet sekä kognitiotiedettä että tieteenfilosofiaa, kun didaktiikan piirissä on pyritty kehittämään metateoreettista taustaa didaktisille ratkaisuille (ks. mm. Reif 2008; Matthews 1994/2105; Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2005; Koponen & Kokkonen 2014).

Toinen syy, joka vaati huomion kiinnittämistä fysiikan luonteeseen tieteenä ja sen tieteenfilosofiseen analyysiin, on vaatimus luonnontieteen opetuksen autenttisuudesta (Hodson 1992; Matthews 1994/2015; Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich 2005; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo 2003; Koponen & Mäntylä 2006; Koponen 2007). Autenttisuuden vaatimus tarkoittaa, että ideaalisessa tapauksessa opetuksen välittämä kuva tieteestä, tieteen metodeista ja sen tiedon luomisen prosesseista on mahdollisimman lähellä tieteessä ja sen tekemisessä toteutuvia metodeja ja prosesseja. Autenttisuus ei kuitenkaan tarkoita että oppijan tulisi olla valmis tutkija; hänen käytössään olevat resurssit ovat erilaiset kuin tiedeyhteisön resurssit, hänen sosiaalinen yhteisönsä on erilainen kuin tutkijan yhteisö. Oppimisella ja tutkimuksella on kuitenkin paljon yhteistä kognition tasolla: ne tarkastelevat, millaisia ovat keskeiset jäsentämiseen liittyvät ajatusmallit ja tiedon prosessoinnin tavat. Myös epistemologinen näkökulma on tärkeä: millaisin menetelmin tietoa voidaan hankkia ja miten se on osoitettavissa oikeaksi. Tähän yhteyteen viitataan usein episteemisen autenttisuuden nimellä.

Jotta fysiikan opetuksen päämääristä, sisällöstä ja toteutustavoista rakentuisi tasapainoinen näkemys, tarvitaan sekä fysiikan hallintaa ja kykyä käsitteelliseen analyysiin että ymmärtämystä oppimisen psykologiasta: oppimiseen vaikuttavista yhteisöllisistä (sosio- ja psykodynaamisista) tekijöistä, pedagogiikasta ja didaktiikasta. Fysiikan opetuksen hyvä didaktinen toteutus löytyy näiden useiden osatekijöiden risteyskohdasta. Periaatteessa fysiikan opettajaopiskelijoiden sisällöllinen aineenhallinta on jo varsin edistyneellä tasolla. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että vaikka erilliset fysiikan osa-alueet hallitaankin, ovat

niiden väliset yhteydet vielä varsin puutteellisesti jäsentyneet. Fysiikan opettajankoulutuksen aineenhallintaa syventävä komponentti kohdentuukin rakentamaan kokonaiskuvaa fysiikasta tieteenä, sen käsitteistä ja tiedon rakenteesta. Didaktisen fysiikan perusnäkemys voidaan tiivistää toteamukseen, jonka mukaan *hyvä fysiikan didaktiikka alkaa hyvästä sisällöllisestä hallinnasta ja kyvystä selittää ja esittää opetettava aines selkeästi*. Hyvä opetus rakentuu luonnollisestikin monesta osatekijästä (ks. esim. Duit, Gropengießer & Kattmann 2005), mutta mitkään didaktiset tai pedagogiset menetelmät eivät voi paikata tai korvata puutteellista sisällön hallintaa. Siksi erityisesti ainelaitoksen vastuulla opettajankoulutuksessa on keskittyä opettajan aineenhallinnan kehittämiseen.

### 3 Didaktisen fysiikan tutkimus ja opettajankoulutus

Fysiikan opetuksen ja aineenopettajan koulutuksen suunnittelun keskeisiä kysymyksiä ovat, mitkä fysiikan tiedon piirteet ovat luonnontieteellisen yleissivistyksen kannalta tärkeimpiä ja miten näitä keskeisiksi tunnistettuja piirteitä tulisi lähestyä. Kysymystä voidaan lähestyä joko didaktiikan ja pedagogiikan näkökulmasta, jolloin kysymyksessä on fysiikan didaktiikan näkökulma, tai sitten kohteena olevan tiedon alan näkökulmasta, jolloin kysymyksessä on *didaktisen fysiikan* näkökulma.

Didaktinen fysiikka nimikettä onkin käytetty jo 1980-luvulta alkaen luonnehtimaan opettajien fysiikan opintojen ja opinnäytetutkimusten luonnetta (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994; Kurki-Suonio 2011), kun on haluttu korostaa, että kysymyksessä on fysiikan opetuksen problematiikkaan suuntautunut fysiikan osa-alue. Luonnollisestikaan näkökulmien ero ei ole jyrkkä, pikemminkin kysymyksessä on erilainen painotus. Didaktisen fysiikan näkökulmasta fysiikan oppimisen ja opetuksen keskeisiin kysymyksiin vastaaminen edellyttää fysiikan tiedon rakenteen, sen käsitteiden ja käsiterakenteen hallintaa ja analysointia käsiteelliseen tietoon ja tietämiseen liittyvästä metateoreettisesta näkökulmasta. Siksi on myös perusteltua kutsua näin suuntautuvaa opetuksen ja tutkimuksen alaa didaktiseksi fysiikaksi, jolloin se erottuu fysiikan didaktiikasta mutta myös rinnastuu siihen.

#### 3.1 Didaktinen fysiikka tutkimusalana

Didaktinen fysiikka on luontevinta ajatella osana fysiikan tutkimusta: tutkimuksena, joka pyrkii tunnistamaan fysiikalle ominaisten tietorakenteiden keskeiset piirteet ja niiden syntymiseen vaikuttaneet keskeiset tekijät siten, että tätä tietoa voidaan käyttää fysiikan opetuksen ja opiskelun mallina ja tavoitteena. Luonteeltaan didaktinen fysiikka on siten fysiikkaan kuuluvaa soveltavaa tutkimusta, jonka tutkimustulokset ovat tietoa mm. oppimisprosesseista, kognitiivista prosesseista ja oppimisen sosiodynamiikasta kun kohteena on fysiikan tieto, ja sen "tuotteita" ovat mm. opetuksellisten lähestymistapojen mallit, opetuksellisten mallien suunnitteluperiaatteet, erityiset opetukselliset mallit, opetuksessa käytettävät työskentelymenetelmät, kurssisuunnitelmat ja oppimateriaalit kun kohteena on fysiikan opettaminen ja oppiminen (vrt. Kurki-Suonio 2011).

Didaktinen fysiikka on luonteeltaan myös monitieteinen tutkimusala, joka fysiikan tuntemuksen lisäksi edellyttää perehtymistä tieteenfilosofiaan, tieteenteoriaan, tieteen historiaan, kognitiotieteisiin, tieteen sosiologiaan ja kasvatustieteeseen. Tieteenfilosofian asema didaktisessa fysiikassa on keskeinen oman oppiaineen luonteen ymmärtämiseksi, ja siksi didaktinen fysiikka hyödyntää myös tieteenfilosofiaa käsitteanalyysin välineenä ja opetuksellisen näkemyksen rakentamisessa. Käsitteenmuodostuksen tutkimus oppimisen ja oppimisteorioiden kannalta on puolestaan kognitiivisen tieteen ja pedagogian alaan kuuluva alue, ja tältä osin didaktinen fysiikkaa sivuaa ja hyödyntää näitä tieteitä. Didaktinen fysiikka hyödyntää myös tieteen historiaa – ei historian itsensä vuoksi vaan tukena pyrkimyksessään ymmärtää fysiikan käsitteiden ja teorioiden muodostukseen vaikuttaneita tekijöitä. Tieteen sosiologian ja sosiodynamiikan tutkimusta didaktinen fysiikka soveltaa tieteen päämäärien ja menetelmien kehittymiseen vaikuttavien tekijöiden ymmärtämiseen ja sen ymmärtämiseen, miten tieto muodostuu osana yhteisön sosiaalista toimintaa, päämääristä ja ymmärtämisen tavoista neuvotteluna. Nämä sosiologiset ja sosiodynaamiset tekijät ilmenevät myös oppimisen tasolla, sosiaalisen oppimisen teorian muodossa. Kasvatustieteellinen ja ainedidaktinen tutkimus ovat luonnollisestikin hyvin keskeinen osa didaktista fysiikka. Erityisesti sen empiirisen tutkimuksen menetelmät ovat suoraan sovellettavissa myös didaktisen fysiikan tutkimusmenetelminä. Didaktinen fysiikka ei kuitenkaan pelkästään lainaa menetelmiään muilta tieteenaloilta, vaan monitieteisen alan tapaan se pyrkii soveltamaan, mukauttamaan ja kehittämään näitä menetelmiä edelleen (ks. esim. Koponen & Mäntylä 2006; Koponen & Pehkonen 2010; Koponen & Nousiainen 2013; Koponen & Kokkonen 2014).

Didaktisen fysiikan päämääränä ja tavoitteena on kehittää toimivia opetuksellisia ratkaisuja ja sovelluksia fysiikan opetukseen ja opettajankoulutukseen. Esimerkkejä tästä tutkimuksesta ja sen soveltamisesta opettajankoulutukseen on raportoitu jo useassakin tutkimuksessa (Koponen & Mäntylä 2006; Koponen 2007; Nousiainen & Koponen 2011; Mäntylä 2012; Nousiainen 2013; Koponen & Nousiainen 2013; Koponen & Kokkonen 2014). Päämääränä on opettajien tarvitseman sisältötiedon vahvistaminen ja muuntaminen sellaiseen muotoon, että se on käytettävissä käytännöllisen opetuksen didaktisen suunnittelun pohjana ja että sen yhtymäkohdat ainedidaktiikkaan olisivat helposti tunnistettavissa. Näin didaktisen fysiikan tutkimus myös suuntaa opettajankoulutuksen tavoitteita ja painopistealueita tunnistaessaan uusia keskeisiä piirteitä käsitteellisessä oppimisessa ja käsitteenmuodostuksessa. Esimerkkeinä tästä voidaan mainita vaikkapa rakenteellisen tiedon oppimisessa käytettävät graafiset jäsennysmenetelmät kuten käsitekartat ja argumentaatiokaaviot, joita voidaan soveltaa sekä käsitteellisen (deklaratiivisen) että menetelmätiedon (proseduraalisen tiedon) oppimisessa (Nousiainen & Koponen 2011; Mäntylä 2012; Nousiainen 2013; Koponen & Nousiainen 2013). Toinen esimerkki on tieteellisten käsitteiden jäsentymiseen ja erottumiseen (differentiaation) kohdentuva tutkimus, joka tunnistaa käsitteiden moniulotteisuuden ja soveltaa sitä

käsitteellisen oppimisen oppimispolkujen suunnittelussa (Koponen & Huttunen 2013; Koponen & Kokkonen 2014). Molemmissa tapauksissa käsitys oppimisen luonteesta on keskiössä ja muuttuva käsitys oppimisen luonteesta puolestaan on ohjannut opettajankoulutuksen toteutusta siten, että tiedon jäsentäminen, argumentaation eheys ja johdonmukaisuus ja tiedon perusteltavuus ovat saaneet huomattavan suuren osan koulutuksen tavoitteiden asetteluissa, koulutuksen toteutuksessa ja sen suunnittelussa (ks. mm. Koponen & Kokkonen 2014; Koponen & Nousiainen 2013; Mäntylä & Nousiainen 2013; Nousiainen 2013).

Didaktisella fysiikalla on läheinen yhteys myös ns. fysiikan opetuksen tutkimukseen (Physics Education Research, PER), joka didaktisen fysiikan tavoin etsii uusia ja parempia opetuksellisia näkökulmia (ks. esim. Savinainen & Viiri 2004). Tämä alkuaan Yhdysvalloista lähtöisin oleva PER-tutkimus keskittyy fysiikan oppimisen kysymyksiin samalla tavoin fysiikkakeskeisesti kuin didaktinen fysiikka. PER-tutkimus ei kuitenkaan pyri yhtä laajaan käsitteelliseen analyysiin fysiikan tiedon luonteesta ja rakenteesta ja yhtä syvälliseen ymmärrykseen fysiikan tietorakenteen ja käsitteenmuodostuksen luonteesta kuin didaktinen fysiikka. Tästä syystä PER-tutkimus ei tyypillisesti myöskään hyödynnä samassa määrin tieteen filosofian tai kognitiotieteen näkökulmia. Se myös sitoutuu didaktista fysiikkaa vahvemmin vakiintuneeseen opetuksen sisältöön. Se ei juurikaan etsi vaihtoehtoja vakiintuneen sisällön uudelleenjärjestämiseksi tai sen uudelleen arvioimiseksi, mikä sisällöissä on keskeistä. PER-tutkimus näyttäisi myös didaktisen fysiikan tutkimusta enemmän keskittyvän oppimistulosten mittaamiseen ja kvantitatiivisiin testeihin. Tietystikin myös PER-tutkimuksen piiriin kuuluu hyvin samoin suuntautuvia aiheita kuin didaktisen fysiikan tutkimukseen, mutta PER-tutkimuksen kentässä ne eivät selvästikään kuulu valtavirtaan. PER-tutkimuksen vahvuutena on toisaalta sen käytännöllisyys ja käytännönläheisyys, ja kyky tuottaa helposti käyttöön otettavia opetuksellisia menetelmiä. Didaktisen fysiikan näkökulmasta on kuitenkin selvää, että PER-tutkimuksen kysymyksenasettelut ja kohteet ovat myös luonteva osa didaktisen fysiikan piiriin kuuluvasta tutkimuksesta.

### 3.2 Didaktiset lähestymistavat fysiikan opetuksessa ja oppimisessa

Fysiikan opetuksen haasteen muodostaa suureksi osaksi tilanne, jossa oppimisen kohteena on olemassa oleva vakiintunut ja oikeaksi osoitettu, kumuloituva tieto, joka pitäisi saada siirrettyä oppijan tiedoksi. Samalla opetuksessa pitäisi muistaa ottaa huomioon oppijan oma rooli oppimisprosessissa. Jotta opiskelu olisi motivoivaa ja palkitsevaa, oppijan omaa tiedonmuodostusta ja käsitteiden konstruointia tulisi tukea. Oppimisen motivaation ja kiinnostavuuden lisääminen, tilan antaminen oppijan omalle oppimisprosessille ja tavoitteena olevan tiedon tieteellisyyden vaatimuksen yhteensovittaminen on opetuksen kannalta haasteellista. Osa ongelmista on ratkaistavissa kiinnostusta ja motivaatiota herättäviä työtapoja kehittämällä. Nämä didaktiikan alaan kuuluvat kysymykset jätetään tässä kuitenkin syrjään, ja keskitytään opetuksen ja oppimisen sisältöihin ja sisällön merkitykseen

oppimisessa. Jotta opettaja voi tukea oppilaiden sisäistä motivaatiota siten että se on sopusoinnussa oppimisen tavoitteiden kanssa, hänen itsensä on ensin tunnettava opetuksen sisällöt, hallittava sisältöjä yhdistävät laajat periaatteet ja ymmärrettävä, miten tavoitteena oleva kokonaisuus muodostuu.

Kun suunnitellaan didaktisia lähestymistapoja fysiikan opetusta varten, huomio ohjautuu fysiikan kokeellisuuden ja teorian keskinäiseen riippuvuuteen. Fysiikan tiedon prosesseista paljon oleellista voidaan oivaltaa kiinnittämällä huomio havaintojen ja kokeellisuuden asemaan käsitteiden ja teorian muodostuksessa. Fysiikka on kokeellinen tiede, jonka tietorakenteen synnyssä laboratoriokokeilla ja hallituilla koejärjestelyillä on keskeinen asema. Fysiikan kokeellisuus ei ainoastaan todenna olemassa olevaa teoriaa, vaan ohjaa myös käsitteenmuodostusta (ks. lähemmin mm. Koponen 2007; Koponen & Mäntylä 2006; Mäntylä & Koponen 2007; Mäntylä 2012; Mäntylä & Nousiainen 2013). Samalla tietorakenne, johon käsitteet kuuluvat, kehittyy asteittain rakentuneemmaksi ja hierarkkisesti kerrostuneeksi. Tämä fysiikan tiedon rakenteistuneisuus ja abstraktisuus tekee siitä usein oppilaalle vaikeaa ja saa sen tuntumaan vieraalta ja arkipäivän maailmaan soveltumattomalta. Tilanteeseen tuo apua, jos opetuksessa (myös opettajankoulutuksessa) näkökulmana on se, kuinka fysiikan käsitteiden merkitys alkaa havainnosta ja asteittain päätyy lopulta abstraktiin teoriaan. Näin voidaan oppimisessa yhdistää oma havainto ja kokemus fysiikan teorian kuvailutapoihin. Siten fysiikan teoria, sen käsitteet ja lait saavat oppilaalle ymmärrettävän merkityksen.

Oman havainnon, oman osallistumisen ja oppilaiden keskinäisen vuorovaikutuksen merkitystä fysiikan oppimisessa on painotettu useissa fysiikan oppimiseen liittyvissä tutkimuksissa (ks. esim. Mestre 2001; Hestenes 1992; Halloun 2007). Osallistuminen ja oma aktiivisuus yksin ei ole kuitenkaan riittävää, vaan opetusta suunniteltaessa pitää ottaa aina huomioon oppimisen kannalta keskeiset sisällölliset tavoitteet. Vuorovaikutteisuuden lisäksi ns. oppimaan oppiminen on opettajankoulutuksessa keskeistä. Näitä osittain itsestään selviä periaatteita voidaan kutsua oppijakeskeisiksi näkemyksiksi. Opiskelijan tulisi myös oppia havainnoimaan omaa oppimisprosessiaan, tunnistamaan omaan oppimiseen liittyviä ongelmia, ja suunnittelemaan sopivia ongelman ratkaisustrategioita ja siten oppia kehittämään ja parantamaan omaa toimintaansa oppijana. Näihin tavoitteisiin tähtääviä ratkaisuja, joissa oppimiseen kuuluva kommunikointi ja sosiaalinen dynamiikka yhdistyvät tavoitteena oleviin sisältöihin ja sisällöllisiin rakenteellisiin piirteisiin, voidaan tukea graafisilla jäsentimillä kuten mm. käsittekartoilla ja argumentaatiokaavioilla (ks. lähemmin Koponen & Nousiainen 2013).

### 3.3 Lähestymistapoja fysiikan opetukseen

Didaktisella lähestymistavalla tarkoitetaan tässä sitä laajaa näkemystä ja sen taustalla vaikuttavaa tieteenkäsitystä, joka muodostaa pohjan opetuksellisten ratkaisujen tuottamiselle. Didaktisen lähestymistavan on vastattava kahteen kysymykseen: mitä opetetaan ja miten opetetaan. Lähestymistapa on siten tiedostettu ja perusteltavissa oleva

opetuksellinen strategia. Se ei ole opettajan oman intuition ja kokemuksen varaan rakentuva ”hyväksi havaittu” toimintamalli. Didaktinen lähestymistapa suuntaa siten opetusta ja opettajankoulutusta monella tavalla, alkaen siitä mitkä tavoitteet nähdään keskeisinä, mitkä ratkaisut nähdään perusteltuina tavoitteiden saavuttamiseksi ja mihin huomio opetuksen onnistumisen arvioinnissa ylipäättään keskittyy. Didaktisen lähestymistavan olisi siten otettava huomioon käsitteellisen tiedon muodostukseen liittyvät kognitiivisen prosessit, fysiikan luonne tieteenä ja fysiikan tiedon hankkimisen ja oikeaksi osoittamisessa käytettävät metodit. Näin luodun taustan perustalle rakentuu Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksessa kehitetty opettajankoulutuksen lähestymistapa ns. käsitteitä ja käsiterakenteita *jäsentävä lähestymistapa*. Se on asteittain kehitetty fysiikan opettajankoulutuksen tarpeisiin ja jonka eri piirteet on raportoitu useissa osajulkaisuissa (Koponen & Mäntylä 2006; Koponen 2007; Mäntylä 2012; Koponen & Pehkonen 2010, Koponen & Nousiainen 2013; Nousiainen 2013, Koponen & Kokkonen 2014). Koska didaktinen lähestymistapa suuntaa oleellisesti opettajankoulutusta, sen tavoitteita ja painopisteitä, tarkastelemme seuraavassa lyhyesti kahta suomalaisen opettajankoulutuksen kannalta keskeistä lähestymistapaa; hahmottavaa lähestymistapaa ja jäsentävää lähestymistapaa, jotka ovat oman didaktisen ryhmämme piirissä kehitettyjä fysiikan opetuksen lähestymistapoihin. Muita lähestymistapoja ei tässä yhteydessä käsitellä, sille niillä on Helsingin yliopiston fysiikan opettajankoulutuksen kannalta vähemmän tärkeä asema.

#### 4 Didaktisen fysiikan kaksi tuotetta: Hahmottava ja jäsentävä lähestymistapa

Fysiikan opettajankoulutus Helsingin yliopistossa fysiikan laitoksella nojautuu pääasiallisesti kahteen lähestymistapaan, *hahmottavaan ja jäsentävään lähestymistapaan*. Lähestymistavat ovat monin osin varsin samankaltaisia, mutta nojautuvat eri tavoin tutkimukselliseen taustaan ja painottavat eri tavoin teorian ja kokeellisuuden merkitystä. Jäsentävä lähestymistapa muodostaa pohjan opettajankoulutuksen sille osalle, joka keskittyy käsiterakenteiden analyysiin ja fysiikan tiedon jäsentämiseen (kursseilla *Fysiikan käsitteet ja rakenteet I ja II*), ja jonka pohjan muodostaa ryhmässä tehty käsiterakenteiden oppimisen tutkimus (Koponen & Mäntylä 2006; Koponen 2007; Koponen & Pehkonen 2010; Mäntylä 2012; Koponen & Nousiainen 2013; Nousiainen 2013, Koponen & Kokkonen 2014). Hahmottava lähestymistapa (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994; Kurki-Suonio 2011) puolestaan muodostaa pohjan koululaboratoriossa (ks. lähemmin Mäntylä & Hämäläinen 2015) ja kouluopetuksessa käytettävän kokeellisuuden suunnittelulle (*Opettajien laboratorioskurssit I ja II*). Nämä lähestymistavat antavat aineenopettajaksi opiskelevalla mahdollisuuden havaita miten erilainen tausta-ajattelu johtaa eri tavoin perusteltuihin opetuksellisiin ratkaisuihin. Oleellista on tuoda esiin useamman vaihtoehdon mahdollisuus ja tukea opiskelijaa oman johdonmukaisen ja perustellun opetusnäkemyksensä muodostamisessa.

#### 4.1 Hahmottava lähestymistapa

Suomalaisessa fysiikan opetuksessa ja opettajan koulutuksessa 1980-luvulta alkaen vaikuttanut hahmottava lähestymistapa painottaa käsitteiden merkitysten rakentumista kokeellisuuden kautta (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994; Kurki-Suonio 2011; Mäntylä & Hämäläinen 2015). Sen opetuksellisten näkemysten taustan muodostaa hahmopsykologian kaltainen näkemys ihmisen kognitiivisten prosessien luonteesta ja oppimisesta sekä näkemys tieteestä ja sen luonteesta.

Hahmottava lähestymistapa pyrkii taustanäkemyksissään johdonmukaisuuteen, erityisesti siinä, miten käsitteenmuodostukseen liittyvä aistihavainto kytketään asteittain abstraktimpaan käsitteenmuodostukseen (esimerkiksi kokemus vuorovaikutuksesta abstrahoituu asteittain suureeksi voima). Hahmottavan lähestymistavan mukaan käsite syntyy hahmottamisprosessissa, jossa on sekä teoreettinen että kokeellinen (empiirinen) komponentti, mutta käsitteiden "merkitykset syntyvät ensin". Käsitteet ovat siten luonteeltaan sekä teoreettisia, mielen rakenteeseen nojautuvia ja siitä riippuvia, että empiirisiä, havaintojen herättämiä ja niiden perusteella kehittyviä (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994; Kurki-Suonio 2011). Hahmottavassa lähestymistavassa käsitteen syntyä lähestytään ns. hahmo-käsitteen kautta, missä "hahmo" edustaa mielen luomaa jäsentävää rakennetta.

Hahmottavan lähestymistavan mukaisen opetuksen käytännön toteutukseen kuuluu kvalitatiivisen tason hahmojen asteittainen täsmentäminen kohti fysiikan kvantitatiivista tietoa. (Kurki-Suonio 2011; Mäntylä & Hämäläinen 2015). Hahmottava lähestymistapa antaa siten arvokkaan lähtökohdan opetuksellisesti hyödylliseen opetuksen kokeellisuuteen.

Hahmottavan lähestymistavan ajatus siitä, miten mielen rakenne ohjaa käsitteenmuodostusta ja miten toisaalta empiria on erottamaton osa käsitteenmuodostusta, muistuttaa jossain määrin nykyistä kognitiivisen psykologian mukaista näkemystä mielen rakenteiden ja havainnon välisestä yhteydestä (ks. esim. Carey 2009; Prinz 2002). Hahmottava lähestymistapa ei kuitenkaan täsmennä, miten mielen rakenne ja havainto oikeastaan tuottavat "hahmon" tai millaisia ovat ne kognitiiviset prosessit, jotka ohjaavat käsitteistämistä. On toki todettava, että tieteelliseen tutkimukseen nojaavan perustan luominen ei ole ollut hahmottavan lähestymistavan tavoitteenakaan, vaan pikemminkin on kysymys toimintaa ja käytäntöä ohjaavasta tausta-ajattelusta (Kurki-Suonio 2011).

#### 4.2 Jäsentävä lähestymistapa

Jäsentävä lähestymistapa on kehittynyt asteittain didaktisen fysiikan tutkimuksen kautta (Koponen & Mäntylä 2006; Mäntylä & Koponen 2007; Koponen 2007; Koponen & Pehkonen 2010; Mäntylä 2012; Nousiainen 2013; Mäntylä & Nousiainen 2013). Siinä käsitteiden ajatellaan hahmottavan lähestymistavan tavoin perustuvan havaintoon ja kokeellisesti saatavaan havaintoaineistoon. Käsitteen yhteyttä havaintoon ei kuitenkaan nähdä niin suoraviivaisena kehittymisketjuna kuin hahmottavassa lähestymistavassa. Jäsentävä lähestymistapa painottaa tiedon valmista rakennetta enemmän kuin hahmottava

lähestymistapa. Käsitteellinen tieto ajatellaan yhteisöllisesti saavutetuksi, kulttuuriseksi tuotteeksi, joka on siirrettävissä opetuksen kautta, oppilaan oman oppimisprosessin kautta mutta tavoitteeltaan vahvasti ohjattuna. Yksilön käsitteellinen oppiminen nähdään pyrkimyksenä sisäistää abstraktit käsitejärjestelmät, ymmärtää miten niitä voidaan käyttää kommunikoinnissa ja yhteisöllisesti saavutetun käsitteellisen tiedon jakamisessa.

Jäsentävässä lähestymistavassa käsitejärjestelmän, käsitteiden rakenteen ja sisällön ei ajatella rakentuvan yksinomaan havainnosta ja empiriasta käsin. Pikemminkin kunakin ajanhetkenä olemassa oleva teoreettinen käsitejärjestelmä määrää, millainen empiria on mielekästä ja miten sen tulokset tulkitaan. Empiria ja teoria ovat kyllä läheisessä vuorovaikutuksessa ohjatessaan käsitteellisen tiedon muodostumista, mutta empiria ei ole ensisijaisessa roolissa käsitteen merkityksen rakentumisessa. Tähän näkemykseen kuuluu, että lopputuloksena syntyvä rakenne kuvaa kyllä ontologisella tasolla luonnon ilmiöitä sellaisena kuin ne "todellisuudessa" ovat, mutta teoriat ja mallit ovat välineitä tämän tiedon saavuttamisessa ja siksi luonteeltaan muuttuvia ja instrumentaalisia (Koponen & Mäntylä 2006; Koponen 2007).

Jäsentävän lähestymistavan näkökulmasta on itsestään selvää, että tärkein yksittäinen didaktinen komponentti, joka opettajan on hallittava, on sisältötiedon hallinta. Opettajan on myös kyettävä rakentamaan ja jäsentämään eheitä perusteluita ja argumentaatioketjuja uuden tiedon esittämiseen. Näin opettaja kykenee ohjaamaan oppilaan oppimisprosessia oikeaan suuntaan, korjaamaan oppilaan päättelyä ja ohjaamaan sitä oikeaan suuntaan, auttaa oppijaa oman tietonsa jäsentämisessä ja uuden tiedon omaksumisessa ja liittämässä osaksi jo olemassa olevaa käsitejärjestelmää. Jäsentävässä lähestymistavassa korostuu siksi siirrettävissä oleva, yhteisöllisesti jaettu fysiikan sisältötieto (Koponen & Nousiainen 2013) ja tämän tiedon tuottamiseen liittyvät prosessit (kokeellinen ja mallintava menetelmä). Jäsentävä lähestymistapa on opetusta varten kehitetty taustarakenne, johon nojautuen voidaan suunnitella opetusta ja sen toteutusta. Jäsentävä lähestymistapa hakee oikeutuksensa fysiikan historian käsitteellisestä tulkinnasta hahmottavaa lähestymistapaa selkeämmin. Se myös ottaa huomioon tieteen filosofian ja historian näkemykset kokeellisuudesta ja mallintamisesta, ja kognitiivisen psykologian näkemykset käsitteenmuodostuksen prosesseista (Koponen & Nousiainen 2013; Mäntylä & Nousiainen 2013; Nousiainen 2013). Tässä mielessä se on hahmottavaa lähestymistapaa aidommin tieteellisen tutkimukseen nojautuva ja sen tuloksia hyödyntävä lähestymistapa.

Jäsentävässä lähestymistavassa käsite rakenteita visualisoivilla menetelmillä, kuten erilaisilla graafisilla kaavioilla ja käsitekartoilla, on hyvin keskeinen asema (Koponen & Pehkonen 2010; Mäntylä 2012; Koponen & Nousiainen 2013; Nousiainen 2013). Tämä johtuu siitä, että käsitteellisen tiedon ajatellaan olevan rakenteellista tietoa, jossa käsitteiden ja käsite rakenteiden sisältöön vaikuttaa hyvin paljon se, millaisia ovat käsitteiden väliset yhteydet ja osarakenteiden muodostamat modulaariset rakenteet (ks. lähemmin mm. Carey 2009; Chi & Ohlsson 2005; Barsalou 1999). Graafiset esitykset ovat yksinkertaisin tapa tuoda

nämä piirteet esiin ja auttaa oppijaa metatason ymmärrykseen käsitteellisen tiedon rakenteellisista piirteistä.

Oppimisteoreettinen näkemys, johon jäsentävä lähestymistapa nojautuu, korostaa yksilön omaa tiedon konstruointia, mutta samalla myös sitä, että sen tulee johtaa kykyyn kommunikoida mielekkäästi muiden oppijoiden kanssa. Käsitteet ovat kyllä oppijan itsensä konstruoimia, mutta niiden täytyy kehittyä sellaisiksi, että riittävän suuri osa niiden piirteistä on jaettu ja jaettavissa ja että niitä voidaan myös korjata ja muuntaa kommunikoinnin kautta (ks. esim. Jeong & Chi 2007; Strijbos & Fischer 2007). Tämä edellyttää oppijalta tietoisuutta omasta kognitiivisesta prosessistaan sekä tietoisuutta siitä, miten käsitteellinen tieto saa yhteisöllisesti oikeutuksensa osana laajempaa tieteen prosessia. Oppiminen ei tapahdu siten yksinomaan yksilön prosessina, vaan myös oleellisesti osana yhteisöllistä oppimisprosessia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että opetuksessa tulisi asettaa sopivan vaativa yksilöllinen oppimistavoite ja niiden tulisi mahdollistaa argumentointi ja argumenttien eksplikointi ja käsitteiden kehittyminen argumentoinnin ja ryhmäkeskustelujen kautta (Strijbos & Fischer 2007; Weinberger, Stegmann & Fischer 2007). Käsitteitä ja käsiterakenteita ei siten pitäisi esitellä liian valmiina. Samoin olisi otettava huomioon, että opetus antaa riittävän paljon tilaa empiiristen havaintojen ja kokeiden tekemiselle ja että sillä on myös keskeinen sija argumentoinnissa.

Perusta, jolle jäsentävä lähestymistapa nojautuu, on tässä yhteydessä esitetty varsin lyhyesti ja osittain pintapuolisesti. Jokainen osatekijä – käsitys käsitteistä, käsitys kokeellisuudesta ja käsitys malleista – antaisi aiheita paljon perinpohjaisempiin tarkasteluihin. Esitetyt ajatukset ja se, miten niitä on sovelluttu, perustuvat useisiin mainittuihin oman tutkimusryhmämme tuloksiin, jotka on raportoitu viitteessä mainituissa julkaisuissa. Näistä syistä on oikeutettua kutsua jäsentävää lähestymistapaa aidosti tutkimusperustaiseksi lähestymistavaksi. Viitteissä mainitut julkaisut myös tuovat esiin sen runsaan taustakirjallisuuden, johon jäsentävä lähestymistapa nojaa, mutta jota ei tässä lyhyessä esityksessä ole mahdollista tai tarkoituksenmukaista lähemmin käsitellä.

**5 Lopuksi: Didaktinen fysiikka suuntaamassa opettajankoulutusta**  
Didaktisen fysiikan käytännöllisenä päämääränä on kehittää ja tunnistaa opetuksen kannalta hyödyllisiä opetusmallien piirteitä. Tässä pyrkimyksessään se nojautuu fysiikkaan tieteenä ja hyödyntää tieteenfilosofian, tieteen historian ja kognitiotieteen näkökulmia sopivien opetuksen lähestymistapojen ja didaktisten sovellusten tuottamiseksi. Didaktinen fysiikka on siten myös yksi fysiikan aineenopettajankoulutusta suuntaava tekijä, joka tuo mukaan ainelaitoksen näkökulman ja painotukset opettajankoulutukseen. Nämä painotukset eroavat didaktiikan painotuksista, mutta täydentävät niitä. Ohjausvaikutuksen kannalta kiinnostava kysymys on se, johtavatko epistemologioilta ja tieteenkäsityksiltään erilaiset lähestymistavat samoihin oppimistulokseen ja onko oppimistulosten laadussa eroa. Hahmottava lähestymistapa painottaessaan kokeellisuutta ja kokeisiin perustuvaa käsitteenmuodostusta näyttää fysiikan tiedonhankintamenetelmät toisenlaisina kuin jäsentävä lähestymistapa,

joka painottaa enemmän käsiterakenteen merkitystä ja teorian merkitystä. Samoin luonnontieteellisen tiedon luonne näyttäytyy erilaisena näistä kahdesta näkökulmasta, kuitenkin keskenään enemmän samankaltaisena kuin vaikkapa puhtaasti didaktisesta näkökulmasta peruteltu kokeellisuus (vrt. Trumper 2003). Myös käsitys oppimiseen vaikuttavista kognitiivisista hahmottamisen ja käsitteistämiseen prosesseista on näissä tavoissa erilainen, mutta molemmat tavat näkevät kysymyksen keskeisenä, kun taas monet didaktiikasta lähtevissä näkemykset näyttävät jättävän kokonaan syrjään kysymyksen käsitteistämiseen liittyvästä kognition luonteesta. Toistaiseksi on vaikea osoittaa, että lähestymistavalla olisi merkittävää vaikutusta mitattavissa oleviin oppimistuloksiin tai opettajien asenteisiin. Mitattavan vaikutuksen puuttuminen ei kuitenkaan tee merkityksettömäksi tavoitetta kehittää ja ohjata opettajankoulutuksessa tiedon ja kognition luonteeseen liittyviä tekijöitä näiltä aloilta tulevan perustelluimman tiedon pohjalta. On myös muistettava, että lähestymistapa on väline päämäärään pääsemiseksi, joka on pohjimmiltaan fysiikan, ei lähestymistavan, oppiminen. Tästä näkökulmasta ei ole olemassa yhtä oikeaa tai muita parempaa lähestymistapaa, ja hyvin erilaisetkin lähestymistavat voivat johtaa yhtä hyvään tulokseen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että didaktinen fysiikka tavoittelee yhtä aikaa ymmärrystä fysiikasta opettavan aineena ja ymmärrystä oppijan kognitiivisista prosesseista. Se pyrkii näkemyksissään löytämään fysiikan opetukseen näkökulman, joka ottaisi huomioon opetuksen "autenttisuuden". Tässä pyrkimyksessä kohtaavat oppijan psykologian määräämät käsitteet ja käsiterakenteet ja tieteen tuloksena saavutetut käsitteet ja käsiterakenteet. Vaikka ne eivät ole identtiset, niillä on samoja piirteitä. Näissä tavoitteissaan didaktinen fysiikka ja siihen nojaava opettajankoulutus ei tähtää ainoastaan parempaan opetukseen ja vakiintuneen sisällön siirtämiseen opetuksen kautta, vaan myös muutokseen oppimisen tavoissa ja sellaiseen ymmärrykseen sisällöstä, joka antaa mahdollisuuksia opetuksen itsenäiseen kehittämiseen ja sen sisältöjen tarkistamiseen.

Lopuksi on tietysti vastattava kysymykseen, miten didaktinen fysiikka suuntaa aineenopettajankoulutusta ja mitä aineenopettajankoulutuksen kehittäminen ja oppiminen hyötyvät didaktisesta fysiikasta. Didaktisen fysiikan ja sen pohjalta tuotettujen lähestymistapojen perustelu on tässäkin kirjoituksessa edellyttänyt useita sivuja, jotka käsittelevät käytännön opetuksen tai didaktiikan kannalta varsin metateoreettisia kysymyksiä, jotka eivät välttämättä vaikuta kovin käytännöllisiltä tai suoraan sovellettavilta. Tämä on osittain oikea vaikutelma, sillä didaktisen fysiikan tutkimuksen tarkoituksena ei ole suoraan mikään yksittäinen sovellus, vaan pikemminkin sen perustan luominen, jolta sovelluksia voidaan kehittää. Tässä kirjoitelmassa esitetystä näkökulmasta on jopa kyseenalaista, kuinka perusteltua tai kantavaa on sellainen tutkimus, joka keskittyy hyvin rajallisten didaktisten sovellusten tuottamiseen tiettyä fysiikan suppeaa osa-aluetta varten (tästä esimerkkinä vaikkapa ns. tutoriaalit ja niihin liittyvä tutkimus) mutta jättää laajemman sovellettavuuden tai sovelluksen aseman laajemman opintopolun näkökulmasta huomiotta. Myös valinta, mihin didaktinen fysiikka tutkimuksessa keskittyy ohjaa

opettajankoulutusta ohjaamalla huomiota siihen, mitä pidetään keskeisenä. On huomattava, että kysymys keskeisyydestä ei ole empiirisesti tai tutkimuksellisesti ratkaistava kysymys vaan tavoitteen valinta, ja juuri siksi vahvasti myös toimintaa suuntaava. Omassa tutkimusryhmässämme valitsemamme tavoitteet ja painotukset, joita olemme tässä esitelleet, ovat johtaneet siihen että olemme koulutuksessamme painottaneet:

1. Käsitteiden rakentumista ja kehittymistä empiriaan nojautuen mutta teorian ohjaamana (ks. lähemmin Koponen & Mäntylä 2006; Mäntylä & Koponen 2007; Mäntylä 2012). Tässä näkemyksessä painottuu erityisesti mallien ja mallintamisen yhteys empiriaan (Koponen 2007; Koponen ja Tala 2014), mihin on sittemmin viitattu ns. "uus-empiristisenä" näkemyksenä (ks. Sensevy et al. 2008). Käytännöllisenä sovelluksena on ns. didaktisten rekonstruktioiden tuottamiseen liittyvät periaatteet, joita voidaan soveltaa laajasti (Mäntylä 2012; Mäntylä & Nousiainen 2013).
2. Käsitem- ja teoriarakenteiden muodostumista ja miten näiden rakenteiden piirteet heijastavat opettajan käsitteellistä ja menetelmällistä (fysiikan sisältöjen osilta) tietoa ja sen käytettävyyttä. Tässä näkemyksessä painottuu argumentaation sisällöllinen johdonmukaisuus ja eheys. Käytännöllisenä sovelluksena ovat mm. käsitekarttojen ja argumentaatiokaavioiden kaltaiset sovellukset tiedon esittämisessä (Nousiainen 2013; Koponen & Nousiainen 2013).
3. Käsitteiden eriytymiseen ja abstrahoitumiseen liittyviä käsiteoppimisen piirteitä, ja käsitteiden monimuotoisuuden vaatimia moniulotteisia representaatiota (dynaamiset graafit). Käytännöllisenä sovelluksena tästä vahvasti käsiteoppimiseen nojaavasta tutkimuksesta ovat erilaiset useampi representaatiota edellyttävät ongelmanratkaisut ja reflektiota tukevat tehtävät, jotka myös tukevat yhdessä oppimista (Koponen & Huttunen 2013; Koponen & Kokkonen 2014).

Kantavan ajatuksena oman didaktisen fysiikan tutkimuksen ja siihen nojautuvan fysiikan aineenopettajakoulutuksen suunnittelussa on ollut ottaa huomioon opetuksen ja oppimisen kehittämisessä paras ja perustelluin saatavilla oleva tieto käsitteiden ja tiedon luonteesta, jotta voidaan saada aikaan oleellisia uudistuksia ja muutoksia. Siksi paneutuminen käsitteiden luonteeseen, käsitteellisen tiedon rakenteeseen on ensiarvoisen tärkeää. Siihen sisältyy myös suuri muutoksen mahdollisuus ja suuri oppijan oman luovan potentiaalinen hyödyntämisen mahdollisuus. Tavoitteena ei ole pelkästään vakiintuneen tiedon tehokas ja hyvä opetus ja oppiminen, vaan myös oppimisen luonteen ja tavoitteiden muuttuminen niin, että päämääränä on tiedon tuottamisen ja konstruoinnin oppiminen. Tähän tavoitteeseen on vielä matkaa, mutta tutkimusalana didaktinen fysiikka ja siihen nojautuva opettajankoulutus ovat osoittaneet halunsa ja kykynsä saavuttaa asettamiensa tavoitteita.

## Lähdeluettelo

- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Utilising the '3P-model' to Characterise the Discipline of Didactics of Science. *Science & Education* 12, 27–43.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual Symbol Systems. *Behavioural and Brain Sciences* 22, 577–660.
- Carey, S. (2009). *The Origin of Concepts*. Oxford University Press, Oxford.
- Chi, M. & Ohlsson, S. (2005). Complex declarative learning. Teoksessa K.J. Holyoak & R.G. Morrison (toim.) *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*, 371–399, Cambridge University Press, Cambridge.
- Duit, R. Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2005). Towards science education that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. Teoksessa H. Fischer (toim.) *Developing standards in research on science education*, 1–9. Taylor & Francis, Leiden.
- Halloun, I. (2007). Mediated Modelling in Science Education. *Science & Education* 16, 653–697.
- Hestenes, D. (1992). Modeling Games in the Newtonian World. *American Journal of Physics* 60, 732–748.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration of science and science education. *International Journal of Science Education* 14, 541–562.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education* 12, 27–43.
- Jeong, H., & Chi, M. (2007). Knowledge convergence and collaborative learning. *Instructional Science* 35, 287–315.
- Koponen, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education* 16, 751–773.
- Koponen, I. T. & Huttunen, L. (2013). Concept Development in Learning Physics: The Case of Electric Current and Voltage. *Science & Education* 22, 2227–2254.
- Koponen, I.T. & Kokkonen, T. (2014). A Systemic view of the learning and differentiation of scientific concepts: The case of electric current and voltage revisited. *Frontline Learning Research* 4, 140–166.
- Koponen, I.T. & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education* 15, 31–54.
- Koponen, I.T. & Nousiainen, M. (2013). Pre-service physics teachers' understanding of the relational structure of physics concepts: Organising subject content for purposes of teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education* 11, 325–357.
- Koponen, I.T. & Pehkonen, M. (2010). Coherent knowledge structures of physics represented as concept networks in teacher education. *Science & Education* 19, 259–282.
- Koponen, I. T. & Tala, S. (2014). Generative Modelling in Physics and in Physics Education: From Aspects of Research Practices to Suggestions for Education. Teoksessa M. Matthews (toim.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, 1143–1169, Springer, Dordrecht.
- Kurki-Suonio, K. (2011). Principles supporting the perceptual teaching of physics: A "practical teaching philosophy". *Science & Education* 20, 211–243.
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. (1994). *Fysiikan merkitykset ja rakenteet*. Limes, Helsinki.
- Matthews, M. (1994/2015). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. (uudistettu laajennettu painos 2015), Routledge, New York.

- Mestre, J.P. (2001). Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers. *Physics Education* 36, 44–51.
- Mäntylä, T. & Hämäläinen, A. (2015). Obtaining Laws Through Quantifying Experiments: Justifications of Pre-service Physics Teachers in the Case of Electric Current, Voltage and Resistance. *Science & Education*. DOI: 1007/s11191-015-9752-z.
- Mäntylä, T. & Nousiainen, M. (2013). Consolidating Pre-service Physics Teachers' Subject Matter Knowledge Using Didactical Reconstructions. *Science & Education* 23, 1583–1604.
- Mäntylä, T. 2012. Didactical Reconstruction of Processes in Knowledge Construction: Pre-service Physics Teachers Learning the Law of Electromagnetic Induction. *Research in Science Education* 42, 791–812.
- Mäntylä, T. & Koponen, I.T. (2007). Understanding the role of measurements in creating physical quantities: A case study of learning to quantify temperature in physics teacher education. *Science & Education* 16, 291–311.
- Nersessian, N. J. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science & Education* 4, 20–226.
- Nousiainen, M. (2013). Coherence of Pre-service Physics Teachers' Views of the Relatedness of Physics Concepts. *Science & Education* 22, 505–525.
- Nousiainen, M. & Koponen, I. T. (2011). Pre-service Physics Teachers' Concept Maps Representing Relational Structure of Physics Concepts. *Journal of Baltic Science Education* 10, 183–194.
- Prinz, J. (2002). *Furnishing the mind: Concepts and their perceptual basis*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Reif, F. (2008). *Applying cognitive science to education: Thinking and learning in scientific and other complex domains*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Savinainen, A. & Viiri, J. (2004). Mitä fysiikan opetuksen tutkimus voi tarjota korkeakoulufysiikan opetukselle. *Arkhimedes* 6, 8–13.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laube, S. & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education* 92, 424–446.
- Strijbos, J.-W., & Fischer, F. (2007). Methodological challenges for collaborative learning research. *Learning and Instruction*, 17, 389–393.
- Trumper, R. (2003). The Physics Laboratory – A Historical Overview and Future and Perspectives. *Science & Education* 12, 645–670.
- Weinberger, A., Stegmann, K. & Fischer, F. (2007). Knowledge convergence in collaborative learning: Concepts and assessment. *Learning and Instruction* 17, 416–426.