

**Fysiikan opiskelijoiden
yhteistoiminnallisen
ongelmanratkaisun analysointi
OECD:n PISA 2015 -mallin avulla**

Pro gradu -tutkielma, 21.1.2022

Tekijä:

LASSE MANNINEN

Ohjaajat:

PEKKA KOSKINEN

ANTTI LEHTINEN



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
FYSIKAN LAITOS

© 2022 Lasse Manninen

Julkaisu on tekijänoikeussäännösten alainen. Teosta voi lukea ja tulostaa henkilökohtaista käyttöä varten. Käyttö kaupallisiin tarkoituksiin on kielletty. This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use. Commercial use is prohibited.

Tiivistelmä

Manninen, Lasse

Fysiikan opiskelijoiden yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun analysointi OECD:n PISA 2015 -mallin avulla

Pro gradu -tutkielma

Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto, 2022, 53 sivua

Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on olennainen nykypäivän työelämätaito ja tämä on syytä huomioida myös yliopistojen opetuksessa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli hyödyntää yhteistoiminnallisen, eli pienryhmässä yhteistyönä tapahtuvan, ongelmanratkaisun mallia fysiikan peruskurssin opiskelijoiden ongelmanratkaisuprosessin kuvailuun ja analysointiin. Tutkimuskysymyksiksi valittiin: (1) Voiko OECD:n vuoden 2015 PISA-tutkimusta varten kehittämää yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun viitekehystä käyttää ryhmätehtävien tekemisen kuvailuun? (2) Miten ryhmien ongelmanratkaisuprosessit vertautuvat kurssilla opetettuun ongelmanratkaisustrategiaan? Tätä tutkimusta voidaan hyödyntää jatkossa opetuksen kehittämisessä, koska tutkimuksesta saatava tieto näyttää suuntaa sille, onko esimerkiksi ongelmanratkaisustrategian eksplisiittiselle harjoittelulle sijaa kurssilla.

Aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen vuoden 2020 syksyllä järjestetyllä peruskurssilla ”Mekaniikan perusteet”. Aineisto koostui kahdesta videosta, joilla kurssille osallistuneet opiskelijat ratkoivat pienryhmässä tehtäviä. Videoilla kaksi eri ryhmää tekivät osittain samat tehtävät. Aineisto analysoitiin teorialähtöisellä sisällönanalyysillä.

Tutkimus osoitti, että OECD:n luoma malli soveltuu myös korkeakoulun fysiikan kurssilla ryhmien toiminnan analysointiin. Tutkimuksen perusteella opiskelijat eivät seuraa kurssilla opetettua ongelmanratkaisustrategiaa. Aineistosta voidaan päätellä, että tämän ongelmanratkaisustrategian käyttämisestä saattaa olla hyötyä. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla opetuksen kehittäminen implementoimalla kurssille ongelmanratkaisun opettamista ja arviointia ja tutkia ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä.

Avainsanat: Yhteistoiminnallisuus, ongelmanratkaisu

Abstract

Manninen, Lasse

Analyzing physics students' collaborative problem solving process using the OECD PISA 2015 framework

Master's thesis

Department of Physics, University of Jyväskylä, 2022, 53 pages.

Collaborative problem solving is a relevant 21st century skill and this should be seen in the curricula of universities. The purpose of this study was to utilize a collaborative problem-solving framework to describe the problem solving process of students on an introductory physics course. Research questions were: (1) Can the OECD PISA 2015 collaborative problem solving framework be used to describe problem solving processes of groups? (2) How do the problem solving processes of the groups compare to the problem solving strategy that is taught on the course? This research can be used in the future to improve teaching, because the information gathered could be useful, for example, in deciding if more explicit teaching of problem-solving strategies should be implemented.

The data were collected on a first course of introductory physics at the Department of Physics of the University of Jyväskylä. The data were two videos on which students participating on the course did group assignments. On the videos two groups did partially the same assignments. The data were analyzed using theory directed content analysis.

The research shows that the framework created by OECD can also be used to analyse physics students' collaborative problem solving. According to this research the students' do not systematically follow the problem-solving strategy that can be found in the course materials. It can be concluded that the students could benefit from using the aforementioned strategy. In further studies it would be useful to research implementing teaching and assessing problem-solving on introductory physics courses.

Keywords: Collaboration, collaborative problem solving

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
1 Johdanto	6
2 Yhteistoiminnallinen oppiminen	8
2.1 Laatu aikaoppiminen	10
3 Ongelmanratkaisu	12
3.1 Ongelmat	12
3.2 Ongelmanratkaisuprosessi	14
3.3 Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu	18
4 Tutkimuksen toteuttaminen	22
4.1 Tutkimuskysymykset	22
4.2 Tutkimusasetelma	22
4.3 Aineiston kerääminen	26
4.4 Aineiston analysointi	28
5 Tulokset	29
5.1 Nopeustehtävä ja oikein-väärin-väittämät	29
5.2 Skriptitehtävä	32
5.3 Pulkkamäki	36
5.4 Prosessit suhteessa kurssilla opetettuun ongelmanratkaisustrategiaan	38
6 Päätäntö	45
6.1 Tutkimuskysymykset	45
6.2 Pohdinta	47
Lähteet	49

1 Johdanto

Yhteistoiminnalliset taidot, eli ryhmätyötaidot, yhdessä ongelmanratkaisutaitojen kanssa ovat hyvin tärkeitä nykypäivän työelämätaitoja [1]. Ryhmässä tapahtuva ongelmanratkaisu on myös lisääntynyt monissa eri ammateissa ja työnkuvissa. Erityisesti matemaattis-luonnontieteellisillä aloilla ongelmien ratkaiseminen on tutkimuksessa ja teollisuudessa hyvin keskeisessä roolissa lähes kaikissa työtehtävissä. Tämä yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on siis ilmiönä olennainen myös koulutuksen kannalta, jotta koulutus voi vastata työelämän tarpeisiin. Ilmiönä yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun tutkiminen on ajankohtaista opetussuunnitelmien painottuessa yhä enemmän tutkivaan oppimiseen ja yhteistoiminnallisiin taitoihin kaikilla koulutusasteilla. Kokonaisvaltaisesti tätä aihetta ei ole vielä tutkittu kovin pitkään ja uutta tietoa tuotetaan aktiivisesti.

Tämän tutkimuksen aiheena on OECD:n PISA 2015 -tutkimusta varten luodun teoreettisen viitekehyksen yhteistoiminnalliselle ongelmanratkaisulle käyttäminen ryhmien ongelmanratkaisuprosessien kuvailuun sekä tutkimuksen kontekstina olleen kurssin ongelmanratkaisustrategia. Tutkimuksen aineisto kerättiin vuoden 2020 syksyllä Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella järjestetyllä kurssilla ”Mekaniikan perusteet”, joka on fysiikan ensimmäinen peruskurssi. Tutkimuskysymykset olivat: (1) Voiko OECD:n luomaa mallia hyödyntää fysiikan peruskurssin opiskelijoiden yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisuprosessin analysoimiseen? (2) Miten ryhmien ongelmanratkaisuprosessit vertautuvat kurssilla opetettuun ongelmanratkaisustrategiaan? Aineistona toimi kurssille osallistuneiden opiskelijoiden kuvaamat videot ongelmanratkaisutilanteista, joissa opiskelijat ratkoivat kurssin tehtäviä. Aineisto analysoitiin teorialähtöisellä sisällönanalyysillä, joka toteutettiin litteroimalla videot ja koodaamalla puheenvuorojen sisällöt sen mukaan, mitä ongelmanratkaisuprosessin vaihetta ne vastaavat.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa yhteistoiminnallisesta ongelmanratkaisusta ilmiönä ja korkeakouluopetukseen kehitetystä työtavasta laatuaikaoppiminen. Ongelmanratkaisuprosessin ymmärtäminen on opetuksen kehittämisen kannalta hyödyllistä, koska sitä tutkimalla voidaan tuottaa parempia tehtäviä ja opettaa

ongelmanratkaisua tehokkaammin. Laatu-aika-oppiminen on myös työtapana melko uusi ja sen kehittämiseksi sen eri aspekteja täytyy tutkia.

Tutkielman rakenne etenee yhteistoiminnallisen oppimisen teoriasta ongelmanratkaisun ja yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun teoriaan. Teoriaosuuden jälkeen kuvataan käytetyt menetelmät ja aineiston analysointi. Lopuksi tarkastellaan tutkimuskysymysten vastauksia ja niistä tehtäviä johtopäätöksiä.

2 Yhteistoiminnallinen oppiminen

Yhteistoiminnallinen oppiminen on ryhmätyöskentelyn soveltamista opetuksessa siten, että pienryhmä työskentelee oman ja muiden ryhmän jäsenten oppimisen hyväksi [2, 3]. Yhteistoiminnallisen oppimisen teoreettisena pohjana on aktiivisen oppimisen oppimiskäsitys ja sosiaalisen riippuvuuden teoria.

Aktiivinen oppiminen tarkoittaa sitä, että oppiminen tapahtuu tehokkaimmin oppijan osallistuessa tiedon luomiseen ja käsittelyyn itse. Koskinen ym. ovat poimineet 10 aktiivisen oppimisen peruspiirrettä tieteen opetuksessa [4]. Vuorovaikuttaminen opettajien ja muiden opiskelijoiden kanssa mahdollistaa ajatusten muotoilun sanoiksi, ennakkokäsitysten haastamisen ja nopean virheiden korjaamisen. Teknologiaavusteisuus tuo animaatiot, simulaatiot ja numeeriset harjoitukset tehtävien ja oppimateriaalien joukkoon. Ennakkokäsitykset tulee huomioida ja niitä tulee käsitellä. Opetuksessa painotetaan ilmiölähtöisyyttä käyttämällä runsaskontekstisia ongelmia ja arjen ilmiöitä. Symbolien painottamisen sijaan kannattaa painottaa käsitteiden käyttämistä ja opettelua. Ongelmanratkaisutaitojen eksplisiittinen opettaminen auttaa myös konseptien oppimisessa. Metakognitiivisten taitojen harjoittelu itsenäisyyden ja -reflektointien kautta parantaa oppimaan oppimisen taitoja. Palautteen antaminen ja formatiivinen arvionti tukevat oppimisprosessia, kun pelkästään lopputulos ei ratkaise. Useiden representaatioiden hyödyntäminen on tärkeää. Joustavan ja mukautuvan opiskelurytmin salliminen lisää itseohjautuvuutta.

Yhteistoiminnallinen oppiminen perustuu aktiivisen oppimisen lisäksi vahvasti sosiaalisen riippuvuuden teoriaan [5]. Sosiaalisen riippuvuuden teorian ytimessä on ryhmän dynaamisuus. Ryhmän jäsenten tavoitteen muodostama riippuvuus ryhmän jäsenten välillä yhdistää ryhmän dynaamiseksi kokonaisuudeksi, jossa yksilöiden tilan muutokset vaikuttavat muihin ryhmän yksilöihin. Tehtävän tavoite määrittää sen, onko ryhmän toiminta yhteistyötä, kilpailua vai yksilöiden erillistä toimintaa. Yhteistyötä syntyy, kun ryhmän jäsenet ovat positiivisesti riippuvaisia toisistaan, eli tavoitteeseen pääsy vaatii jokaisen ryhmän jäsenen panosta ja ryhmä hahmottaa tarvitsevänsä toisiaan tavoitteeseen pääsemiseksi. Kilpailua syntyy negatiivisesta riippuvuudesta, kun yksilön tavoitteeseen pääsy vaatii sitä, että muut ryhmän jä-

senet eivät pääse tavoitteisiinsa. Ryhmän toiminta palautuu jäsenten itsenäiseksi toiminnaksi, jos yksilöt kokevat, että muun ryhmän tavoitteet eivät vaikuta heidän omiin tavoitteisiinsa [3, 5]. Positiivinen sosiaalinen riippuvuus on siis yhteistoiminnallisen oppimisen kannalta hyvin tärkeää. Opetusta toteutettaessa onkin syytä pohtia, miten ryhmille luodaan yhteisiä tavoitteita, joiden saavuttamiseen kaivataan ryhmän panosta.

Johnson ja Johnson ovat määritelleet neljä yhteistoiminnallisen oppimisen tyyppiä, joita voi soveltaa erilaisten tavoitteiden saavuttamiseksi: formaali, epäformaali, perusryhmät ja rakentava väittely [3]. Formaali yhteistoiminnallinen oppiminen tarkoittaa työskentelyä, jossa pienryhmä työskentelee yhteisten oppimistavoitteiden saavuttamiseksi ja annettujen yhdessä ratkaistavien tehtävien suorittamiseksi. Formaalia yhteistoiminnallista oppimista voi hyödyntää jonkin erityisen asiasisällön opettamiseen ja sen kesto voi olla yhdestä oppitunnista useisiin viikkoihin. Epäformaali yhteistoiminnallinen oppiminen tarkoittaa opiskelijoiden yhteistyötä yksittäisen tehtävän suorittamiseksi. Epäformaali yhteistoiminnallinen oppiminen soveltuu aktiivisten kognitiivisten toimintojen varmistamiseksi kasvokkain tapahtuvan opetuksen yhteydessä ja sen kesto on minuuteista yhteen oppituntiin. Yhteistoiminnalliset perusryhmät ovat pitkäaikaisia ja niiden tarkoitus on tarjota opiskelijoille tukea, rohkaisua ja apua opiskeluissa. Perusryhmät tapaavat formaalisti tarjotakseen jäsenilleen apua ja todetakseen, että ryhmän jäsenet pysyvät mukana opiskelussa. Viimeinen tyyppi on rakentava väittely, jossa yhden opiskelijan ajatukset, tiedot, johtopäätökset, teoriat tai mielipiteet eivät sovi yhteen toisen opiskelijan kanssa ja nämä opiskelijat etsivät yhteisymmärrystä, joka kuvaa heidän parasta arviointikykyään. Rakentavaa väittelyä voi hyödyntää älyllisten konfliktien luomisessa saavutusten ja luovan ongelmanratkaisun parantamiseksi.

Yhteistoiminnallista oppimista voi tehostaa teknologian avulla. Teknologia-avusteista yhteistoiminnallista oppimista (Computer supported collaborative learning, CSCL) on tutkittu paljon parin viime vuosikymmenen aikana [6]. Teknologia mahdollistaa erilaisten medioiden käyttämisen tehtävissä. Esimerkiksi tämän tutkimuksen aineistossa on tehtävä, johon kuuluu simulaatio, jota ryhmä voi muokata ja tutkia. Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty kurssilta, jonka opetus on toteutettu käyttämällä teknologia-avusteista yhteistoiminnallista oppimista. Yhteistoiminnallisen oppimisen tyyppi kurssin toteutuksessa on formaali.

2.1 Laatuajaoppiminen

Laatuajaoppiminen on korkeakouluopetuksen malli, joka perustuu teknologia-avusteiseen yhteistoiminnalliseen oppimiseen [4]. Malli on kehitetty vastaamaan perinteisen opetuksen ongelmiin kuten esimerkiksi siihen, miten perinteinen luennointi ei ole aktiivisen oppimisen mallin mukaista. Laatuajaoppimisella pyritään myös vähentämään opiskelun keskeyttämistä, syrjäytymistä ja motivaation heikkenemistä sitouttamalla opiskelijat opiskeluun pienryhmien kautta.

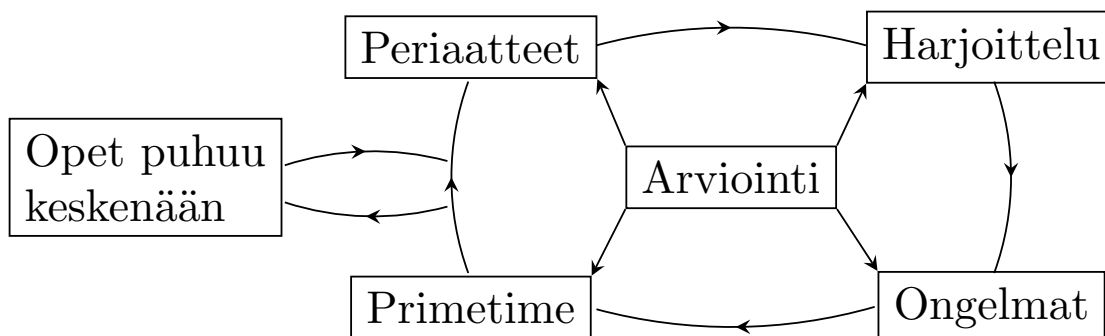
Laatuajaoppiminen koostuu neljästä vaiheesta: itseopiskelusta, ryhmätunnista, ongelmanratkaisusta ja ”laatuajasta” (primetime), eli tapaamisesta opettajan kanssa (kuva 1). Opiskelijoiden toiveesta Jyväskylän yliopiston fysiikan kursseilla on myös viikoittainen luentotilaisuus, joka usein sijoittuu itseopiskelun ja ryhmätunnin väliin. Kursseilla on kiinteät pienryhmät, jotka on muodostettu opettajan harkinnan mukaan eri tavoilla esimerkiksi opiskelijoiden motivaatioon perustuen tai satunnaisesti. Laatuajan jälkeen opettajat keskustelevat kurssin kulusta.

Itseopiskeluvaihe sisältää periaatteiden opiskelua eli materiaalin lukemista, opetusvideoiden katselemista, käsitteisiin tutustumista ja esimerkkien opiskelua. Itseopiskeluvaiheen päätteeksi opiskelijat vastaavat pisteytettäviin kysymyksiin, joiden vastaukset opiskelijat saavat näkyviin välittömästi vastaamisen jälkeen.

Ryhmätunnilla pienryhmät kokoontuvat itse valitsemanaan aikana tekemään yhteisiä tehtäviä eli harjoittelemaan itseopiskeltujen periaatteiden ja käsitteiden käyttöä. Tehtäviin vastataan ryhmänä ja osa tehtävistä pisteytetään heti ja niistä saa myös palautteen. Osa tehtävistä on voitu jättää opettajan pisteytettäväksi, mikäli tehtävään on haluttu avoin vastaus. Tehtävät voivat olla esim. pohdintoja, simulaatioita, käsitteellisiä kysymyksiä tai laskutehtäviä. Yhteisillä pisteillä kannustetaan ryhmäläisiä keskustelemaan ja perustelevaan ajatuksiaan, jotta ryhmä päätyisi oikeaan lopputulokseen.

Onelmanratkaisuvaihe koostuu fysiikan ongelmista, jotka ratkaistaan itsenäisesti tai vapaissa pienryhmissä ja joiden ratkaisut palautetaan verkkoalustalle. Opettajilta saa tässä vaiheessa tarvittaessa tukea ja usein kursseilla on ohjaustilaisuus, jossa opettaja(t) ovat käytettävissä. Määräajan umpeuduttua tehtävien ratkaisut tulevat näkyviin.

Laatuajalla pienryhmät tapaavat opettajan. Tärkeintä näissä tapaamisissa on opiskelijoiden omat kysymykset ja avoin keskustelu sekä opettajan aito läsnäolo



Kuvio 1. Laatu aikaoppimisen eri vaiheet [4]. Periaatteet opiskellaan itsenäisesti ja niitä harjoitellaan tekemällä ryhmätehtäviä. Ongelmat ovat laskuharjoitustehtäviä, joita tehdään itsenäisesti tai vapaissa pienryhmissä. Primetime on pienryhmälle varattu aika, jona opettaja on ryhmän käytettävissä.

ja opiskelijoista huolehtiminen. Ajatuksena on, että opiskelijat saavat itse ohjata ajankäyttöä tärkeiksi kokemiinsa asioihin sen sijaan, että opettajalla olisi valmis käsikirjoitus tunteja varten.

Laatu aikaoppimisessa arviointi toteutetaan formatiivisesti. Arvioinnin tarkoitus on tukea opiskelua ja oppimista ja auttaa opettajia huomaamaan ne seikat, jotka vaativat lisähuomiota. Kurssin kokonaispisteet koostuvat tehtävistä saaduista pisteistä, opettajan arviosta, ryhmän arviosta ja itsearviosta. Opettaja arvioi opiskelijan aktiivisuutta ja osallistumista koko kurssin ajan ja antaa kurssin päätteeksi opiskelijoille yksityiset kirjalliset palautteet. Ryhmän arviossa jokainen ryhmäläinen antaa koko ryhmälle pisteet, joiden mediaanin verran ryhmäläiset saavat pisteitä.

3 Ongelmanratkaisu

Tässä luvussa määrittelen ongelman ja ongelmanratkaisun. Käsittelen ongelmanratkaisun teoriaa ensin yleisesti ja sitten fysiikan harjoitustehtävien kontekstissa. Luvun lopuksi tarkastelen yhteistoiminnallista, eli ryhmässä tapahtuvaa, ongelmanratkaisua, jossa yleiseen ongelmanratkaisuprosessiin liitetään yksilöiden väliset vuorovaikutukset.

3.1 Ongelmat

Ongelman käsite on toisaalta intuitiivinen, mutta toisaalta hyvin vaikea määritellä tarkasti. Maloneyn mukaan useissa tutkimuksissa ongelman määrittely saatetaankin jättää kokonaan pois tai se määritellään hyvin kapeasti intuitioon luottaen [7]. Esimerkiksi Duncker (1945) määrittelee ongelman seuraavasti: *Ongelma on olemassa, kun henkilöllä on tavoite mutta hän ei tiedä kuinka saavuttaa se* [8]. Hayes (1981) on määritellyt ongelman vastaavasti: *Kun sen välillä missä olet ja missä haluat olla, on este, sinulla on ongelma* [9]. Nämä määritelmät pitävät sisällään suuren määrän erilaisia ongelmia ja asia, joka on jollekin ongelma, ei sitä välttämättä ole toiselle. Tässä tutkielmassa ongelman määritelmäksi otetaan Dunckerin määritelmä, koska sitä käytetään myös tutkittavassa teoreettisessa viitekehyksessä (ks. luku 3.3).

Ongelmassa on kolme osaa: alkutila, lopputila ja reitti alkutilasta lopputilaan. Ongelman voi sanoa olevan hyvin määritelty, kun kaikki kolme osaa voidaan eksplisiittisesti tunnistaa [7]. Esimerkiksi fysiikassa ns. rutiiniongelmat ovat tällaisia hyvin määriteltyjä ongelmia (”johda energian ja liikemäärän säilymisestä loppunopeudelle yhtälö”). Jos joku ongelman osa ei ole eksplisiittisesti tunnistettavissa, on kyseessä avoimesti määritelty ongelma [7]. Avoimesti määritellylle ongelmalle tyypillistä on, että kaikkia tietoja ei ole annettu eksplisiittisesti tai ongelmalla ei ole yhtä oikeaa ratkaisua. Ratkaisija saattaa joutua tunnistamaan ensin ongelman, sitten mahdollisen halutun lopputuloksen ja sen millainen este alku- ja lopputilan välillä on. Esimerkiksi mahdollisimman tehokkaan polttomoottorin suunnitteleminen on avoimesti määritelty ongelma.

Ongelmia voi luokitella sen mukaan onko alkutilanne hyvin määritelty vai epätäydellinen (jokin ratkaisun kannalta oleellinen tieto puuttuu), ovatko ratkaisuun tarvittavat menetelmät tuttuja vai eivät ja onko haluttu lopputila annettu vai avoin [7]. Näitä yhdistelemällä saadaan kahdeksan erilaista ongelmatyyppiä, joista fysiikan peruskurssien harjoitustehtävissä esiintyy usein neljää tyyppiä:

- Alkutiedot ovat täydelliset, menetelmät tuttuja ja lopputila annettu
- Alkutiedot ovat täydelliset, menetelmät tuttuja ja lopputila avoin
- Alkutiedot puutteelliset, menetelmät tuttuja ja lopputila annettu
- Alkutiedot puutteelliset, menetelmät tuttuja ja lopputila avoin

Ongelmia, joissa menetelmät eivät olisi tuttuja on tehtävinä harvemmin, mutta esimerkiksi laboratoriotöissä tämä on mahdollista. Tämän tutkielman aineistossa olevat ongelmat ovat edellisen listan kahta ensimmäistä tyyppiä.

Rutiiniongelmia, joita monet oppikirjoissa olevat tehtävät ovat, eivät ongelman määritelmästä riippuen ole siis ongelmia lainkaan. Mikäli opiskelijan alkutiedot ovat täydelliset, menetelmät tuttuja ja lopputila annettu, opiskelija saattaa toteuttaa tehtävätyyppiin sopivaa ratkaisualgoritmia ja näin alkutilan ja lopputilan välillä ei ole estettä. Rutiiniongelmiensa ratkaisemisella ei olekaan suurta vaikutusta esimerkiksi mekaniikan perusperiaatteiden oppimisessa [10].

Jonassen on luokitellut ongelmat kaikkiaan 11 eri tyyppiin sen perusteella millaisia toimia ongelman ratkaiseminen vaatii [11]. Nämä eri tyypit ovat: (1) Logiikkaongelmia, (2) algoritmit, (3) tarinaongelmia (sanalliset tehtävät), (4) säännöhyödyntämisongelmia, (5) päätöksentekongelmia, (6) vianetsintäongelmia, (7) diagnosointi-ratkaisu-ongelmia, (8) strateginen suoritus, (9) tapausanalyysiongelmat, (10) suunnitteluongelmia ja (11) dilemmat. Näistä tyypeistä useita esiintyy fysiikan harjoitustehtävissä. Tämän tutkielman tehtävissä esiintyy logiikka- ja tarinaongelmia.

Logiikkaongelmia karakterisoi abstraktius ja päättelykyvyn testaaminen [11]. Perinteiset arvoitukset ja pulmapelit kuten Rubikin kuutio ovat esimerkkejä logiikkaongelmista. Fysiikassa logiikkaongelma voi olla esimerkiksi väite, jonka todenperäisyys täytyy päätellä käyttämällä fysiikan perusperiaatteita ja käsitteiden määritelmiä. Esimerkkinä fysiikan logiikkaongelmasta on tämän tutkielman aineistossa oleva väite: ”Kappaleen liikemäärä inertiaalikoordinaatistossa voi muuttua vaikka kappaleeseen ei vaikuttaisi yksikään voima”. Tämä on logiikkaongelma, koska käsitteiden liikemäärä, inertiaalikoordinaatisto ja voima määritelmiä hyödyntämällä voidaan päätellä väitteessä olevan ristiriita.

Tarinaongelmissa harjoiteltava sisältö liitetään tekstin avulla johonkin kontekstiin [11]. Ongelman ratkaisussa tarvittavat tiedot on osattava tunnistaa tekstistä. Lisäksi täytyy tulkita oikein tehtävässä kysytty lopputila ja keksiä reitti alkutilasta lopputilaan. Fysiikan ongelmissa konteksti voi olla esimerkiksi jokin oikean maailman systeemi, jota tutkitaan. Yhdessä tämän tutkielman aineiston tehtävistä kontekstina on suurimmalle osalle tuttu pulkkamäki ja tehtävänantona on pohtia mäenlaskua potentiaalienergian kautta.

3.2 Ongelmanratkaisuprosessi

Ongelmanratkaisun teoriaa on tutkittu 1900-luvun alkupuolelta lähtien. Duncker julkaisi vuonna 1935 aihetta käsittelevän kirjan, joka julkaistiin englanniksi vuonna 1945 [8]. Wertheimer julkaisi oman kirjansa aiheesta vuonna 1945, samana vuonna kun George Pólya julkaisi kirjansa matemaattisten ongelmien ratkaisemisesta ja yleisistä heuristiikoista [12, 13]. Duncker ja Wertheimer keskittyivät siihen, millaisen representaation ratkaisija ongelmasta luo. Representaatio tässä yhteydessä tarkoittaa sitä, miten ratkaisija ymmärtää, tulkitsee ja organisoii annettua tietoa. Vuonna 1972 Newellin ja Simonin julkaistua kirjan *Human problem solving* ongelmanratkaisun tutkimus sai jälleen suosiota ja siitä lähtien aihetta on tutkittu aktiivisesti [14].

Kuten ongelman tapauksessa myös ongelmanratkaisun voi määritellä eri tavoin ja sen tarkka määrittely on vaikeaa. Tässä tutkielmassa käytetään Mayerin ongelmanratkaisun määritelmää: *käsillä olevan tilanteen muuttaminen tavoitteeksi kognitiivisilla prosesseilla, kun ilmeistä ratkaisumetodia ei ole saatavilla* [15].

Ongelmien ratkaiseminen on luonnollisesti kontekstiriippuvaista ja erityyppisiä ongelmia on niin valtavasti, että yleispäteviä ongelmanratkaisustrategioita lienee mahdotonta löytää. On kuitenkin tunnistettu yhteisiä piirteitä, jotka ilmenevät useissa erilaisissa konteksteissa [14]. Ongelmanratkaisussa on olennaisesti kaksi osaa. Ensin ratkaisijan täytyy jollain tavalla ymmärtää ongelma ja muodostaa ongelmasta representaatio. Muodostettuaan representaation ratkaisijan täytyy valita joku etenemistapa päästäkseen alkutilanteesta haluttuun ratkaisuun.

Representaatio ongelmanratkaisun teorian yhteydessä voi tarkoittaa ongelman representaatiota, eli sitä miten ongelma on muotoiltu, tai ratkaisijan muodostamaa mallia ongelmasta, joka kokoo ratkaisijan ymmärryksen ongelman olennaisimmista asioista [14]. Tässä osiossa representaatiolla tarkoitetaan yksinomaan jälkimmäistä. Ratkaisijan luomaan representaatioon liittyy ratkaistavan ongelman kuvaus, asiat

joita käytetään ongelman kuvauksessa, säännöt jotka liittävät ongelman kuvauksen ongelmassa esiintyviin asioihin ja prosessi jossa käytetään tietoja ongelmassa kuvailluista asioista ongelman ratkaisemiseen [14].

Ongelmanratkaisustrategiat voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan, algoritmiisiin ja heuristisiin strategioihin [14]. Algoritminen strategia on, että ratkaisija toistaa tunnetun sarjan toimintoja, jotka johtavat varmasti ratkaisuun. Esimerkiksi toisen asteen yhtälön ratkaisukaavan käyttö toisen asteen polynomin juurien löytämiseen on algoritminen strategia. Heuristiset strategiat ovat yleisempiä, eivätkä välttämättä aina johda suoraan oikeaan tulokseen. Heuristiset strategiat ovat hyvä työkalu silloin, kun algoritmin käyttäminen on liian vaivalloista. Esimerkiksi shakinpelaajan ei ole mahdollista käydä läpi jokaista mahdollista siirtoa ja seurausta rajallisessa ajassa. Fysiikan ongelmat ovat niin monimuotoisia, että algoritmisten strategioiden luominen on mahdotonta. Hyvin spesifeihin ongelmatyyppeihin voidaan luoda algoritminen ratkaisustrategia, mutta sellaisen käyttäminen vaatii hyvää sisällönhallintaa tehtävätyyppien tunnistamiseksi.

Vuoden 2012 PISA-tutkimuksessa OECD on luonut ongelmanratkaisulle teoreettisen viitekehyksen [16]. Tässä teoriassa ongelmanratkaisuprosessin eri vaiheet ovat: (A) tutkiminen ja ymmärtäminen, (B) esittäminen ja formulointi, (C) suunnittelu ja toteutus sekä (D) reflektointi ja monitorointi. Näistä vaiheista ensimmäiset kaksi ovat ratkaisijan representaation luomiseen liittyviä ja jälkimmäiset kaksi ongelmanratkaisustrategian valintaan ja käyttämiseen liittyviä. Vaiheet eivät välttämättä esiinny järjestyksessä, eikä kaikki vaiheet välttämättä esiinny kaikessa ongelmanratkaisussa.

Tutkimisen ja ymmärtämisen vaiheessa tarkoitus on rakentaa ongelmassa annetuista tiedoista mielikuva. Tässä vaiheessa ongelmatilannetta tutkitaan, siitä tehdään havaintoja, sen kanssa vuorovaikutetaan, siitä etsitään tietoa ja etsitään rajoitteita tai etenemisen esteitä. Annetut tiedot sekä ongelman kanssa vuorovaikuttamalla saadut tiedot tulisi ymmärtää ja ongelman kannalta relevanttien käsitteiden ymmärtämisen tulisi tulla ilmi.

Seuraavassa vaiheessa ongelmatilanteesta muodostetaan koherentti malli. Ratkaisun kannalta oleelliset tiedot täytyy tunnistaa, valita, järjestää ja liittää olennaiseen aiempaan tietoon. Ongelmasta luodaan tässä vaiheessa representaatio käyttäen taulukkoa, graafista, symbolista tai sanallista esitystapaa ja tarvittaessa vaihdetaan eri esitystapojen välillä. Kun olennaisia tekijöitä ja näiden välisiä suhteita on tunnistettu, muodostetaan hypoteeseja ja järjestetään ja arvioidaan tietoja kriittisesti.

Suunnittelu koostuu tavoitteen asettamisesta, johon edelleen sisältyy lopullisen tavoitteen selvittäminen ja tarvittaessa välitavoitteiden tunnistaminen. Suunnitelmaan kuuluu strategia, jolla päästään lopulliseen tavoitteeseen ja askeleet, joilla sitä kohti edetään. Kun suunnitelma on valmis, se toteutetaan.

Toteutuksen aikana edistymistä monitoroidaan, eli välituloksia ja lopullista tulosta arvioidaan ja ne tarkistetaan, jotta huomataan yllättävät tilanteet ja voidaan reagoida odottamattomiin tilanteisiin, jos sille on tarvetta. Lopuksi ratkaisua reflektoidaan eri näkökulmista ja arvioidaan kriittisesti oletuksia ja mahdollisia vaihtoehtoisia ratkaisuja. Viimeistään nyt tulee huomata, jos tarvitaan lisää informaatiota tai jokin vaihe kaipaa selvennystä.

Ongelmanratkaisuprosessi fysiikan ongelmissa

Perinteisesti fysiikan opetuksessa on korostettu tehtävien ratkaisemisen tärkeyttä oppimisen takaamiseksi [17]. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kandidaatinohjelman osaamistavoitteisiinkin on kirjattu: *[Opiskelija] osaa -- käyttää numeerista matematiikkaa ja mallintamista fysiikan ongelmien ratkaisemiseen* [18]. Ongelmien ratkaiseminen on tapa toteuttaa aktiivista oppimista ja tehtävillä saadaan opiskelijat vuorovaikuttamaan opiskeltavan materiaalin kanssa.

Ongelmien ratkaisuprosessia ja sen opettamista fysiikassa on tutkittu paljon [19–22]. Useissa tutkimuksissa on analysoitu asiantuntijan ongelmanratkaisuprosessia ja tunnistettu prosesseja yhdistäviä piirteitä, joiden perusteella on luotu oppaita ja malleja ongelmanratkaisuprosessin harjoitteluun ja opettamiseen. Burkholder ym. kritisoivat näitä malleja ja esittävät, että niiden ongelma on siinä, että ne perustuvat siihen kuinka asiantuntija ratkaisee oppikirjatehtäviä [23]. Heidän mukaansa oppikirjatehtävät eivät ole asiantuntijoille todellisuudessa ongelmia. Siispä tällaisten valmiiden ratkaisustrategioiden käyttäminen voi olla noviisille vaikeaa. Fysiikan oppikirjoissa on tällaisia asiantuntijoiden ongelmanratkaisun kuvailuun perustuvia strategioita, joita kehoitetaan noudattamaan systemaattisesti fysiikan tehtäviä tehdessä [24, 25].

Jyväskylän yliopiston fysiikan ensimmäisen peruskurssin materiaaleissa on nelivaiheinen ongelmanratkaisuprosessi fysiikan ongelmien ratkaisemiseksi [26]. Tämä prosessi perustuu kurssikirjan vastaavaan yleiseen prosessiin [24]. Kurssikirjan prosessi perustuu tutkimuksiin siitä, miten asiantuntijat ratkovat oppikirjojen fysiikan ongelmia. Prosessi on seuraavanlainen

1. Visualisoi

- Representaatio
 - Realistisuus
 - Koordinaatisto
 - Hypoteesit
 - Tunnetut ja tuntemattomat
- Arvio tilanteesta ja arvaus lopputuloksesta

2. Mallinna

- Ympäristön ja systeemin vuorovaikutukset
- Oletukset
- Ratkaisuperiaate (suunnitelma)

3. Ratkaise

- Matemaattinen ratkaisu
- Ei liian aikaisin

4. Arvioi

- Lukuarvojen järkevyyt (maalaisjärki)
- Dimensiot, vektorisuureet
- Kuvaajat
- (Tutki eri tapoja esittää ongelman ratkaisu, funktion kuvaaja, ääritilanteiden tarkastelu)

Ensimmäisessä vaiheessa ongelman analysointi aloitetaan systeemin visuaalisella hahmottamisella. Tässä vaiheessa piirretään kuva tai kuvia, joista selviää ongelman kannalta olennaisia asioita. Tässä vaiheessa on tarkoitus myös valita koordinaatisto ja pohtia sitä, miten ongelmassa annettu systeemi käyttäytyy, eli tehdä hypoteeseja. Kun systeemiä hahmotellaan, tarkastellaan myös mitä systeemistä tunnetaan ja mitä täytyy selvittää. Ensimmäisessä vaiheessa voidaan myös tehdä arvaus lopputuloksesta esimerkiksi arvioimalla suuruusluokkaa tai miettimällä, miten eri parametrit vaikuttavat lopputulokseen. Tähän vaiheeseen voidaan sisällyttää myös tehtävänannon tulkinta, määritelmien tarkistaminen ja tiedonhaku. Visualisointi tulkitaan myös hie- man laajemmin tarkoittamaan erilaisten, myös sanallisen, representaation luomista. Yhteistoiminnallisessa ongelmanratkaisussa ei välttämättä ole työkaluja visuaalisen

representaation luomiseen tai jakamiseen muille, mutta sanallinen representaatio kuuluu olennaisesti yhteisen ymmärryksen luomiseen tehtävästä.

Toisessa vaiheessa valitaan tapa mallintaa annettua systeemiä. Nyt tarkastellaan erilaisia fysiikan periaatteita, joita voi hyödyntää ongelman ratkaisemiseksi. Esimerkiksi mekaniikan ongelmassa tässä vaiheessa piirretään vapaakappalekuviin ongelman kannalta merkittävät voimat ja tutkitaan, miten Newtonin lait auttavat analyysissä. Tähän vaiheeseen kuuluu yksinkertaistavien oletusten tekeminen kuten esimerkiksi se, täytyykö vastusvoimia ottaa huomioon. Kun systeemi on saatu mallinnettua, tehdään suunnitelma ratkaisuperiaatteesta, eli kuinka muodostetusta matemaattisesta mallista ratkaistaan ongelman sanelema suure. Tähän vaiheeseen voi kuulua myös tehtävänannon käsitteiden linkittäminen toisiinsa ja näiden välisten suhteiden tarkastelu, jota joutuu tekemään esimerkiksi oikein–väärin-väittämässä.

Kolmannessa vaiheessa matemaattisesta mallista, eli muodostetuista yhtälöistä ratkaistaan haluttu suure. Mikäli varsinaista matemaattista ratkaisua ei tarvitse tehtävässä tehdä, voi ratkaisuvaiheeseen kuulua muita asioita. Avoimen kysymyksen ratkaisuvaiheeseen voi kuulua ratkaisun sanallinen muotoileminen. Tehtävissä, joissa lopputila on annettu, ratkaisuvaiheeseen sisältyy erilaisten perustelujen tarkasteleminen ja niistä oikean tulkinnan valinta.

Viimeisessä vaiheessa arvioidaan ratkaisua. Tässä vaiheessa tutkitaan lukuarvojen järkevyyttä vertaamalla saatuja tuloksia oikean maailman vastineisiin. Tuloksesta tarkistetaan myös, että yksiköt vastaavat laskettua suuretta. Matemaattisesta ratkaisusta saadun lausekkeen toimivuutta voi tarkastella kuvaajien avulla ja tarkastelemalla ääritilanteita. Jos tehtävässä ei ole tarvinnut tehdä matemaattista ratkaisua, arvioidaan perustelujen fysikaalista pohjaa, järkevyyttä ja logiikkaa.

3.3 Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu

Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on kahden tai useamman henkilön pyrkimys ratkaista käsillä oleva yhteinen ongelma. Yhteistoiminnallisuutta ja sen vaikutuksia oppimiseen on tutkittu paljon, mutta yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on tutkimuskenttänä verrattain nuori [27]. Ongelmanratkaisun ja yhteistoiminnallisuuden liittäminen yhdeksi tutkittavaksi kokonaisuudeksi on vaikeaa, koska sekä ongelmanratkaisuprosessit että yhteistoiminnallisuuteen liittyvät sosiaaliset prosessit ovat monimutkaisia. Lisäksi näiden prosessien erottaminen toisistaan on haastavaa.

Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on tunnistettu yhdeksi nykypäivän tär-

keitä taitoja yhteiskunnassa ja työelämässä [28]. Sitä on tutkittu kahdessa suuressa kartoituksessa: *Assesment and Teaching of 21st Century Skills* ja OECD:n *PISA 2015* tutkimuksessa [1, 29]. Aiemmissä tutkimuksissa on tutkittu joitain yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun aspekteja, mutta niitä ei ole juurikaan testattu laajoilla heterogeenisilla joukoilla [29]. Tämän tutkimuksen kannalta olennainen on OECD:n luoma teoreettinen viitekehys, johon tässä luvussa perehdytään tarkemmin.

Käyttämäni määritelmä yhteistoiminnalliselle ongelmanratkaisulle on sama kuin PISA 2015 -tutkimuksessa [29, s. 134]:

Yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun taito on yksilön kyky osallistua tehokkaasti prosessiin, jossa kaksi tai useampi toimija yrittää ratkaista ongelmaa jakamalla ymmärrystä ja vaivannäköä ratkaisun löytämiseksi sekä yhdistää tietoja, taitoja ja pyrkimyksiä saavuttaa ratkaisu.

Tässä yksilön osallistuminen ongelmanratkaisuprosessiin nähdään koostuvan kognitiivisista ja sosiaalisista taidoista. Toimijalla tarkoitetaan sekä henkilöitä että tietokoneella simuloituja yhteistyökumppaneita. PISA -tutkimuksessa yhteistyökumppanit olivat simuloituja, jotta voitiin kontrolloida tarkasti tutkimukseen osallistujien vastaanottamia vuorovaikutuksia. Ongelmanratkaisu on yhteistoiminnallista, kun siihen osallistujat jakavat ymmärrystään kommunikoimalla keskenään ja näkevät yhtä lailla vaivaa ratkaisun löytämiseksi. Tietojen ja taitojen yhdistämisessä yksilöt kommunikoivat muille siitä, kuinka heidän henkilökohtaiset tiedot ja taidot voivat edistää ongelman ratkaisemista. Tähän liittyy myös yksilöiden kyky kuunnella muiden näkökulmia ja arvioida omia ja muiden argumentteja.

Yhteistoiminnalliseen ongelmanratkaisuun liittyy olennaisesti kolme sosiaalista taitoa, jotka täytyy liittää yksilön kognitiivisiin ongelmanratkaisutaitoihin. Nämä taidot ovat: (1) Yhteisen ymmärryksen luominen ja ylläpitäminen, (2) sopivien toimien toteuttaminen ongelman ratkaisemiseksi ja (3) ryhmän organisaation luominen ja ylläpitäminen [29]. Yksilöiden täytyy osata tunnistaa yhteistä tietoa ja muiden ryhmän jäsenten näkökulmia sekä luoda yhteinen näkemys siitä, mikä on ongelma, joka täytyy ratkaista. Tähän liittyviä vuorovaikutustaitoja ovat kysymyksiin vastaaminen ja tiedon välittäminen, yhteisen näkemyksen varmistaminen, muiden tietojen kartoittaminen ja yhteisessä ymmärryksessä olevien puutteiden korjaaminen. Tehtävän ratkaisun kannalta sopivat toimet sisältävät esimerkiksi ongelman reunaehto- jen ymmärtämisen, ryhmän yhteisen tavoitteen luomisen, tehtävien suorittamisen ja

tulosten seuraamisen. Nämä toimet voivat sisältää kommunikointitoimia monimutkaisempien näkökulmien esiintuomiseksi ja välittämiseksi ja näin optimaalisemman ratkaisun löytämiseksi. Ryhmän organisointiin liittyy ryhmän toimijoiden roolien ymmärtäminen, yhteisten sääntöjen noudattaminen, organisaation seuraaminen ja mahdollisten muutosten tekeminen ongelmien sattuessa. Roolit voivat syntyä esimerkiksi yksilöiden taustatietojen ja -taitojen perusteella. Joissain tehtävissä tarvitaan selkeää puheenjohtajaa ja joissain tilanteissa ryhmän on oltava hyvin demokraattinen. Mahdollisia ongelmia ovat erheet kommunikoinnissa ja ryhmän toiminnan optimoiminen.

Taulukossa 1 on esitetty yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun sosiaalisten taitojen ja yksilön ongelmanratkaisutaitojen liittämisen toisiinsa. Tällä tavoin yhteistoiminnalliseen ongelmanratkaisuun tulee yhteensä 12 erilaista osaa. Nämä osat vastaavat erilaisia ongelmanratkaisuprosessin vaiheita ja toimia, joita ryhmän jäsenet toteuttavat ratkaistessaan ongelmia.

Yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun etenemiseen vaikuttavat opiskelijan tausta, ydintaidot ja konteksti [29]. Opiskelijan taustaan kuuluu ennakkotiedot ja -taidot ja luonne. Ennakkotietoja ovat esimerkiksi opiskelijan tiedot matematiikasta, lukeminen ja kirjoittaminen ja mahdolliset tiedot ongelman aihepiiristä. Opiskelijan luonne vaikuttaa siihen, millainen hän on vuorovaikuttajana, millaisia asenteita hänellä on ja mikä on hänen motivaationsa. Ydintaidoilla tarkoitetaan yhteistoiminnallisuuteen ja ongelmanratkaisuun liittyviä taitoja kuten selittäminen, argumentointi, yhteistyökyky ja ongelmanratkaisun taidot (ks. luku 3.2). Konteksti sisältää ongelman piirteet ja ryhmän kokoonpanon. Nämä kaikki asiat ympäröivät yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun taitoa ja jokainen näistä asioista vaikuttaa yksilön toimintaan ryhmän ongelmanratkaisuprosessissa.

Jyväskylän yliopiston fysiikan ensimmäiselle peruskurssille osallistuvien opiskelijoiden taustat ovat moninaisia. Suurin osa fysiikan pääaineopiskelijoista tulee joko suoraan lukiosta tai lukion jälkeen välivuoden pidettyään. Osalla pääaineopiskelijoista lukion suorittamisesta voi olla pidempään ja pääsykokeen kautta voi päästä opiskelemaan myös ammattikoulutaustalla. Sivuaaineopiskelijat muodostavat heterogeenisen joukon eri aloilta. Suurimman osan sivuaaineopiskelijoista muodostaa matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan opiskelijat. Sivuaaineopiskelijat voivat olla opinnoissaan eri vaiheissa. Tähän tutkimukseen osallistui sekä pääaine- että sivuaaineopiskelijoita, mutta tämän tarkempaa taustoitusta ei tehty.

Taulukko 1. Yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun taitojen matriisi PISA 2015 tutkimuksessa [29].

	(1) Yhteisen ymmärryksen luominen ja ylläpitäminen	(2) Sopiviin toimiin ryhtyminen ongelman ratkaisemiseksi	(3) Ryhmän organisaation luominen ja ylläpitäminen
(A) Tutkiminen ja ymmärtäminen	(A1) Ryhmän jäsenten näkökulmien ja kykyjen selvittäminen	(A2) Löytää yhteistoiminnallisen vuorovaikutuksen tyyppi ja tavoitteet ongelman ratkaisemiseksi	(A3) Ongelman ratkaisemisessa tarvittavien roolien ymmärtäminen
(B) Representaatio ja formulointi	(B1) Yhteisen representaation rakentaminen ja ongelman merkityksestä neuvottelemine (yhteinen maaperä)	(B2) Toteutettavien tehtävien tunnistaminen ja kuvailu	(B3) Roolien ja ryhmän organisaation kuvailu (kommunikoinnin säännöt)
(C) Suunnittelu ja toteuttaminen	(C1) Tehtävien suorittamisesta kommunikoinninen ryhmän jäsenten kanssa	(C2) Suunnitelmien toteuttaminen	(C3) Kommunikoinnin sääntöjen noudattaminen (esim. ryhmän jäsenten kannustaminen suunniteltujen tehtävien tekemiseen)
(D) Monitorointi ja reflektointi	(D1) Yhteisen ymmärtämisen monitorointi ja korjaaminen	(D2) Toimien monitorointi ja ongelman ratkaisemisen onnistumisen arviointi	(D3) Ryhmän organisaation ja roolien monitorointi, palautteen antaminen ja muokkaaminen

4 Tutkimuksen toteuttaminen

4.1 Tutkimuskysymykset

Yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun tutkimiseen on luotu erilaisia viitekehyksiä, joista tällä hetkellä suurimmat ovat PISA CPS 2015 [29] ja Assessment and Teaching of 21st Century skills [30]. Vuoden 2015 PISA-tutkimuksen viitekehys on todennäköisesti kattavimmin kansainvälisesti testattu. Kyseinen viitekehys luotiin aiempiin tutkimuksiin pohjautuen ja sitä on sittemmin hyödynnetty muissa tutkimuksissa kuten artikkelissa [31]. Tässä tutkielmassa tutkitaan sitä kuinka OECD:n viitekehys soveltuu yliopiston ensimmäisen fysiikan kurssin ryhmätehtävien prosessin kuvailuun. Toinen kiinnostava seikka on se, että käyttävätkö fysiikan kurssin opiskelijat kurssilla opetettua ongelmanratkaisustrategiaa systemaattisesti ja kuinka kurssimateriaaleissa esitellyn strategian eri vaiheet näkyvät opiskelijoiden ongelmanratkaisuprosesseissa. Tutkimuskysymyksiksi valitaan:

1. Voiko OECD:n vuoden 2015 PISA-tutkimusta varten kehittämää yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun viitekehystä käyttää ryhmätehtävien tekemisen kuvailuun?
2. Miten ryhmien ongelmanratkaisuprosessit vertautuvat kurssilla opetettuun ongelmanratkaisustrategiaan?

4.2 Tutkimusasetelma

Kurssi

Tutkimukseen osallistuneet ryhmät olivat Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen peruskurssilla ”Mekaniikan perusteet” syksyllä 2020. Kurssin opetussuunnitelman mukaiset sisällöt olivat [32]

[1] Liikkeen ja voimien kuvaaminen vektoreilla; [2] Newtonin lait; [3] Liikemäärän ja pyörimismäärän periaatteet; [4] Energiaperiaate; [5] Newtonin gravitaatiolaki.

Kurssin opetussuunnitelman mukaiset osaamistavoitteet olivat [32]

[1] Opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa kuvailla pistemäisen kappaleen liikettä sekä analysoida ja mallintaa pistemäisen kappaleen kokemat voimat, tehdä tarvittavia fysikaalisesti järkeviä oletuksia, muodostaa ja ratkaista kappaleen liikeyhtälön sekä tarkastella ratkaisun mielekkyyttä. [2] Opiskelija osaa soveltaa liikemäärän ja energian säilymlakeja monen kappaleen ongelmissa sekä hyödyntää työn ja potentiaalienergian käsitteitä pistemäisten kappaleiden ongelmissa. [3] Hän osaa analysoida jäykkien kappaleiden statiikkaa sekä pyörivien ja vierivien jäykkien symmetristen kappaleiden dynamiikkaa. [4] Hän osaa myös soveltaa Newtonin lakeja taivaanmekaniikkaan.

Jyväskylän yliopiston opintohallintajärjestelmässä Sisussa olevassa kurssin esitteessä näiden osaamistavoitteiden lisäksi oli

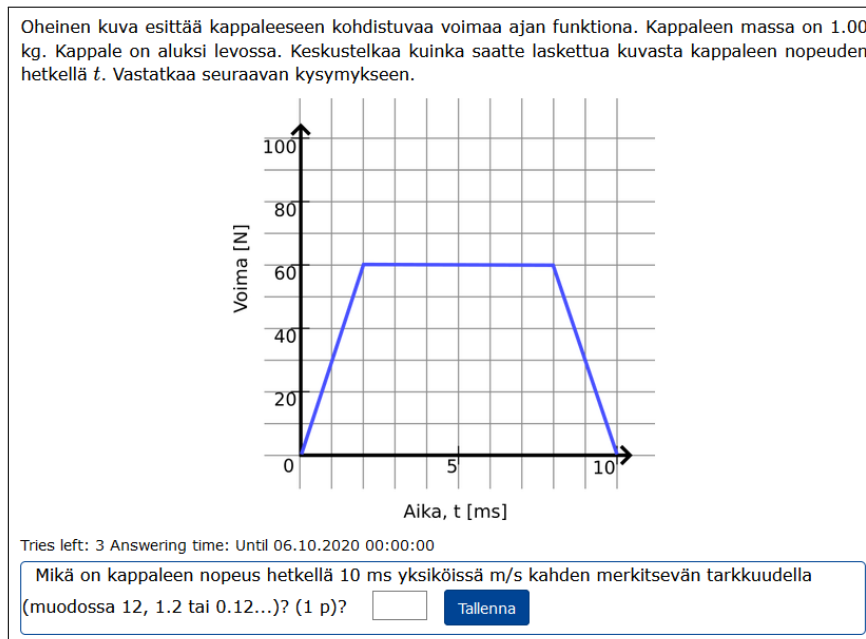
[6] Opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa tulkita suoraviivaista kommentoitua tietokoneohjelmaa ja muokata sitä annetun ongelman perusteella. [7] [Opiskelija osaa] toimia rakentavasti sekä arvioida omaa ja ryhmän toimintaa.

Sisussa mainitaan myös erikseen kurssilla olevia matematiikan ja numeriiikan sisältöjä

Matematiikan ja numeriiikan sisältöjä: vektorit, derivointi, yksi- ja moniulotteinen integrointi, yksinkertaisten valmiiden numeeristen ohjelmien käyttö fysiikassa.

Kurssin toteutukseen kuului suuri määrä sähköisiä tehtäviä. Kurssiin kuului viikoittainen ryhmätehtäväsarja, jonka kurssilaiset suorittivat kurssin alussa jaetuissa ryhmissä. Kurssin pääasiallisena digitaalisena alustana toimi TIM (<https://tim.jyu.fi/>), Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnassa kehitetty ympäristö, jonka tarkoituksena on tarjota mahdollisuus interaktiivisten materiaalien tuottamiseen. Kurssi toteutettiin laatu-aikaoppiminen-mallilla (ks. luku 2.1).

Kurssin aikana Jyväskylän yliopistossa oli COVID-19:n vuoksi siirrytty etäopetukseen kaikilta osin kuin se oli mahdollista. Tämänkin kurssin osalta opetus järjestettiin etänä. Pienryhmien tapaamiset oli mahdollista toteuttaa myös läsnäolevana. Tässä tutkimuksessa toinen ryhmistä tapasi läsnä ja toinen etänä Zoom-ohjelman välityksellä.



Kuvio 2. Ensimmäisen tehtävän tehtävänanto.

Tehtävät

Tutkimuksessa ryhmät ratkaisivat fysiikan kurssiin kuuluvia tehtäviä. Tehtävät olivat ensimmäisen fysiikan kurssin viidennen viikon tehtäviä. Tehtävät liittyvät kurssin sisältöihin 1, 2, 3, 4 ja ”yksinkertaisten valmiiden numeeristen ohjelmien käyttö fysiikassa”. Tehtävät tukevat kurssin osaamistavoitteita 1, 2, 5 ja 6. Tehtävät ovat olleet tällä kurssilla lähes samoja jo aiemmilla kursseilla, eli niitä on testattu ja kehitetty opetuskäytössä.

Ensimmäinen tehtävä liittyy kuvaajan tulkitsemiseen ja voiman määritelmään. Tehtävänanto on esitetty kuvassa 2. Viitataan tähän tehtävään jatkossa nimellä ”nopeustehtävä”. Kuvaajassa on esitetty kappaleeseen kohdistuva voima ajan funktiona. Kappaleen massa on 1 kg, joten kuvaaja on vastaa yksi yhteen kiihtyvyyden kuvaajaa. Tehtävänä on ensin keskustella siitä, miten tästä kuvaajasta saadaan selville kappaleen nopeus hetkellä t ja sitten laskea kappaleen nopeus ajanhetkellä $t = 10$ ms. Tehtävässä tulee oivaltaa, että voiman määritelmästä $F = ma$ saadaan kappaleen kiihtyvyys $a = F/m$ ja kiihtyvyydestä saadaan nopeus integroimalla. Esitetty funktio on siinä määrin yksinkertainen, että tarvittavan integraalin voi laskea laskemalla suorakulmion pinta-ala.

Tehtävän toisessa osassa on esitetty neljä oikein–väärin-väittämää ja yksi humoristinen väite, jota ei pisteytetty. Väittämät liittyvät liikemäärän säilymiseen ja

elastisiin ja epäelastisiin törmäyksiin. Väittämissä testataan inertiaalikoordinaatiston käsitteen sisäistämistä, epäelastisen törmäyksen määritelmän tuntemista, elastisen törmäyksen ja kineettisen energian määritelmän hallintaa ja systeemin rajaamista ja systeemin liikemäärän muuttumisen käsitettä. Pisteytettävät väitteet olivat

1. Kappaleen liikemäärä inertiaalikoordinaatistossa voi muuttua vaikka kappaleeseen ei vaikuttaisi yksikään voima.
2. Kaksi avaruusaluusta törmäävät täysin epäelastisesti. *Väite*: alukset jäävät kiinni toisiinsa.
3. Kaksi palloa törmäävät täysin elastisesti eli kimmoisasti. On olemassa inertiaalikoordinaatisto, jossa pallojen kineettisten energioiden summa on nolla.
4. Systeemin muodostaa yksin tennispallo. Tennispallo heitetään seinään vauhdilla v , josta se kimpoaa takaisin samalla vauhdilla v . *Väite*: Törmäyksessä systeemin (eli tennispallon) liikemäärä säilyy.

Ensimmäinen väite on epätosi, koska inertiaalikoordinaatistossa Newtonin lait pätevät, joten voiman määritelmän mukaisesti voima tarkoittaa liikemäärän muutosta. Toinen vastaus on tosi ja seuraa suoraan täysin epäelastisen törmäyksen määritelmästä. Kolmas väite on epätosi, sillä pallojen kineettisten energioiden summa on nolla vain sellaisessa inertiaalikoordinaatistossa, jossa molemmat pallot ovat paikoillaan. Näin voi olla vain, jos pallot liikkuvat täsmälleen samalla nopeudella, mikä ei ole mahdollista täysin elastisen törmäyksen jälkeen. Neljäs väite on epätosi, koska systeemiin vaikuttaa ulkoinen voima, jolloin sen liikemäärä ei säily.

Seuraavassa tehtävässä on tarkoitus tutkia valmista skriptiä, joka laskee voimakentän tekemän työn kappaleeseen, joka liikkuu skriptissä määriteltä polkua pitkin ja esittää voimakentän ja polun graafisesti. Skriptissä on määriteltä kolme erilaista voimakenttää ja kolme erilaista polkua, joiden päätepisteet ovat samat. Polkuja muuttamalla skriptillä voi siis tutkia, ovatko annetut voimakentät konservatiivisia vai eivät. Tehtävän aluksi ryhmien on tarkoitus keskustella siitä, mitä he tietävät potentiaalienergiasta ja siitä, milloin voimalle voi määrittää potentiaalienergian. Tehtävän ensimmäisessä pisteytettävässä kohdassa täytyy tarkistaa, onko annettu voimakenttä konservatiivinen. Kokeilemalla eri polkuja voi todeta, että voiman tekemä työ muuttuu, joten voimakenttä ei ole konservatiivinen. Tehtävän toisessa osassa on avoin kysymys tehtävänannolla ”tarkastelkaa voimia force1 ja force2; laskekaa

voiman tekemä työ kaikilla poluilla curve1, curve2 ja curve3.” Tässä on tarkoituksena siis opetella muuttamaan valmista skriptiä annettujen ohjeiden mukaisesti ja selittää lyhyesti tehtyjä havaintoja.

Viimeinen tehtävä on kontekstirikas avoin kysymys, jonka tarkoituksena on harjoitella käyttämään potentiaalienergian käsitettä ja kuvailemaan luonnossa tapahtuvaa liikettä, kun kontekstina on tuttu pulkkamäki. Keskustelua ohjataan valmiilla kysymyksillä. Tehtävänanto on kokonaisuudessaan kuvassa 3.

4.3 Aineiston kerääminen

Tutkimuksen aineisto koostuu kahdesta videosta, jotka nauhoitettiin autenttisissa pienryhmien ongelmanratkaisuprosesseissa. Näiden videoiden lisäksi käytössä oli ryhmien vastaukset tehtäviin ja aikaleimat ajoista, jolloin tehtäviin oli vastattu. Ryhmät videoivat tehtävien tekemisen Zoom-ohjelmistolla siten, että videoilla näkyy web-kameran kuva ja se, mitä kuvaajan tietokoneen ruudulla näkyy.

Tutkimukseen pyydettiin osallistujia nimenomaan tältä fysiikan kurssilta sen takia, että tällä kurssilla on toteutustapana laatuaikaoppiminen, jonka tutkiminen on opetuksen kehittämisen näkökulmasta ajankohtaista. Laatuaikaoppimisen malliin kuuluu pienryhmässä tehtävät harjoitukset, joten konteksti oli hyvä ryhmien toiminnan tutkimista varten.

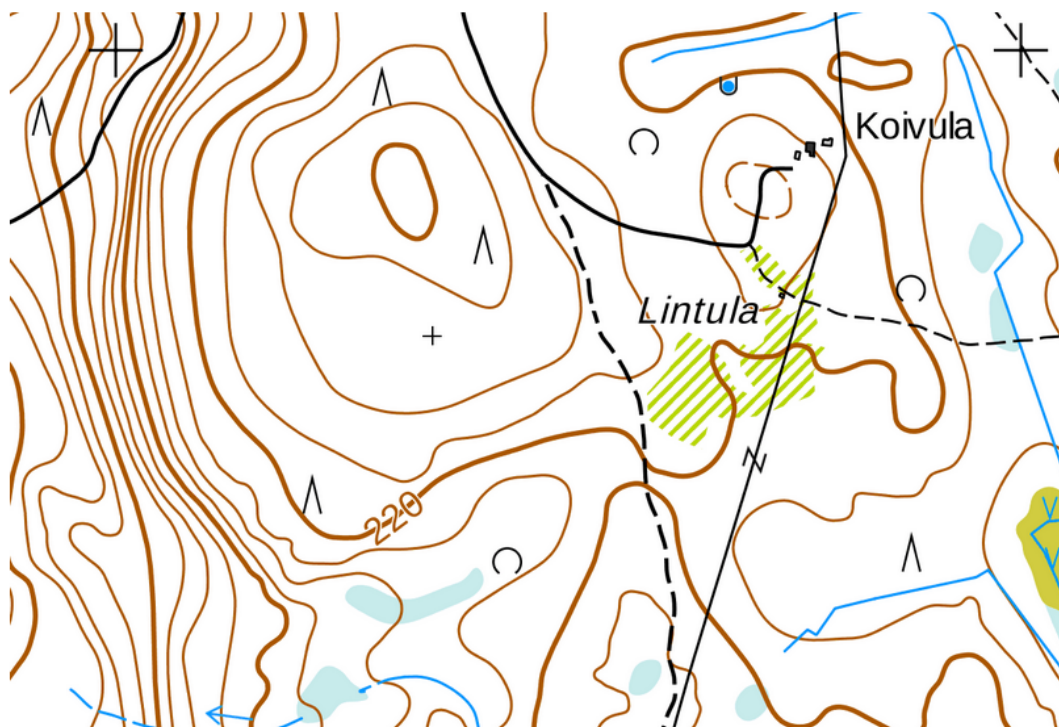
Aineisto kerättiin kurssin viidenneltä viikolta. Tehtävien yhteydessä oli tutkimuslupakysely sekä tutkimuksen tiedot osallistujia varten. Samassa oli myös ohjeistus tehtävien tekemisen taltioinnista ja taltiointien lähettämisestä tutkijalle. Tutkimukseen päätti osallistua kaksi ryhmää ja molempien ryhmien toimintaa analysoitiin. Aineistonkeruu oli neljäs kerta, kun ryhmät kokoontuivat tekemään ryhmätehtäviä.

3. Korkeuskäyrät (1 p)

Tarkastellaan retkeilijään vaikuttavaa maan gravitaatiovoimaa. Koska retkeilijällä ei ole avaruusaluusta, niin maan häneen kohdistama gravitaatiovoima on $\vec{F} = -mg\hat{j}$, kun y -koordinaatti kasvaa ylöspäin. Voima on konservatiivinen, joten määritään sille potentiaalienergian muutos, kun siirytään korkeudesta y_0 korkeudelle y :

$$U(y) - U(y_0) = - \int_{y_0}^y (-mg) dy = mgy - mgy_0$$

Oheinen kuva on osa maastokarttaa. Kartassa on korkeuskäyrät. Voimme tulkita korkeuskäyriä siten, että samalla korkeuskäyrällä oltaessa yllä esitetty potentiaalienergian lauseke, $U(y)$, on vakio. Korkeuskäyrät esittävät siis gravitaatiopotentiaalienergian tasa-arvokäyriä vaakatasossa.



Korkeuskäyriä kartassa

Kuvitellaan, että on talvi ja kuvan alue on hangen peitossa ja olennaisesti puuton. Valitkaa jokin kohta kartalta ja kuvitelkaa istuvan pyöreässä liukurissa. Mihin suuntaan liukuri lähtee liukumaan? Miksi? Jos potentiaalienergia kirjoitettaisiin uv -koordinaatistossa, jossa u osoittaa itään ja v pohjoiseen, niin mitä erityistä tapahtuu potentiaalienergialle siinä suunnassa, mihin liukuri lähtee kiihtymään?

Answering time: Until 06.10.2020 00:00:00

Vastatkaa yllä esitettyihin kysymyksiin muutamalla lauseella. Kaikki saavat 1 pisteen.

Tallenna
Copy
Wrap
70

Kuvio 3. Kolmannen tehtävän tehtävänanto.

4.4 Aineiston analysointi

Analysoin aineiston teorialähtöisellä sisällönanalyysillä. Tarkoituksenani oli testata valmiin teoreettisen viitekehyksen soveltuvuutta paikallisesti. Litteroin ja koodasin aineiston videot siten, että poimin niistä kohdat, joihin voi liittää OECD:n viitekehyksessä esiintyvät ongelmanratkaisuprosessin vaiheet. Koostin näistä vaiheista kuvaajat, joiden avulla voi hahmottaa ongelmanratkaisuprosessin etenemistä ajan funktiona.

Koodasin saman aineiston myös käyttämällä kurssilla opetettua ongelmanratkaisustrategiaa. Tämän perusteella kirjoitin sanallinen kuvaus siitä, miten prosessin eri vaiheet ilmenevät keskusteluissa ja mitä vaiheita ryhmät käyvät läpi.

5 Tulokset

Tässä luvussa esittelen aineiston analysoinnin tulokset. Käsittelen tutkimuskysymysten kannalta relevantit tulokset järjestyksessä. Nostan esiin keskustelunpätkiä, joiden avulla selvennän tekemääni litterointien koodausta. Tarkastelen ongelmanratkaisuprosesseja tehtäväkohtaisesti ensin OECD:n viitekehyksen näkökulmasta ja lopuksi kurssimateriaaleissa olevan ongelmanratkaisustrategian näkökulmasta.

5.1 Nopeustehtävä ja oikein–väärin-väittämät

Näistä tehtävistä aineistoa on vain toisen ryhmän osalta. Ryhmälle helpompien tehtävien kohdalla ongelmanratkaisu etenee siten, että aikaa vietetään eniten vaiheessa A: ”tutkiminen ja ymmärtäminen”, toiseksi eniten vaiheessa B eli ”representaatio ja formulointi” ja vähiten vaiheessa D eli ”monitorointi ja reflektointi”. Ryhmälle vaikean ongelman kohdalla ryhmä viettää selvästi eniten aikaa vaiheessa A ja muihin vaiheisiin päästään vain hetkellisesti. Yhteistoiminnallisuuden osalta ajan jakautuminen riippuu enemmän tehtävätyypistä. Vaikeassa tehtävässä päästään toimien toteuttamiseen (vaihe 2) vasta hyvin myöhään.

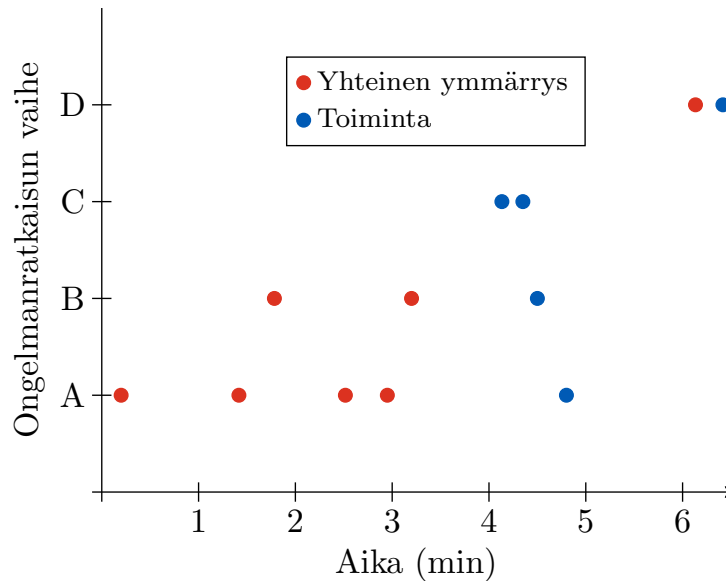
Nopeustehtävä

Ryhmän 1 nopeustehtävän ratkaisuprosessin eteneminen on esitetty kuvassa 4. Nopeustehtävän ratkaisu etenee melko suoraviivaisesti ja ryhmä saa ongelman ratkaistua oikein. Aluksi kartoitetaan sitä, mitä tehtävässä kysytään ja mitä tietoja ryhmän jäsenillä on. Tässä vaiheessa tehtävästä tehdään huomioita ja kommunikoidaan näitä huomioita ryhmälle. Ajanhetkellä 1,4 minuuttia käytiin tällainen keskustelu

Opiskelija 1: *Joo kuinka saadaan laskettua, tota, toi, kappaleen nopeus ajanhetkellä tee*

Opiskelija 2: *Mm. Tässähän on se, öö, tuo tuo, tosson voima siin y-akselil ja aika siin x-akselil niin siitähän saa integraalist sen impulssin*

O 1: *Jep*



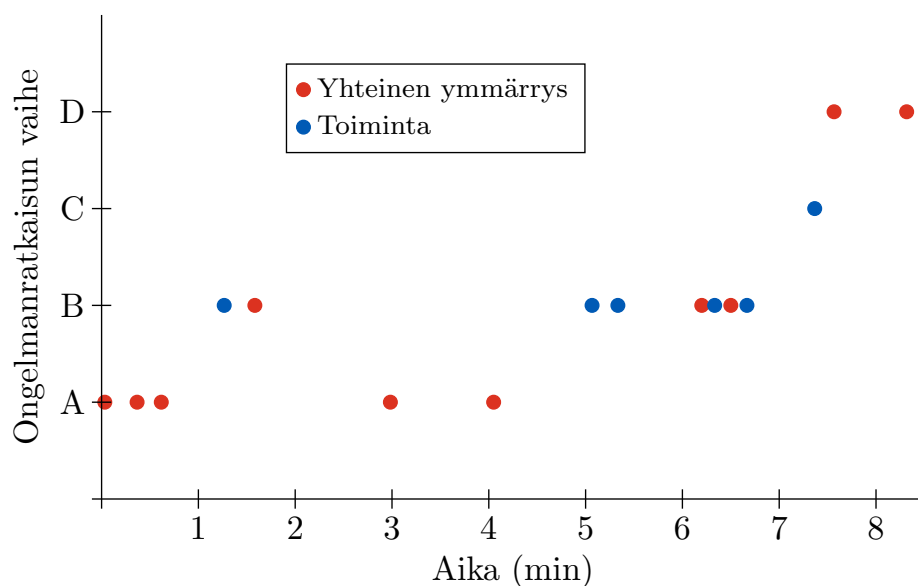
Kuvio 4. Ryhmän 1 nopeustehtävän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” (sarake 1) ja sininen vaihetta ”toiminta” (sarake 2) (taulukko 1).

O 2: Eli pinta-alasta, ni, sit, jos ois viiden sekunnin kohdalla, niin siihen asti vaan se pinta-ala, mut sit se impulssi pitäis muuttaa nopeudeks ni

Tässä opiskelija 1 aloittaa keskustelun tehtävästä tuomalla esiin tehtävänannossa olevan kysymyksen. Opiskelija 2 jatkaa keskustelua tekemällä huomioita tehtävässä annetusta kuvaajasta ja jakaa ryhmälle tiedon, miten kuvaajasta saadaan määritettyä impulssi. Hän jatkaa tunnistamalla ongelmanratkaisun seuraavan vaiheen, eli miten impulssi muutetaan nopeudeksi. Keskustelussa siis aloitetaan vaiheesta A1, ryhmän jäsenten näkökulmien ja kykyjen selvittäminen, esittämällä tehtävänannon kysymys mahdollisesti sen takia, että ryhmäläisiltä saataisiin vasteena ehdotuksia tai näkökulmia ratkaisun löytämiseksi. Opiskelija 2 jakaa omat huomionsa ja siirtyy ratkaisussa vaiheeseen B2, toteutettavien tehtävien tunnistaminen ja kuvailu, tunnistamalla suoritettavan vaiheen tehtävän ratkaisussa.

Tehtävän ratkaiseminen jatkuu siten, että opiskelijat löytävät yhteyden liikemäärän ja impulssin välillä ja kukin tahollaan laskee kysytyn nopeuden. Ratkaisun loppuvaiheessa päästään ongelmanratkaisun vaiheeseen D, eli saatuja tuloksia arvioidaan. Tulosten arviointi jää kuitenkin lyhyeksi, kuten huomataan keskustelusta:

Opiskelija 1: Mä sain nolla pilkku nelkytkahexsan metriä sekunnissa



Kuvio 5. Ryhmän 1 kolmannen oikein–väärin-väittämän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” ja sininen vaihetta ”toiminta” (taulukko 1).

Opiskelija 3: *Joo niin määki, mut se jotenki kuulostaa vähä hassulta*

O 1: *Nii*

O 3: *Tota, nii*

Lopputuloksen monitorointi jatkuu sillä, että ryhmän jäsenistä useampi sai saman lopputuloksen, joten sitä voi kokeilla, koska tehtävä sallii kolme vastausyritystä.

Oikein–väärin-väittämät

Oikein–väärin-väittämien kolmas väite aiheutti ryhmälle haasteita. Ryhmän jäsenet yrittävät muistella, mitä aiheesta sanottiin opetusvideoilla tai luennolla. Liike-energia ja liikemäärä menevät heillä kuitenkin sekaisin ja he ajattelevat virheellisesti liike-energiaa vektorisuureena:

O 1: *mm – Niinku toihan on kans niinku, vektorisuureina, niin sitte just jos ne on päin, niinku, tulee päinvastoin näin (näyttää) niin sit se ainaki on nolla, mutta tota, mä en tiedä noissa muissa tapauksissa*

Tämä virhe johtaa lopulta myös väärään vastaukseen. Kun ryhmä saa vastaukselle selityksen, he siirtyvät ongelmaratkaisussa vastauksen reflektointiin. Tämäkin vaihe

aiheuttaa hankaluuksia, kun ryhmäläiset eivät lue oikean vastauksen perustelua huolellisesti.

O 1: (lukee) *”Jos törmäys ei ole täysin epäelastinen, niin kappaleet eivät jää kiinni toisiinsa, jolloin niillä ei voi olla sama nopeus”*

O 2: *Niin ei kai toi oo totta just, voi *****

O 1: *Niillä ei voi olla sama... What?*

O 2: *No se kun ne kimpoo toisistaa poies ni ei ne voi pysyy nollassa nopeus en tiää*

O 1: *Hääh?! Mut, mitä. Mut siis täähä, täähä niinku, tää sivuuttaa*

O 3: *Ei vastaa kyllä tohon *hehheh**

O 1: *Tää sivuuttaa kyllä kokonaan sen*

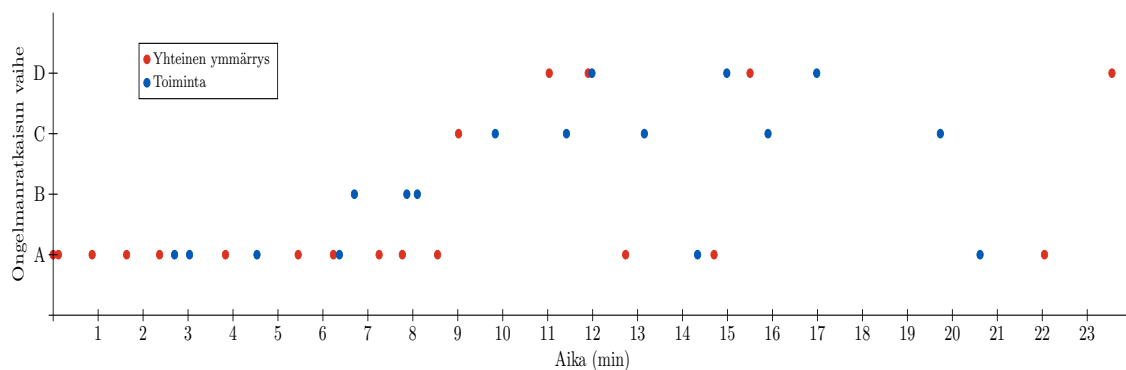
O 3: *Onks se siihen yläkohtaan, tarkotettu, eiks se ollu se epäe-*

Ryhmäläisille jäi käsitys, että heidän vastauksensa oli oikein ja tehtävän tekijällä on sattunut virhe. Tehtävä oli ryhmälle käsitteellisesti vaikea ja ryhmän ongelmanratkaisustrategia oli käsitellä väitettä kysymyksenä, johon kurssin materiaaleista löytyy suora vastaus sen sijaan, että he olisivat tarkistaneet määritelmät ja pohtineet oman ratkaisuyrityksensä järkevyyttä. Tehtävänratkaisun etenemisen kuvaajissa vaikeudet näkyvät siinä, että ongelmanratkaisun vaiheissa ei edetä suunnitteluun ja toteutukseen (kuva 5). Yhteistoiminnallisuuden mielessä ryhmä ei juurikaan pääse toimien toteuttamisen vaiheeseen.

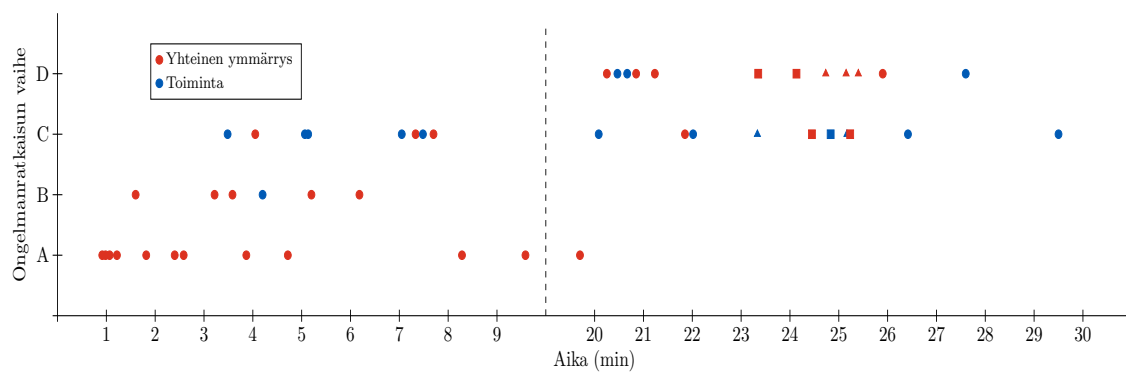
5.2 Skriptitehtävä

Skriptitehtävän osalta ryhmien toimintaa voi vertailla. Prosessit on esitetty ryhmän yksi osalta kuvassa 6 ja ryhmän kaksi osalta kuvassa 7. Kuvaajista voi huomata, miten erilaisten prosessien kautta ryhmät tehtävää ratkaisivat. Ryhmä 1 viettää aluksi kauan aikaa ongelmanratkaisun vaiheessa ”tutkiminen ja ymmärtäminen”. Ryhmä 2 liikkuu vastaavalla ajanjaksolla paljon vaiheiden A, B ja C välillä luoden yhteistä ymmärrystä, representaatiota ja ryhtymällä toimiin.

Ryhmät saivat tehtävän ratkaistua ja päätyivät osittain oikeisiin johtopäätöksiin. Molemmilla ryhmillä oli kuitenkin havainnoissaan huomioita, joista ilmenee että aiheesta on jäänyt epäselvyyksiä. Ryhmän yksi keskustelusta ja kirjallisesta vastauksesta ilmenee, että he ajattelevat kaikkien konservatiivisten voimakenttien näyttävän samalta kuin gravitaation muodostama kenttä. Molemmat ryhmät keskustelevat



Kuvio 6. Ryhmän 1 skriptitehtävän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” ja sininen vaihetta ”toiminta” (taulukko 1).



Kuvio 7. Ryhmän 2 skriptitehtävän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” ja sininen vaihetta ”toiminta” (taulukko 1). Katkoviiva osoittaa kohtaa, jonka aikavälillä nauhoitukselta ei kuulu tehtävänratkaisun kannalta olennaista keskustelua. Tehtävän loppuvaiheessa ryhmä jakautuu kahdeksi pariaksi työstämään sovittuja osaongelmia. Toista paria merkitsen kolmiolla ja toista neliöllä. Noin 26 minuutin kohdalla ryhmä kokoaa huomiot yhteisesti.

konservatiivisen kentän käsitteestä, mutta sen määritelmää ei tarkisteta (ryhmä 1) tai määritelmää ei ymmärretä (ryhmä 2). Käsitteellinen ongelma johtuu ainakin osittain siitä, että polkuintegraali on opiskelijoille uusi käsite.

Kentän konservatiivisuuden tarkistaminen

Ryhmän 1 prosessi alkaa siten, että oletettavasti ryhmän jäsenet lukevat tehtävänannon ensin itsekseen. Tämän jälkeen ryhmän jäsenet alkavat tutkia tehtävässä annettua koodia. Puheenjohtaja ajaa koodia ja vaihtaa tutkittavaa käyrää. Keskustelu siirtyy ensimmäiseen kysymykseen. Tällöin eräs ryhmäläinen pohtii konservatiivisen kentän määritelmää

O 4: *Niin tavallaan ku me saadaan tost eri noit arvoi ni eiks se sit tarkota justii että, että tota sillä on väliä että mitä, mitä kautta se niinku kulkee tossa*

Tämän jälkeen sama opiskelija kysyy: ”Mitäs tässä nyt ees kysyttiin?”, mutta ei saa suoraa vastausta. Konservatiivisesta voimasta käydään seuraavanlainen keskustelu:

O 4: *Hmm. Niin miten päis se nyt menikää, et minkälainen voima oli konservatiivinen ja mikä ei?*

O 1: *Konservatiivinen*

O 3: *Konservatiivinen voima ni se on sama ku se on menee vaa a:sta b:hen kulkematta ihan sama, mitä reittiä.*

O 4: *Joo*

O 1: *Joo*

O 4: *Eiks toi sitte niinku oo totta?*

Tässä ryhmä on ongelmanratkaisun vaiheessa B ja ryhmä saavuttaa konsensuksen siitä, että he tietävät nyt, mikä on konservatiivinen kenttä. Heidän ymmärryksensä on riittävä ja he vastaavat kysymykseen oikein.

Ryhmä 2 aloittaa tämän tehtävän pohtimalla tehtävänannon kysymystä potentiialienergiasta. Tämän jälkeen he ajavat koodin ja pohtivat, mitä koodin tuottama kuvaaja heille kertoo. Kun he pääsevät keskustelussaan pohtimaan itse kysymystä, he käyvät tällaisen keskustelun:

O 1₂: *Mut minkälainen on konservatiivinen voimakenttä*

O 2₂: *Miten se nyt meni se konservatiivinen*

O 1₂: *Onks se jotenki niinku suora, siis mulla tulee vaan semmonen ihan perus suoraviivanen voima joka ei riipu siitä reitistä oliko se sillee? Ei riipu, riipu siitä reitistä, mikä kuletaan?*

O 2₂: *Voima on konservatiivinen, jos se riippuu vain kappaleen paikasta ja sen tekemä työ kappaleen siirtyessä tietyistä paikasta toiseen on riippumaton kappaleen kulkemasta reitistä*

O 1₂: *Joo, joo just tällee. – Eli ihan sama mitä siinä välissä tapahtuu okei mut*

Toisin kuin ryhmä 1, ryhmä 2 tarkistaa konservatiivisen kentän tarkan määritelmän ja se todetaan yhteisesti ääneen. Ryhmä päätyy oikeaan vastaukseen, mutta seuraavaan tehtävään siirtymisen sijasta yksi ryhmäläisistä vaatii perustelua vastaukselle. Tässä ryhmä on ongelmanratkaisun vaiheessa D. Kuvaaajassa tämä vaihe on noin 20-21 minuutin kohdalla (kuvio 7). Perusteluissa palataan vielä konservatiivisen kentän määritelmään ja tarkistetaan, että varmasti polkua vaihtamalla työ muuttui, eli kenttä ei ole konservatiivinen.

Voimakenttien vertailu

Molemmat ryhmät ymmärsivät konservatiivisen kentän käsitteen riittävän hyvin vastatakseen tähän kysymykseen. Ryhmät tiesivät, että jos eri poluilla tulee voimakentässä sama työ, voimakenttä on konservatiivinen.

Ryhmän 1 ratkaisu etenee siten, että ryhmän sihteeri ajaa koodia tehtävässä vaadituilla funktioilla ja kirjoittaa saamansa työn arvot ylös (kuvio 6, noin 8,5:n minuutin kohdalta eteenpäin). Hän kommunikoi suorittamistaan toimista ja näin ollen ryhmä on ongelmanratkaisuprosessin vaiheessa C, suunnittelu ja toteuttaminen. Kun ryhmäläiset huomaavat, että eri polkujen antamat työt eroavat toisistaan hyvin vähän, he pohtivat kentän konservatiivisuutta esimerkiksi näin:

O 1: *Jep. Mietin kans et tää niinku vaikuttas enemmän konservatiiviselta voimalta, mutta toisaalta jos sillä ei pitäis olla mitään väliä sillä, sillä tota, polulla ja tää on kuitenkin tota, niinku, tietokoneella laskettu niin sen niinku pitäis olla täydellinen vastaus siinä nii*

Tässä ollaan prosessin vaiheessa D, kun reflektoidaan saatua tulosta ja sen merkitystä. Tässä vaiheessa fysiikan opintoja opiskelijoilla ei ole yleisesti esitietoja numeerisista

menetelmistä. Näiden tietojen puuttuminen saa opiskelijat epävarmoiksi omista havainnoistaan. Oikeaa päättelyä sivutaan keskustelussa, kun sihteeri on kirjoittamassa vastausta

*O 1: Tulokset ovat kuitenkin häiritsevän lähellä toisiaan samalla voimalla–
Toisaalta öö. Nii. Toisaalta ei mut nii no jos neki on approksimoitu sillei.
Se voi kyl senki takia heittää, ku jos se vaan ynnää ne alkukohat yhteen.*

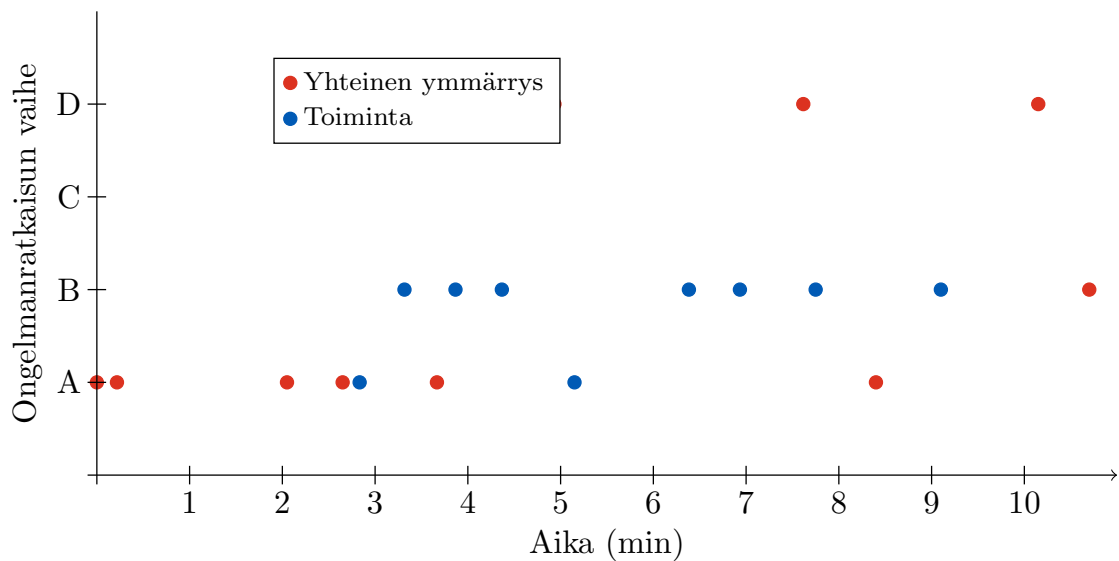
Ryhmä 2 jakautuu tätä tehtävää tehdessä kahdeksi pariaksi, jotka ajavat koodia ja tekevät havaintoja yhtä aikaa (kuvio 7, noin 20 minuutin kohdalta eteenpäin). Varsinaista työnjakoa ei tehdä. Ryhmä kertoo havainnoistaan hyvin pinnallisesti vain sen, miltä polut näyttivät ja miten koodi toimi. He kirjasivat vastaukseen myös saamiensa töiden arvot ja kommentin ”Curven ja forcen muutokset vaikuttivat vain vähän toisiinsa”. Oletan, että he tarkoittivat tällä kommentilla sitä, että polun muutokset vaikuttivat samalla voimalla hyvin vähän tehtyyn työhön. Ryhmä ei vastannut tehtävänannon kysymykseen ”Vaikuttaako voimakenttä konservatiiviselta tulosten perusteella?”.

5.3 Pulkkamäki

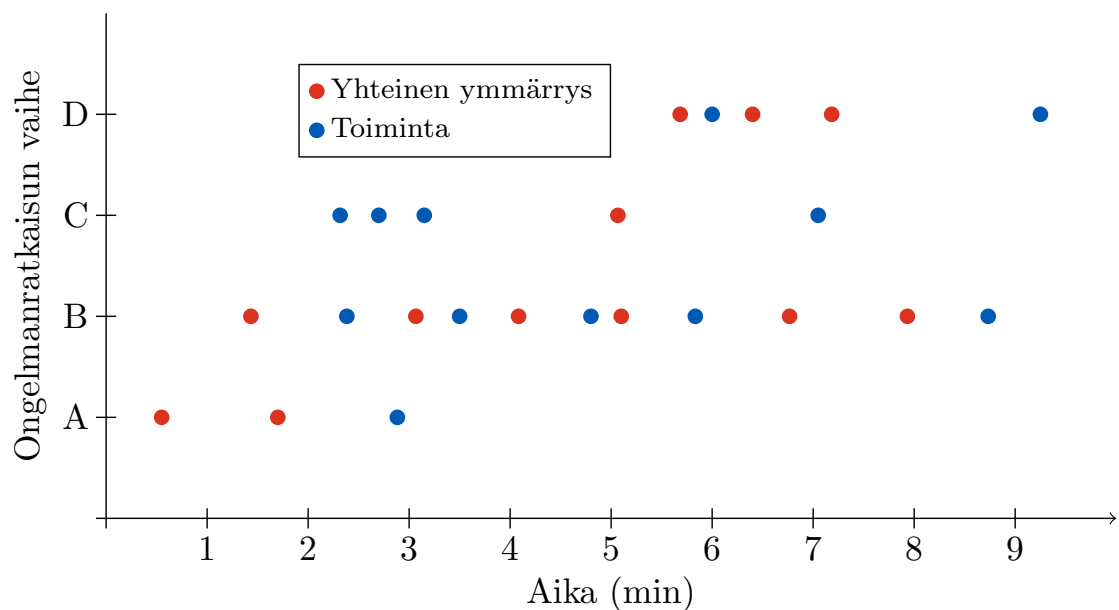
Tässäkin tehtävässä ryhmien prosessit ovat hyvin erilaisia. Kuvaajista (kuvat 8 ja 9) huomataan, että ryhmän 2 prosessi on monipuolisempi ja he keskustelevat aktiivisemmin. He pureutuvat tarkemmin tehtävänannon merkitykseen, kun taas ryhmä 1 on orientoituneempi oikean vastauksen löytämiseen.

Yksi suuri ero ryhmien kommunikoinnissa on ryhmän 1 puutteellinen kommunikointi toimista, joita tehdään ongelman ratkaisemiseksi. Ryhmä 1 ei siis käy ongelmanratkaisun vaiheessa C lainkaan tämän tehtävän aikana. Ryhmä ei niinkään keskustelee tehtävän merkityksestä vaan tehtävänannon luettuaan ryhmän jäsenet alkavat muotoilla vastausta. Ryhmässä 2 nostetaan esille epäselvyys tehtävänannossa ja tästä keskustellaan. Prosessin alkuvaiheessa, kun ryhmän jäsenet ovat lukeneet tehtävänannon, yksi ryhmäläisistä sanoo ääneen tavoitteen: ”*Muutamalla lauseella pitäis vastata*”.

Tässä tehtävässä ryhmien ongelmanratkaisuprosessin eroja selittää suurelta osin se, että ryhmä 2 pohtii tehtävänannossa mainitun uv-koordinaatiston merkitystä. Yksi ryhmän jäsenistä piirtää kyseisen koordinaatiston ja hahmottelee siihen potentiaalienergian kuvaajaa, ilmeisesti ajatellen, että vaaka-akselilla on potentiaalienergia



Kuvio 8. Ryhmän 1 pulkkamäkitehtävän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” ja sininen vaihetta ”toiminta” (taulukko 1).



Kuvio 9. Ryhmän 2 pulkkamäkitehtävän ratkaisuprosessi. Vaaka-akselilla on aika tehtävän aloituksesta minuutteina, pystyakselilla ongelmanratkaisun vaiheet (taulukko 1). Punainen väri kuvaa ryhmän yhteistoiminnallista vaihetta ”yhteinen ymmärrys” ja sininen vaihetta ”toiminta” (taulukko 1).

ja pystyakselilla on nopeus. Tämä aiheuttaa keskustelua ja hämmennystä, kun toinen ryhmän jäsenistä tulkitsee koordinaatiston tarkoittavan kartan päälle piirrettyä karteesista paikka-akselien muodostamaa koordinaatistoa. Yksi ryhmän jäsenistä yrittää viedä keskustelua takaisin tehtävään muistuttamalla ensin, että *”Mut ei meidän tarvi piirtää mitään kuvaajaa”* ja vielä myöhemmin keskustelun jatkuttua: *”Mut ei me nyt tästä voida mitään kuvaa piirtää”*. Hän tarkentaa vielä tavoitetta: *”Kerrotaan sanallisesti, tästä piti kirjottaa vaan muutamalla lauseella.”*

Ryhmän 1 ratkaisuprosessi etenee tässä tehtävässä hyvin suoraviivaisesti. He lukevat tehtävänannon ja käyttävät muutaman puheenvuoron potentiaalienergian käyttäytymisestä keskustelemiseen. Noin kolme minuuttia tehtävän aloittamisesta yksi ryhmän jäsenistä jouduttaa ratkaisun etenemistä kysymällä *”Noh, mikäs valitaan meidän ekaks pisteeks? Täs näyttää olevan jyrkkä mäki ni se on varmaa hyvä liukuria varte”*. Tulkitsin tämän kysymyksen vastaavan matriisin kohtaa B2 *”toteutettavien tehtävien tunnistaminen ja kuvailu”*. Noin viiden minuutin kuluttua aloituksesta ryhmän kirjuri alkaa jo kirjoittaa vastausta. Ryhmä saavuttaa nopeasti konsensuksen potentiaalienergian pienenemisestä ja sen muuttumisesta kineettiseksi energiaksi siinä suunnassa, johon liike tapahtuu.

5.4 Prosessit suhteessa kurssilla opetettuun ongelmanratkaisustrategiaan

Kurssilla opetetun ongelmanratkaisustrategian käyttäminen yhteistoiminnallisen ongelmanratkaisun kuvailemiseen on katkonaista, koska keskusteluissa on paljon pätkiä, jotka eivät vastaa kyseisen ongelmanratkaisustrategian vaiheita. Aiemmistä kuvaajista voidaan kuitenkin huomata, että keskusteluun tehtävän merkityksestä käytetään jokaisen tehtävän kohdalla aikaa (vaihe A). Lisäksi aikaa käytetään tiedonhakuun. Visualisointi- ja mallinnusvaiheet yhdessä vastaavat OECD:n mallin vaihetta B muodostaen vaiheelle B fysiikan ongelmiin soveltuvan osituksen. Ratkaisuvaihe vastaa olennaisesti vaihetta C ja arviointi jossain määrin vaihetta D. Olennaiset erot ovat siis tehtävänannon merkityksen pohtimisessa ja representaation ja mallintamisen jakaminen spesifisti fysiikan ongelmien ratkaisustrategioihin. Lisäksi kurssin ongelmanratkaisustrategiassa arviointivaihe koskee enemmän ongelmia, joista saadaan lopputuloksena lukuarvo tai lauseke.

Esimerkit eri vaiheista

Jos opetetun prosessin visualisointivaiheen käsittää erilaisten representaatioiden luomiseksi, niin tämä vaihe esiintyy ryhmien keskusteluissa esimerkiksi sanallisissa selityksissä ja eleiden avulla esittämisessä. Kuvan piirtämisen sijaan muille ryhmän jäsenille voi esittää, mitä tarkoittaa kuten ryhmän 1 kohdalla tehtävän 1.2 väitettä 3 pohdittaessa.

O1: *No, siis. Jos täältä tulee (näyttää käsillä) pallo yksi ja kaksi ja ne ei mee niinku näin, vaan että ne niinku menee tällei vaikka niinku, vinoon. Tai niinku sillei että ne ei lähe täysin päinvastaseen suuntaan siitä sen törmäyksen jälkeen*

Visualisointivaiheeseen kuuluva tunnettujen ja tuntemattomien määrittäminen voidaan myös käsittää hieman laajemmin relevanttien konseptien ja periaatteiden tunnistamiseksi. Tällöin representaatiovaiheeseen kuuluu myös tehtävänannossa ilmenneiden käsitteiden tutkiminen ja määrittely.

Selvin esimerkki mallintamisvaiheesta on ratkaisuperiaatteen toteaminen. Ryhmät eivät välttämättä luo eksplisiittisiä suunnitelmia, mutta tehtävänannon tarkentaminen ja tarvittavien toimien toteaminen vastaavat tätä vaihetta. Esimerkiksi ryhmän 1 nopeustehtävän ratkaisun alkuvaiheessa käytiin keskustelu, jossa luodaan kuvaajasta sanallinen representaatio ja sen perusteella edetään kohti ratkaisuperiaatetta:

O 2: *Mm. Tässähän on se, öö, tuo tuo, tosson voima siin y-akselil ja aika siin x-akselil niin siitähän saa integraalist sen impulssin*

O 1: *Jep*

O 2: *Eli pinta-alasta, ni, sit, jos ois viiden sekunnin kohdalla, niin siihen asti vaan se pinta-ala, mut sit se impulssi pitäis muuttaa nopeudeks ni*

Ratkaisuvaihetta karakterisoi ryhmien toiminnassa tehtävien jakaminen ja omista toimista muille kertominen. Esimerkiksi ryhmä 2 orientoituu skriptitehtävän voimakenttien vertailun kohdalla ratkaisemaan tehtävää seuraavalla tavalla:

O 2₂: *Jaha, sitten meidän pitää laittaa sinne force 2 tai force 3 laskekaa voiman tekemä työ kaikilla poluilla curve1 curve2 ja curve3*

O 1₂: *Eli eka laitetaan curve ykköne*

O 3₂: *Force kakkone*

O 2₂: *Eiku*

- O 3₂: *Curve 1, force 2*
- O 1₂: *Eli pitääks meidän laskee niinku curve 1 ja force 2, curve 2 force 2, curve 3 force 2 ja sitte curve 1 force 3, eli niinku kuus eri*
- O 2₂: *Joo, joo*
- O 3₂: *Joo, oho*
- O 4₂: *Pitääks mun laittaa ylös Niitä*
- O 1₂: *Joo curve 1 ja force kakkone ensi, woah mate*
- O 3₂: *mitä se antaa*
- O 2₂: *Nyt se antaa työks 2,1 joulee*
- O 1₂: *2000, nii 2,1*
- O 4₂: *f, Mitkä oli f:t ja curvet*
- O 1₂: *curve 1, force 2*
- O 4₂: *Nii mikä se oli 2.1...*
- O 2₂: *Pistäkää nyt mieleen nää, koska meidän pitää kertoa lyhyesti meidän havainnoista sitte.. Vaikuttaako voimakenttä konservatiiviselta tulosten perusteella. Kaikki saavat yhden pisteen*

Arviointivaiheessa on fysiikan ongelmille tyypillisiä tapoja arvioida saatua tulosta. Täysin kurssin ratkaisustrategian mukaista arviointia ryhmät eivät juurikaan tee. Esimerkiksi ryhmä 1 ei oikein-väärin-väittämien kolmannen väitteen kohdalla tarkista, onko liike-energia skalaari- vai vektorisuure. Liikemäärä ja liike-energia menevät keskustelussa sekaisin ja liike-energiaa käsitellään vektorisuureena:

- O 1: *mm – Niinku toihan on kans niinku, vektorisuureina, niin sitte just jos ne on päin, niinku, tulee päinvastoin näin (näyttää) niin sit se ainaki on nolla, mutta tota, mä en tiedä noissa muissa tapauksissa*

Nopeustehtävä

Nopeustehtävän ratkaisussa ryhmä 1 käy läpi kaikkia kurssin ratkaisustrategian vaiheita. Kuten yllä todettiin luodaan sanallinen representaatio ja tämän jälkeen kehitellään ratkaisuperiaatetta:

- O 2: *Miten se sit. Saiskohan nyt siit impulssist se liikemäärä jotenki, Kuitenki sama*
- O 1: *Joo siis, tai niin, Newtonsekuntejahan on vissiin sama ku kilogrammametriäsekunnissa*

O 2: *Joo niillä on sama yksikkö*

O 1: *Nii. Senhän, en mä tiiä saisko sen siitä, että vaan pyörittelis tota*

O 3: *Joo siis kyl sen saa mää en vaa muista ihan täsmälleen, et miten se meni. Mä en muista sitä kaavaa. Mut siis impulssist saa kyllä niinku sen, mä en oo ihan varma*

O 1: *Nii äf delta tee, jos laittaa nää niinku lausekkeen eri puolille, et ämvee on äf delta tee*

Kun ratkaisuperiaate on ryhmälle selvä, ryhmän jäsenet siirtyvät ratkaisemaan tehtävää itsenäisesti. Kun ryhmäläiset ovat saaneet laskun ratkaistua, he arvioivat saamansa lukuarvon suuruuden järkevyyttä:

O 1: *Mä sain nolla pilkku nelkytkaheksan metriä sekunnissa*

O 3: *Joo niin määki, mut se jotenki kuulostaa vähä hassulta*

O 1: *Nii*

O 3: *Tota, nii*

Oikein–väärin-väittämät

Oikein–väärin-väittämissä prosessit etenevät eri tavoin. Väittämien tarkastelussa suuri osa ongelmanratkaisuprosessia on väitteen ymmärtäminen. Väitteessä esiintyvien käsitteiden määrittäminen on osa sanallisen representaation luomista ja toisaalta käsitteiden suhde toisiinsa voidaan käsittää olevan osa mallintamisvaihetta. Jos väite on käsitteellinen kuten tämän tehtävän väitteet ovat, mallintamis- ja ratkaisuvaiheet ovat olennaisesti sama vaihe.

Ensimmäisen väitteen lukemisen jälkeen ryhmän jäsenet pohtivat inertiaalikoordinaatiston käsitettä, eli olennaisesti luovat yhteistä representaatiota käsitteistä:

O 2: *Eiks se inertiaali ollu et se oli sidottu siihen, öö – paikkaan?*

O 1: *Siis, tiettyyn, joo, tiettyyn paikkaan tai nopeuteen ja se ei niinku käännny tai muutenkaa oo millää lailla kiihtyvässä liikkeessä*

Käsitteiden liikemäärä ja voima yhteyttä toisiinsa pohditaan myös ja tämä on olennainen osa tehtävän ratkaisua:

O 3: *En mä tiiä tuntuis jotenki hassulta, jos se liikemäärä muuttuis, jos siihen ei vaikuta niinku voimii, et, et kyl mä ainaki ite päätyisin ehkä toho, et se on vääri*

Kolmatta väitettä ratkaistaessa ryhmä 1 käy jossain määrin läpi kaikkia ratkaisustrategian vaihteita. Väitettä ja siinä esiintyviä käsitteitä pohditaan ja väitteen tilannetta yritetään visualisoida ja mallintaa. Opiskelija 1 visualisoi törmäystä, jossa törmäävät kappaleet osuvat toisiinsa vinottain: *”Siis mun mielest se sano jotain siinä jossai videossa jotai sinnepäin mut mä en kyllä tiää jos ne tulee sillei niinku eri kulmassa niinku tälle (näyttää) ja sit ne menee näi.”* Opiskelija 3 haluaisi ymmärtää väitteen paremmin ja tarkistaa oletuksia, joita tehdään: *”Ni, siis mä mietin sillei että, et tarkottaaks se niinku sitä että siis, niitten kineettiset energiat on vähän niinku, samansuurusia tyyliin tai jotenki? Vai mitä toi niinku, meinaa ees toi kysymys?”* Ratkaisua myös arvioidaan, mutta olennaisesti vasta sitten, kun huomataan että ryhmän vastaus oli väärä.

Neljännän väitteen kohdalla ryhmä 1 keskustelee siitä, mitä tarkoittaa liikemäärän säilyminen. Jo alussa oikeaa vastausta sivutaan: *”Kyllä se liikemäärän määrä säilyy, mutta se niinku suunta vaihtuu, niin sillon se niinku, ei säily. Jos mä oon käsittäny oikein”.* Kun tälle perustelulle pyydetään tarkennusta, päädytään jo suoraan oikeaan vastaukseen: *”Että siis öö jos se että se liikemäärä säilyis, niin siihen pitäis olla se, seinä mukana siinä systeemissä”.* Käytännössä tämä sama perustelu löydetään kurssin materiaaleista ja siihen ollaan tyytyväisiä. Tehtävässä käytetään siis aikaa visualisointi ja mallinnusvaiheessa, mutta varsinainen ratkaisuvaihe koostuu vastauksen löytämisestä kurssin materiaaleista.

Skriptitehtävä

Skriptitehtävän aluksi ryhmä 2 käyttää enemmän aikaa visualisointivaiheeseen kuin ryhmä 1. Ryhmä 2 pohtii tarkemmin muun muassa potentiaalienergiaa ja tutkii yhdessä enemmän sitä, mitä tehtävän ohjelma tekee. Ryhmä 1 etsii tehokkaasti vastaukset kysymyksiin ja he ymmärtävät nopeasti, mitä ohjelma tekee. Ryhmä 2 rakentaa yhteistä ymmärrystä konservatiivisista voimista ja tutkii mitä ohjelma tekee. He eivät aluksi ole varsinaisesti vastaamassa mihinkään kysymykseen vaan he vuorovaikuttavat ongelman kanssa saaden siitä lisätietoa. Kun ryhmä kaksi lopulta palaa tehtävänantoon, he pystyvät tarkasti perustelemaan vastauksensa ja arvioimaan vielä sitä, vastaako heidän päättelynsä konservatiivisen kentän määritelmää. Ryhmä 1 ei keskustelussaan käy arviointivaiheessa.

Voimakenttien vertailussa molemmat ryhmät päätyvät nopeasti ratkaisuvaiheeseen. Ryhmät ymmärtävät tehtävänannon nopeasti ja ajavat ohjelmaa tarvittavilla

muutoksilla. Tässä vaiheessa molemmilla ryhmillä on siinä määrin riittävä ymmärrys tehtävästä, että visualisointi- tai mallinnusvaiheisiin ei palata. Muodostaessaan vastausta tehtävään ryhmä 1 arvioi uudelleen ymmärrystään konservatiivisesta voimakentästä. Ohjelma määrittää työn numeerisesti, joten eri poluilla saadaan lähellä toisiaan olevat työn arvot, mutta laskentatarkkuudesta syntyy kuitenkin eroavaisuuksia. Tästä käydään keskustelua

O 4: *No eikse työ oo siis eri nois kaikis?*

O 1: *Joo on*

O 4: *Nii*

O 1: *Kaikissa kurveissa*

O 4: *Nii*

O 2: *Mua häiritsee nuo ku ne on niin vähän erilaisia*

O 1: *Nii-i, se on vähä jännä kyl. Mut toisaalta mä en tiä onks tässä, tai no joo, joo*

Ryhmä ei kuitenkaan etene tästä päätelmään ja jättää tehtävän pohtimisen hetken kuluttua. Ryhmä 2 ei vastaa kysymykseen kenttien konservatiivisuudesta vaan kirjaa vain havaintojaan siitä, miltä polut näyttävät ja kuinka suuret työt ohjelma laski.

Pulkkamäki

Molemmat ryhmät luovat yhteistä ymmärrystä potentiaalienergiasta. Ryhmä 2 tutustuu myös tarkemmin tehtävänannossa annettuun lausekkeeseen.

Kumpikin ryhmä keskustelee kartan korkeuskäyrien merkityksestä. Nämä keskustelut kuuluvat ongelmanratkaisuprosessin visualisointivaiheeseen. Tämän vaiheen päätteeksi ryhmät päätyvät samaan oikeaan lopputulokseen siitä, mitä korkeuskäyrät tässä tapauksessa merkitsevät.

Visualisointivaiheen jälkeen ryhmä 1 siirtyy jo ratkaisuvaiheeseen, kun kirjuri valitsee lähtöpisteen ja alkaa muotoilla kirjallista vastausta. Tässä kohtaa ryhmäläiset ovat hyvin yhtä mieltä siitä, miten vastaus muotoillaan. Ratkaisuvaiheesta siirrytään takaisin mallintamisvaiheeseen, kun nostetaan esiin se, että liukuri lähtee liukumaan siihen suuntaan, jossa potentiaalienergia pienenee

O₁ 2: *Kun sit taas se potentiaalienergia ois isompi muuallapäin*

O₁ 1: *Mitä sä meinaat?*

O₁ 2: *Siis, ihan sen, se, siis ihan vaan sen loogisesti lähtee sinne kaakkoon*

päin ku siellä on varmaa ainoa piste ainoa ilmansuunta missä on alempi potentiaalienergia

O₁ 1: *Mm. Koska potentiaalienergia on sielläpäin alempi, joo*

O₁ 2: *Ni*

O₁ 1: *Eli, mäki, viettää sinnepäin*

Tämän jälkeen ryhmä saa vastauksen muotoiltua lopulliseen muotoonsa, jossa mainitaan, että potentiaalienergia muuttuu kineettiseksi energiaksi.

Ryhmä 2 jää vähäksi aikaa jumiin visualisointivaiheeseen, kun yksi ryhmäläisistä tulkitsee uv-koordinaatiston tarkoittavan koordinaatistoa, jonka x-akselilla on potentiaalienergia ja y-akselilla on nopeus. Tästä muodostuu uusi ongelma, jonka ratkaisuun ryhmä käyttää jonkin verran aikaa kunnes eräs ryhmäläisistä muistuttaa, että vastaukseksi riittää muutaman lauseen selitys. Ryhmä 2 käy ratkaisuvaiheessa jo aiemmin, kun he päättävät lähtöpisteen. Lopuksi he palaavat ratkaisuvaiheeseen ja muotoilevat vastauksensa.

Arviointivaihetta ei esiinny kummallakaan ryhmällä.

6 Päätäntö

6.1 Tutkimuskysymykset

OECD:n mallin soveltuvuus

Mallia voi käyttää fysiikan opiskelijoiden ryhmätehtävien tekemisen prosessin tarkasteluun. Malli sisältää kaikki olennaiset osat fysiikan tehtävien ratkaisuprosessista. Tämän tutkimuksen tehtävissä ryhmillä esiintyi mallin (taulukko 1) vaiheiden ”yhteisen ymmärryksen luominen” ja ”Sopiviin toimiin ryhtyminen” kaikkia alavaiheita. Ratkaisupolut ovat monimuotoisia ja vilkkaassa keskustelussa liikutaan eri vaiheissa nopeasti edestakaisin. Kun prosessin eri vaiheet merkitään kuvaajaan ajan funktiona, voidaan erottaa esimerkiksi, että onko ryhmällä ollut tehtävässä käsitteellisiä haasteita. Käsitteelliset haasteet voivat näkyä esimerkiksi siinä, että ryhmä käyttää paljon aikaa ongelmanratkaisun vaiheissa A ja B siirtymättä suunnitelmien toteuttamiseen. Sellaista tehtävien ratkaisemiseen liittyvää keskustelua, joka ei sopinut mihinkään mallin lokeroon, ei aineistossa ollut.

OECD:n mallin yhteistoiminnallisuuden vaiheita ”ryhmän organisointi” ei esiintynyt tässä tutkimuksessa lainkaan. Tämä johtuu erilaisista tutkimusasetelmista. Tässä tutkimuksessa ryhmät olivat jo kokoontuneet useamman kerran aikaisemmin tekemään yhdessä tehtäviä. Näin ryhmän organisaatio on mahdollisesti jo luotu ja sitä ei tarvitse uusien ryhmätehtävien yhteydessä tehdä. Erityisesti kurssin alkuvaiheessa kun ryhmät kokoontuvat ensimmäisen kerran, ryhmän tehtävänä on luoda yhteiset säännöt. Oletettavasti näitä sääntöjä noudatetaan aina, kun ryhmä kokoontuu. Tässä tutkimuksessa esiintyvät tehtävät ovat luonteeltaan sellaisia, että kaikilla ryhmän jäsenillä voi olettaa olevan samat esitiedot ongelman ratkaisemiseksi. Näin ollen vaihetta A3 (taulukko 1) ”Ongelman ratkaisemisessa tarvittavien roolien ymmärtäminen” ei tarvitse käydä läpi. Ryhmätehtäviä tehdessä opiskelijat valitsevat joukostaan sihteerin, joka kirjaa vastaukset TIMiin. Muita rooleja, kuten puheenjohtaja, opiskelijat eivät välttämättä valitse, jos tehtävien yhteydessä ei tätä erikseen vaadita.

Malli on siis hieman tarvittavaa laajempi ja kattaa myös tehtävätyypit, joissa tehtävän tekijöillä on epäsymmetriset tiedot tehtävästä. Tällaisia tehtäviä ei yleensä esiinny fysiikan kursseilla, ellei niitä ole jostain syystä erityisesti haluttu tehdä. Toisaalta luulen, että ryhmien toiminnassa silloin tällöin esiintyy mallin vaiheita B3, C3 ja D3. Jos ryhmä järjestyessään valitsee sihteerin ja puheenjohtajan, tämä sisältyisi vaiheeseen B3. Toisaalta keskustelussa perustelujen, selvennysten tai yksityiskohtien vaatiminen voi olla vaihetta C3, jos ryhmä on sopinut kommunikoinnin sääntöihin, että keskusteluissa tehtäviä tarkastellaan perinpohjaisesti. Vaihetta D3 voisi edustaa tilanne, jossa edellisen kerran sihteeri muistuttaa siitä, että sihteerin rooli kiertää ryhmän sisällä.

Chang ym. ovat tutkineet lukiolaisten yhteistoiminnallista ongelmanratkaisua Taiwanissa käyttäen samaa viitekehystä [33]. Kyseisessä tutkimuksessa aineisto kerättiin 30 lukiolaisen muodostamista 10 ryhmästä, jotka ratkoivat fysiikan ongelmaa tietokonesimulaation avulla. Heidän aineistonsa keskusteluissa esiintyy suhteellisesti huomattavan paljon vähemmän ongelmanratkaisun vaiheita ”tutkiminen ja ymmärtäminen” ja ”representaatio ja formulointi”. Vaihe ”suunnittelu ja toteutus” on yleisin (noin 55 % kaikista keskustelunpätkistä). Yhteistoiminnallisuuden vaiheet ovat jakautuneet tasaisemmin. Luulen, että ongelmanratkaisuprosessien eroavaisuudet selittyvät tutkimusten konteksteilla. Tässä tutkimuksessa aineisto kerättiin opiskelijoiden tehdessä opiskeluihin kuuluvia kurssitehtäviä. Changin ym. tutkimuksen konteksti oli kontrolloidumpi, jolloin osallistujien motivaationa ei ole niinkään käsiteltävän ilmiön ymmärtäminen vaan annettuun ongelmaan ratkaisun löytäminen. Toisaalta tutkimusta varten luodut yksittäisen kerran tapaavat ryhmät käyttävät aikaa ryhmän organisaation luomiseen ja ylläpitämiseen, mitä ei välttämättä näy, kun ryhmän jäsenet ovat jo kokoontuneet useamman kerran ratkomaan ongelmia.

Kurssilla opetettu ongelmanratkaisustrategia

Kurssimateriaaleissa olevaa ongelmanratkaisustrategiaa ryhmät eivät systemaattisesti käyttäneet. Keskusteluissa käydään strategian eri vaiheissa, mutta keskustelu jää usein pinnalliseksi. Tästä selvin esimerkki on visualisointivaiheeseen kuuluva tehtävänannon käsitteiden määritelmien ymmärtäminen, joka jää ryhmillä usein vaillinnaiseksi.

Tämän tutkimuksen tehtävissä ratkaisuvaihe koostuu vaiheista, joissa ryhmä muodostaa perustellun konsensuksen siitä, miten tehtävään vastataan ja avoimissa

kysymyksissä siitä, miten tehtävän vastaus muotoillaan sanallisesti. Oikein-väärin-väittämien kohdalla ryhmä 1 yritti varsinkin haastavissa kohdissa löytää väitteisiin vastauksen kurssimateriaaleista sen sijaan, että ryhmä olisi ratkaissut ongelmaa käymällä läpi visualisoinnin ja mallintamisen vaiheet. Näissä ryhmä siis tehtävänannon luettuaan siirtyi ratkaisuvaiheeseen, joka tämän ryhmän osalta koostui kurssimateriaalien tutkimisesta. Jos ryhmä olisi kerrannut kurssimateriaaleja tarkentaakseen ymmärrystä tehtävänannosta tai siinä esiintyvistä käsitteistä, tämä olisi visualisointivaihetta, mutta keskusteluista kävi ilmi, että materiaaleja tutkittiin nimenomaan tarkoituksena löytää väitteeseen sopiva vastaus.

Tämän strategian mukaista vastauksen arviointia ryhmät tekevät vain vähän. Oikein-väärin-väittämien kohdalla vastauksen jätettyään opiskelijat näkevät, mikä on oikea vastaus ja perustelun vastaukselle. Jos vastaus on oikein, ei perustelua tarkastella tarkemmin. Avoimissa kysymyksissä vastausehdotuksia arvioidaan lähinnä siitä näkökulmasta, että miten asia ilmaistaan sanallisesti.

Ongelmanratkaisua tutkittaessa on huomattu vastaavanlaisia piirteitä noviisien ongelmanratkaisuprosesseissa. Esimerkiksi opiskelijoiden taipumus hypätä suoraan ratkaisuvaiheeseen ja ratkaisun tarkastelun ja arvioinnin puute ovat tällaisia tunnistettuja piirteitä [7].

6.2 Pohdinta

Ongelmanratkaisustrategian eksplisiittisestä opettamisesta fysiikan kursseilla on saatu hyviä tuloksia [17, 21, 23, 34]. Burkholder ym. loivat asiantuntijoiden ongelmanratkaisuprosesseihin perustuvan viitekehyksen, jota käyttämällä opiskelijoiden tehtävien ratkaisujen laatu parani, kun tehtävät olivat opiskelijoille sopivan haastavia [23]. Ogilvie sai muutettua kurssilaistensa käsityksiä ongelmanratkaisusta ja lisättyä kuvaajien käyttämistä ja ilmiöistä liikkeelle lähtemistä opiskelijoiden ongelmanratkaisuprosesseissa [34]. Gaigher, Rogan ja Braun havaitsivat opiskelijoiden, joille oli opetettu ongelmanratkaisustrategiaa, ymmärtävän paremmin fysiikan käsitteitä verrattuna opiskelijoihin, joille strategiaa ei eksplisiittisesti opetettu [17]. Heller ja Hollabaugh tutkivat yhteistoiminnallista ongelmanratkaisua fysiikan peruskursseilla ja huomasivat, että ryhmät tuottivat parempia ratkaisuja tehtäviin kuin yksilöt [21].

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kursseillakin voisi siis olla hyötyä laajemmasta ongelmanratkaisustrategian opettamisesta ja hyödyntämisestä. Ratkaisuprosessia voi tukea esimerkiksi kirjoittamalla tehtävänannon sellaiseksi, että jokaiseen

ongelmanratkaisustrategian vaiheeseen liittyy kysymys, johon täytyy vastata. Laskuesimerkeissä on myös syytä kiinnittää huomiota ratkaisun eri vaiheisiin ja tuoda niitä esille. Kurssilla opetettavaa ongelmanratkaisustrategiaa voisi olla myös aiheellista hieman muokata. Strategiassa voisi tuoda selkeästi ilmi relevanttien käsitteiden ja ilmiöiden pohtimisen, samankaltaisiin ongelmiin vertaamisen ja tarvittavien tietojen määrittämisen. Kurssilla opetettu ongelmanratkaisustrategia vastaa muuten olennaisilta osin esimerkiksi Burkholderin ym. luomaa strategiaa. Huomiota voisi kiinnittää myös ongelmanratkaisun vaiheeseen ”tutkiminen ja ymmärtäminen”, eli tehtävänannon käsittelyyn siten, että siitä löydetään olennainen kysymys. Kokemukseni mukaan ohjattavilla opiskelijoilla on usein ongelmana päästä ratkaisuprosessissa alkuun ilman apukysymyksiä. Tehtävänannoissa olevia käsitteitä ei välttämättä ymmärretä ja määritelmien ja niihin liittyvien yhtälöiden tarkistaminen ei ole osa joidenkin opiskelijoiden prosessia ilman opettajan ohjausta.

Yhteistoiminnalliseen ongelmanratkaisuun liittyviä sosiaalisia taitoja täytyy opettaa ja niitä täytyy harjoitella, jotta yhteistoiminnallinen oppiminen olisi tehokasta [35]. Näitä taitoja ovat aktiivinen kuuntelu, ideoiden ja resurssien jakaminen, rakentavan palautteen antaminen muiden ideoista, vastuun ottaminen omasta käytöksestä ja osallistuminen demokraattiseen päätöksentekoon. Yhteistoiminnallisessa ongelmanratkaisussa nämä taidot toimivat pohjana vuorovaikutukselle ja vaikuttavat merkittävästi ongelmanratkaisun onnistumiseen. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kandidaatinohjelman osaamistavoitteisiin on kirjattu [18]: ”*[Opiskelija] osaa työskennellä ryhmässä ja työyhteisössä käyttäen monipuolisesti vuorovaikutustaitoja.*” Vuorovaikutustaitojen harjoitteluun keskitytään kuitenkin vähän ja niistä saadaan harvoin palautetta. Peruskurssien päätteeksi tehtävässä itse- ja vertaisarvioissa arvioidaan omia ja muiden ryhmäläisten taitoja kokonaisuutena kurssin kontekstissa. Taitojen kehittymisen kannalta jatkuvampi palautteen saaminen olisi hyödyllistä. Tähän on mahdollista kiinnittää huomiota ryhmätehtävien tehtävänannoissa. Tehtävänantoihin voi liittää erilaisia rooleja, joiden tehtävänä on huolehtia vuorovaikutuksen monipuolisuudesta. Esimerkiksi yhden opiskelijan rooli voi olla pitää huolta siitä, että kaikki ryhmän jäsenet saavat varmasti puheenvuoron.

Yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu on ollut ajankohtainen tutkimusaihe jo vuosia ja tulee pysymään ajankohtaisena vielä pitkään. Sekä siihen liittyviä vuorovaikutustaitoja että ongelmanratkaisuun liittyviä kognitiivisia taitoja tarvitaan sen onnistuneessa toteuttamisessa [36]. Ilmiön monimutkaisuuden vuoksi tiedon

saaminen siitä on hidasta ja vaatii paljon tutkimusta. Vuorovaikutus- ja ongelmanratkaisutaidot mainitaan sekä perusopetuksen että lukion opetussuunnitelmissa [37, 38]. Näiden taitojen tehokas opettaminen ja oppiminen sekä vaatimus opetuksen perustumisesta tutkittuun tietoon vaativat lisää tietoa aiheesta. Tutkimusta täytyy tehdä myös korkeakoulukontekstissa, koska korkeakoulujen tarjoaman opetuksen on syytä tarjota koulutusta nykypäivän työelämätaidoissa. Jatkotutkimuksilla voidaan saada tietoa ongelmanratkaisutaitojen opettamisesta ja oppimisesta sekä yhteistoiminnallisesta ongelmanratkaisusta ilmiönä. Aihetta voisi tutkia esimerkiksi suunnittelemalla opetukseen ongelmanratkaisustrategian opettamista ja testaamalla opetuksen vaikutuksia opiskelijoiden ongelmanratkaisuprosessiin. Opiskelijoiden vuorovaikutustaitoja ja niiden kehittymistä olisi hyvä tutkia opetussuunnitelmatyön näkökulmasta ja testata kuinka hyvin opiskelijoiden taitotaso vastaa nykyistä fysiikan laitoksen opetussuunnitelmaa. Opiskelijoiden ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä voisi yhtäläillä tutkia vertailemalla eri vaiheissa olevien opiskelijoiden ongelmanratkaisuprosesseja tai pitkällä yhden vuosikurssin seurannalla.

Lähteet

- [1] P. Griffin, E. Care ja B. McGaw, toim. *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*. Dordrecht: Springer, 2012.
- [2] S. Repo. ”Yhteisöllisyys voimavarana yliopisto-opetuksen ja -opiskelun kehittämisessä”. Väitöskirja. Helsingin yliopisto, 2010. ISBN: 978-952-10-5948-3. URL: <http://helka.linneanet.fi/cgi-bin/Pwebrecon.cgi?BBID=2195876%7B%5C%7D5Cnhttp://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-5948-3>.
- [3] D. W. Johnson ja R. T. Johnson. ”Cooperative Learning: The Foundation for Active Learning”. Teoksessa: *Active Learning - Beyond the Future*. 2019. Luku 5. DOI: 10.5772/intechopen.81086.
- [4] P. Koskinen ym. ”Primetime learning : collaborative and technology-enhanced studying with genuine teacher presence”. *International Journal of STEM Education* 5.20 (2018). DOI: 10.1186/s40594-018-0113-8.
- [5] D. W. Johnson ja R. T. Johnson. ”An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning”. *Educational Researcher* 38.5 (2009), s. 365–379. ISSN: 0013189X. DOI: 10.3102/0013189X09339057.
- [6] H. Jeong, C. E. Hmelo-Silver ja J. Kihyun. ”Ten years of Computer-Supported Collaborative Learning: A metaanalysis of CSCL in STEM education during 2005–2014”. *Educational Research Review* 28 (2019). DOI: 10.1016/j.edurev.2019.100284.
- [7] D. P. Maloney. ”An Overview of Physics Education Research on Problem Solving”. Teoksessa: *Getting Started in PER*. 1. painos. Vol. 2. 2011. URL: <https://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=11457>.
- [8] K. Duncker. ”On problem-solving”. *Psychological Monographs* 58.5 (1945).
- [9] J. R. Hayes. *The Complete Problem Solver*. Franklin Institute Press, 1981.
- [10] E. Kim ja S.-J. Pak. ”Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems”. *American Journal of Physics* 70.7 (2002), s. 759–765. ISSN: 0002-9505. DOI: 10.1119/1.1484151.

- [11] D. H. Jonassen. "Toward a Design Theory of Problem Solving". *Educational Technology Research and Development* 48.4 (2000), s. 63–85.
- [12] M. Wertheimer. *Productive thinking*. New York, 1945.
- [13] G. Pólya. *How to solve it*. Princeton (N.J.): Princeton University Press, 1945.
- [14] L. R. Novick ja M. Bassok. "Problem Solving". Teoksessa: *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. Toim. K. J. Holyoak ja R. G. Morrison. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. Luku 14, s. 321–349.
- [15] P. N. Johnson-Laird, toim. *The Blackwell dictionary of cognitive psychology*. Oxford: Blackwell Reference, 1991.
- [16] OECD. *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. OECD Publishing, 2013, s. 621–626. ISBN: 978-92-64-19052-8. DOI: 10.1787/9789264190511-en.
- [17] E. Gaigher, J. M. Rogan ja M. W. Braun. "Exploring the development of conceptual understanding through structured problem-solving in physics". *International Journal of Science Education* 29.9 (2007), s. 1089–1110. ISSN: 09500693. DOI: 10.1080/09500690600930972.
- [18] Jyväskylän yliopisto. *Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen opetussuunnitelma*. 25. marraskuuta 2021. URL: <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelman/>.
- [19] J. Larkin ym. "Expert and novice performance in solving physics problems". *Science* 208.4450 (1980), s. 1335–1342. ISSN: 00368075. DOI: 10.1126/science.208.4450.1335.
- [20] M. T. H. Chi ja P. J. Feltovich. "Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices". *Cognitive Science* 5 (1981), s. 121–152. ISSN: 03640213. DOI: 10.1207/s15516709cog0502_2.
- [21] P. Heller, R. Keith ja S. Anderson. "Teaching problem solving through cooperative grouping . Part 1 : Group versus individual problem solving". *American Journal of Physics* 60.627 (1992). DOI: 10.1119/1.17117.
- [22] M. P. Čančula, G. Planinšič ja E. Etkina. "Analyzing patterns in experts' approaches to solving experimental problems". *American Journal of Physics* 83.4 (2015), s. 366–374. ISSN: 0002-9505. DOI: 10.1119/1.4913528.

- [23] E. W. Burkholder ym. "Template for teaching and assessment of problem solving in introductory physics". *Physical Review Physics Education Research* 16.1 (2020), s. 10123. ISSN: 2469-9896. DOI: 10.1103/physrevphyseducres.16.010123. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010123>.
- [24] R. D. Knight. *Physics for scientists and engineers : a strategic approach with modern physics*. Fourth edition. Global edition. Boston: Pearson, 2017.
- [25] H. D. Young. *Sears and Zemansky's university physics : with modern physics*. Toim. F. W. Sears. 12th ed. Includes index. San Francisco: Pearson Addison-Wesley, 2007. URL: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip072/2006032537.html>.
- [26] P. Koskinen. *Johdatus fysiikan ongelmien ratkaisemiseen*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=4a2giVwDMCM> (viitattu 26. 11. 2021).
- [27] K. Krkovic ym. "Shifts in the Assessment of Problem Solving". Teoksessa: *Assessment and Teaching of 21st Century Skills: Research and Applications*. Toim. P. Griffin, E. Care ja M. Wilson. Springer, 2018.
- [28] P. Griffin, E. Care ja B. McGaw. "The Changing Role of Education and Schools". Teoksessa: *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*. Toim. B. Griffin Patrickand McGaw ja E. Care. Springer, 2012.
- [29] OECD. *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, revised edition*. Paris: OECD Publishing, 2017. ISBN: 9789264281820. DOI: 10.1787/9789264281820-8-en.
- [30] P. Griffin ja E. Care. "The ATC21S Method". Teoksessa: *Assessment and Teaching of 21st Century Skills: Methods and Approach*. 2015, s. 3–33. ISBN: 9789401793940. DOI: 10.1007/978-94-017-9395-7_1.
- [31] C. J. Chang ym. "An analysis of collaborative problem-solving activities mediated by individual-based and collaborative computer simulations". *Journal of Computer Assisted Learning* 33.6 (2017), s. 649–662. ISSN: 13652729. DOI: 10.1111/jcal.12208.
- [32] Jyväskylän yliopisto. *Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen opetussuunnitelma*. 25. marraskuuta 2021. URL: <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/13224>.

- [33] C.-j. Chang ym. "An analysis of student collaborative problem solving activities mediated by collaborative simulations". *Computers & Education* 114.300 (2017), s. 222–235. ISSN: 0360-1315. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.07.008. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.008>.
- [34] C. A. Ogilvie. "Changes in students' problem-solving strategies in a course that includes context-rich, multifaceted problems". *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 5.2 (2009), s. 1–14. ISSN: 15549178. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.5.020102.
- [35] R. M. Gillies. "Cooperative learning: Review of research and practice". *Australian Journal of Teacher Education* 41.3 (2016), s. 39–54. ISSN: 03135373. DOI: 10.14221/ajte.2016v41n3.3.
- [36] C. Sun ym. "The relationship between collaborative problem solving behaviors and solution outcomes in a game-based learning environment". *Computers in Human Behavior* 128 (2022), s. 107–120. ISSN: 0747-5632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107120>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756322100443X>.
- [37] Opetushallitus. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. 2014. URL: <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/perusopetuksen-opetussuunnitelman-perusteet> (viitattu 13.12.2021).
- [38] Opetushallitus. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. 2019. URL: <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/lukion-opetussuunnitelmien-perusteet> (viitattu 13.12.2021).