

MEKANIIKAN KURSSIKOEVASTAUSTEN ANALYSOINTIA TOULMIN-PERUSTAISELLA ARGUMENTTIMALLILLA

Mikko Kesonen¹⁾, Justus Kinnunen²⁾, Mervi A. Asikainen²⁾ ja Risto Leinonen²⁾

¹⁾Kasvatustieteiden ja kulttuurin tiedekunta, Tampereen yliopisto

²⁾Fysiikan ja matematiikan laitos, Itä-Suomen yliopisto

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa analysoidaan mekaniikan kurssikoevastauksia Toulmin-perustaisella argumenttimallilla. Tavoitteena on tunnistaa koevastauksen rakenne argumentin rakenteeseen verrattuna ja selvittää vastausrakenteen ja vastauksen oikeellisuuden välistä yhteyttä. Tutkimusaineisto on kerätty yliopiston perusopintotason mekaniikan kurssikokeesta (N=45). Tulosten mukaan 74% vastauksista sisältää argumentin rakenteen keskeiset, eli väitteen, viittauksen aineistoon ja päättelyn kuvauksen riippumatta vastauksen oikeellisuudesta. Nämä rakenteellisesti kattavat vastaukset välittivät opiskelijoiden osaamisesta selvoimmän ja eheämmän kuvan kuin rakenteen kannalta puutteelliset vastaukset. Argumenttiin rinnastettavan rakenteen huomioiminen tehtävävastauksen arvioinnissa voi edistää ajattelun kielentämistä osana asiantuntijuuteen kasvamisessa.

JOHDANTO

Argumentoinnin tarkastelu opetuksen tavoitteena ja työtapana on korostunut luonnontieteiden opetuksen tutkimuskirjallisuudessa 2000-luvun alusta alkaen (Erduran ym., 2015; Setyaningsih & Rahayu, 2023). Argumentointia painottavassa opetuksessa pyritään tukemaan luonnontieteiden oppimista siten, että se sisältää autenttisia tieteen tekemisen piirteitä edistäen muun muassa luonnontieteellisen lukutaidon (scientific literacy) kehittymistä (Cavagnetto, 2015; Driver ym., 2000; Fischer ym., 2014; Osborne, 2010).

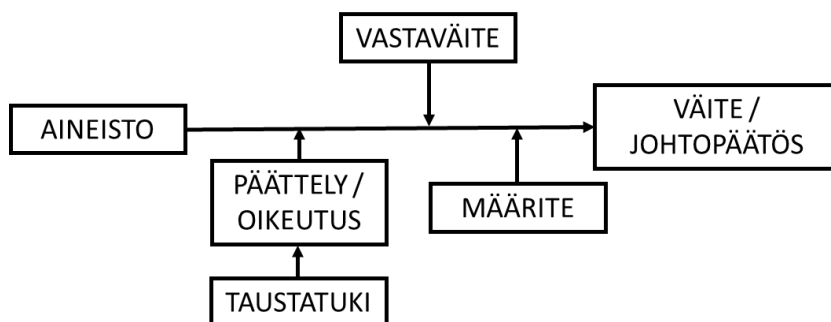
Laaja konsensus argumentoinnin tärkeydestä jakautuu lukuisiin eri tutkijaryhmien tulkintoihin, kun tarkastellaan miten argumentointia tai sen loppulemanä muodostettua argumenttia tulisi arvioida (Nousiainen, Kesonen & Vuola, 2021; Rapanta ym., 2013; Sampson & Clark, 2008). Moninaiset, osin jopa yhteensopimattomat käsitykset argumentoinnista (Osborne & Patterson, 2011), ja niiden pohjalta kehitetyt monimutkaiset arviointimenetelmät (ks. Böttcher & Meisert, 2010) näyttäytyvät arkiseen koulutustyöhön vaikeasti sovellettavilta. Moninaisuuden myötä argumentoinnin painottamisen hyödyt

peruskoulutukselle uhkaavat jäädä maltillisiksi, vaikka niissä piilee tuntuva potentiaali luku- ja kirjoitustaidon, kriittisen ajattelun, ongelmanratkaisu- ja vuorovaikutustaitojen sekä sisältötiedon oppimisen edistämiseksi (Demirbag & Gunel, 2014; Driver ym., 2000; Jiménez-Alexandre & Puig, 2012; Osborne, 2010; Santos, 2017). Näiden hyötyjen vuoksi tässä artikkelissa tarkastellaan yksinkertaista argumentin arviointimenetelmää yliopistotason mekaniikan kurssikoevastausten analyysissä. Tarkastelun tarkoituksena on tunnistaa, kuinka argumentointi voisi tulla huomioiduksi opiskelijoiden arvioinnissa sisältötiedon oppimista painottavalla opintojaksolla. Tällaisten arviointimenetelmien tarkastelu on tärkeää, jotta argumentoinnin yllä kuvatut hyödyt olisi laajemmin saavutettavissa sisältötietoa painottavassa opetuksessa, joissa koulutuksen rakenteet eivät välttämättä mahdollista argumentointiin keskittyvän opetuksen toteutusta.

Argumentin rakenteen arvioiminen

Luonnontieteiden opetuksen tutkimuskirjallisuudessa argumentoinnin arvioinnissa on hyödynnetty tieteenalakohtaisia (engl. domain-specific) ja tieteenalasta riippumattomia (engl. domain-general) argumentointimalleja (Sampson & Clark, 2008). Yksi yleisimmin käytetyistä tieteenalariippumattomista argumentointimalleista on Kuvassa 1 esitetty Stephen Toulminin argumentin käyttöä jäsentävä kuvaus (Bogar, 2019; Setyaningsih & Rahayu, 2023). Toulminin teoksen alkuperäisenä tarkoituksena oli käsitellä tiedon muodostumista (epistemologiaa) pikemminkin kuin esittää argumentointimalli, josta hänen teoksensa on kerännyt lukuisia viittauksia (Niemi, 2019). Oikeuden istuntojen pohjalta muodostetussa mallissa argumentoinnissa korostuu *väitteiden tai johtopäätösten* (engl. *claim*) esittäminen, niitä tukevan *aineiston* (engl. *data*) käyttö ja aineiston käyttöä perustelevan *päätelyn tai oikeutuksen* (engl. *warrant*) kuvaus (Toulmin, 1957/2003). Mallin mukaan käytännön argumentointitilanteessa esitettävää väitettä puolustetaan viittaamalla sitä tukevaan aineistoon ja kuvaamalla päätelyä tai oikeutusta, jonka perusteella aineisto voidaan nähdä väitettä tukevana tietona. Päätelyn tai oikeutuksen kuvauksen taustalla on usein jokin sen mielekkyyttä tai hyväksyttävyyttä ohjaava logiikka tai mekanismi, joka voidaan nähdä päätelyn *taustatukena* (engl. *backing*). Argumentoinnissa esitetyn väitteen mielekkyys ja todenperäisyys voidaan kuitenkin haastaa *vastaväitteellä* (engl. *rebuttal*), joka voi johtaa siihen, että esitettyä argumenttia tarkennetaan *määritteellä* (engl. *qualifier*)¹. Näiden vaiheiden kautta argumentoitava tieto tarkentuu ja kehittyy laajemmin hyväksyttävään muotoon.

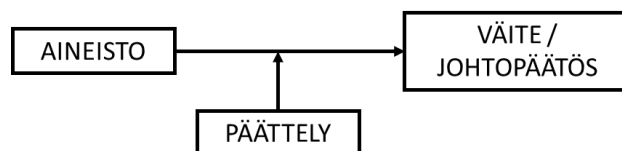
¹ Termien suomennokset vaihtelevat tieteenaloittain (ks. Kurki & Tomperi, 2011; Niemi, 2019). Yllä esitetyt suomennokset heijastelevat luonnontieteiden opetuksen tutkimuksessa yleisesti käytettyjä termejä (ks. esim. Nousiainen ym., 2021).



Kuva 1. Toulminin argumentointimalli (suomennos mukailien Toulmin, 1957/2003; Erduran ym., 2004).

Toulminin työn pohjalta on kehitetty argumentoinnin analysointityökalu TAP (Toulmin's Argumentation Pattern) luonnontieteiden opetuksessa toteutuvan argumentoinnin arviointia varten (Erduran ym., 2004). TAPilla on pyritty tunnistamaan argumentoinnin rakenne (ks. Kuva 1) muun muassa oppilaiden puheesta (Erduran ym., 2004). Rakenteen ilmenemisen perusteella on tehty päätelmiä argumentoinnin laadusta, määrästä ja opetuksen vaikutuksista oppilaiden argumentointiin (Osborne ym., 2004). TAPin käytön ongelmaksi on muodostunut haaste erottaa argumentoinnin eri osatekijät (ks. Kuva 1) toisistaan luotettavasti (Nielsen, 2013). Lisäksi malli ei ota kantaa argumentoinnissa esitetyn tiedon oikeellisuuteen, minkä vuoksi se ei itsessään mahdollista argumentoinnin arviointia sisältötiedon näkökulmasta (Driver ym., 2000).

Toulminin argumentointimallista on esitetty yksinkertaistus (ks. Kuva 2), jonka voidaan ajatella kuvaavan argumentin ydinrakennetta (Osborne ym., 2001; Osborne ym., 2017). Argumentilla tarkoitetaan argumentoinnin lopputulemana muodostettua perusteltua väitettä, johtopäätöstä tai kannanottoa, joka pitää sisällään väitteen (tai johtopäätöksen), viittauksen väitettä tukevaan aineistoon ja päättelyn kuvauksen, joka ilmentää väitteen ja aineiston välistä yhteyttä. Kuvassa 2 on esitetty argumentin kannalta vain keskeiset osatekijät, jotka voidaan nähdä eräänlaisina minimiehtoina argumentin rakenteelle. Kuvasta 1 poiketen näiden minimiehtojen ulkopuolelle jää muun muassa vastaväite, joka tyypillisesti ilmenee argumentin arvioinnissa ja täten luontevammin sisältyy argumentointiprosessin kuvaukseen (ks. Kuva 1).



Kuva 2. Yksinkertaistettu Toulmin-perustainen kuvaus argumentista (suomennos mukailien Osborne ym., 2001; Osborne ym., 2017).

Opiskelijoiden sisältötiedon osaamiseen yhteys heidän argumentointitaitoihinsa näyttäytyy tutkimuskirjallisuuden nojalla moninaisena. Sisältötiedon osaamisen on havaittu tukevan opiskelijoiden valmiuksia osallistua argumentointiin ja tuottaa rakenteellisesti kattavampia argumentteja (Hakyolu & Ogan-Bekiroglu, 2016; Venville & Dawson, 2010; Zohar & Nemet, 2002). Lisäksi argumentointikontekstilla on todettu olevan merkitystä: tutuissa konteksteissa opiskelijoiden on havaittu muodostavan enemmän ja rakenteellisesti kattavampia argumentteja kuin heille tuntemattomissa tai abstrakteissa konteksteissa (von Aufschnaiter ym., 2008). Toisaalta opetuksen myötä opiskelijoiden argumenteissa havaittu rakenteellinen kehitys ei välttämättä näy samanaikaisena sisältötiedon osaamisen kehittymisenä (Murphy ym., 2018; Ogan-Bekiroglu & Eskin, 2012). Lisäksi argumentointilanteissa opiskelijoiden on havaittu pystyvän muodostamaan rakenteellisesti kattavia argumentteja, vaikka heidän sisältötiedon osaamisensa on näyttäytynyt pinnallisena (von Aufschnaiter ym., 2008). Kokonaisuutena vaikuttaa siltä, että sisältötiedon ja argumentin rakenteen välillä on monitahoinen yhteys, jonka ymmärtämiseksi tässä tutkimuksessa tarkastellaan mekaniikan kurssikoevastauksia argumenttirakenteen ja sisältötiedon näkökulmista.

Impulssi-liikemäärä-periaatteen osaaminen yliopistofysiikassa

Tässä artikkelissa yliopisto-opiskelijoiden argumentteja tarkastellaan impulssi-liikemäärä-periaatteen kontekstissa. Impulssi-liikemäärä-periaate liittää yhteen useita mekaniikan käsitteitä, kuten nopeuden ja voiman. Impulssi-liikemäärä-periaatteen mukaan jäykkään kappaleeseen kohdistuva impulssi \bar{I} on yhtä suuri kuin kappaleen liikemäärän muutos $\Delta\bar{p}$.

Liikemäärä \bar{p} määritellään kappaleen massan m ja sen nopeuden \bar{v} tulona

$$\bar{p} = m\bar{v}. \quad (1)$$

Muistetaan vielä impulssin määritelmä vakiovoiman \bar{F} vaikuttaessa kappaleeseen ajan Δt

$$\bar{I} = \bar{F}\Delta t, \quad (2)$$

ja periaate voidaan esittää muodossa

$$\bar{F}\Delta t = \Delta\bar{p}. \quad (3)$$

Periaatteen voidaan ajatella kuvaavan kappaleeseen kohdistuvan voiman ja kappaleen liikkeen muutoksen välistä kausaaliyhteyttä: kappaleeseen kohdistuva impulssi ($\bar{F}\Delta t$) aiheuttaa kappaleelle liikemäärän muutoksen ($\Delta\bar{p}$). Kausaaliyhteyden korostaminen opetuksessa on havaittu edistävän periaatteen oppimista (Staveland & Schwartz, 2022), vaikkakin periaatteen soveltaminen on tuottanut ongelmia yliopisto-opiskelijoille (Pride ym., 1998; Singh & Rosengrant, 2003). Lawsonin ja McDermottin (1986) mukaan näitä ongelmia on ilmennyt, kun opiskelijat ovat yrittäneet verrata eri massaisten ja eri nopeudella liikkuvien vaunujen liikemäärien suuruuksia määritelmän (kaava 1) mukaisesti nopeuden ja massan avulla. Tällöin opiskelijat ovat virheellisesti väittäneet, että suuremmalla nopeudella liikkuva kevyempi vaunun on saa aina yhtä suuren liikemäärän kuin hitaammin liikkuva, raskaampi vaunu,

sillä nopeus ja massa ovat määritelmän mukaan suoraan verrannolliset liikemäärän suuruuteen. Lawson ja McDermott (1986) kutsuvat tällaista opiskelijoiden päättelyä kompensatioargumentiksi (compensation argument) ja sen on havaittu johtavan impulssi-liikemäärä-periaatteen kanssa ristiriitaisiin päätelmiin kappaleiden liikemäärän muutoksesta (Pride ym., 1998).

TUTKIMUSKYSYMYKSET, -KONTEKSTI, AINEISTONKERUU JA -ANALYYSI

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan impulssi-liikemäärä-periaatetta käsittelevän kurssikoetehtävän vastauksia Toulmin-perustaisen argumenttimallin avulla. Tarkastelulla haetaan vastausta seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Minkälaisia argumentin rakenteen osia kurssikoevastaukset sisältävät?
2. Millainen yhteys vastausrakenteen ja vastauksen sisällön oikeellisuuden välillä on?

Vastausten rakennetta verrataan Kuvassa 2 esitettyyn yksinkertaistettuun Toulmin argumenttirakenteeseen siten, että vastauksesta tunnistetaan väite (tai johtopäätös), viittaus aineistoon ja päättelyosuus. Lisäksi tarkastellaan vastausten sisältötiedon oikeellisuutta suhteessa vastausten argumenttirakenteeseen. Pyrkimyksenä on ymmärtää missä määrin argumenttiin rinnastettavan rakenteen tarkastelu voi täydentää opiskelijoiden sisältötiedon osamisen arviointia.

Tutkimusaineisto on kerätty Itä-Suomen yliopiston Fysiikan peruskurssilta I (5 op) syksyllä 2018. Kurssilla käsitellään liikeilmiöitä yhdessä ja kahdessa ulottuvuudessa sekä perehdytään Newtonin lakeihin, mekaniikan periaatteisiin ja jäykkien kappaleiden pyörimisliikkeeseen². Kurssi sisälsi luentoja, viikoittaiset laskuharjoitukset ja kolme 90 min tutoriaaliharjoitusta kurssin keskeisimmistä aiheista³. Kurssin päätteeksi pidettiin 120 minuutin kurssikoe, joka sisälsi viisi tehtävää, joihin opiskelijat vastasivat itsenäisesti valvotussa koelissa. Kurssikokeeseen osallistui 50 opiskelijaa, joista 45 antoi suostumuksensa vastausten tutkimuskäytölle.

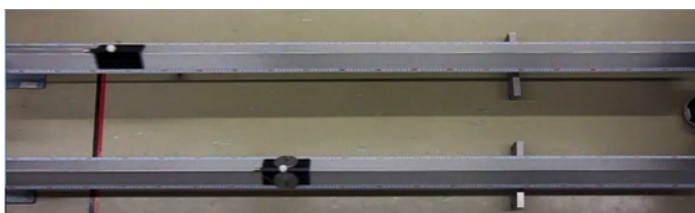
Tutkimusaineisto kerättiin kurssikokeen tehtävällä, jota varten koelalin valkokankaalla pyöri video kahden vaunun liikkeestä erillisillä ilmatyynyraidoilla (ks. Kuva 3). Videolla kelkat ovat aluksi paikallaan, jonka jälkeen liikkuvat ilmaratojen suuntaisesti. Tehtävänannossa kerrottiin, että videolla näkyviä kelkkoja vedetään vakiovoimalla \bar{F} lähdöstä maaliviivalle saakka (punamusta viiva Kuvassa 3). Lisäksi kerrottiin, että ilmatyynyradan ja kelkan välisen kitkakertoimen voidaan approksimoida olevan nolla. Videolla kelkat lähtevät liikkeelle yhtä aikaa samalta etäisyydeltä maaliviivasta. Opiskelijoilta kysyttiin kelkkojen liikkeestä neljä kysymystä, joista yksi käsitteli im-

² Kurssi perustuu Knightin (2014) oppikirjaan lukuihin 1-14.

³ Tutorial-harjoitukset perustuvat *Tutorials in Introductory Physics* (McDermott & Shaffer, 2010) opetusmateriaaliin.

pulssi-liikemäärä-periaatetta: onko ylemmällä kelkalla maaliviivalla suurempi, pienempi vai yhtä suuri liikemäärä kuin alemmalla kelkalla?⁴ Vastaukseen pyydettiin myös perustelut.

Kurssikoevastaukset on valittu aineistoksi, koska opiskelijat ovat yleensä motivoituneita vastaamaan kurssikokeeseen parhaan kykynsä mukaisesti, jotta heidän opintonsa etenisivät mahdollisimman hyvin. Niinpä kurssikoevastausten voidaan olettaa kuvaavan hyvin opiskelijoiden sisältötiedon hallintaa ja esittämisen osaamista koetilanteessa. Driverin ym. (2000) mukaan argumentti voidaan nähdä yksilön ajattelun ja kirjoittamisen lopputulemana syntynyttä tuotoksena⁵, joka pyrkii vakuuttamaan muut sen kannatettavuudesta ja oikeellisuudesta muihin tuotoksiin verrattuna. Tämän nojalla kurssikoevastaus, jossa opiskelija on itsenäisen ajattelun tuloksena esittänyt kirjallisesti perustelun väitteen, voidaan nähdä argumenttina.



Kuva 3. Kuvakaappauskuvat aineistokeruutehtävän videosta. Ylemmässä kuvassa kelkat ovat paikoillaan lähtöpaikassa ja alemmassa kuvassa toinen kelkoista on saavuttanut maaliviivan.

Aineistonkeruutehtävän oikea vastaus on, että ylemmällä kelkalla on pienempi liikemäärä maaliviivalla kuin alemmalla kelkalla. Vastauksen voi päätellä siitä, että vakiovoima \bar{F} vaikuttaa lyhyemmän aikaan ylempään kelkkaan, joka saavuttaa maaliviivan ensin. Impulssi-liikemäärä-periaatteen (Kaava 3) nojalla ylempi kelkka saa pienemmän liikemäärän muutoksen ja samalla myös pienemmän loppuliikemäärän kuin alempi kelkka.

Tämänkaltaisen tehtävän on havaittu tehokkaasti erottelevan yliopisto-opiskelijat impulssi-liikemäärä-periaatteen osaamisen perusteella (Pride ym., 1998; Lawson & McDermott, 1986).

Vastaukset analysoitiin sisällönanalyysin keinoin (Presad, 2008). Argumentointiin syventynyt tukija perehtyi vastauksiin tunnistamalla kunkin vastauksen argumenttiin rinnastettavan rakenteen (Osborne ym., 2001). Analyysissä

⁴ Aineistonkeruutehtävä on kokonaisuutena nähtävissä lähteessä (Kinnunen, 2019).

⁵ "... argument can be seen to take place as an *individual* activity, through thinking and writing,..." (Driver yms. 2023, s. 290-291)

huomio kiinnittyi, onko vastauksessa löydettävissä (A) tehtävän kysymykseen kantaottava vastaus väitteen, johtopäätöksen tai ilmauksen muodossa, (B) viittaus väitettävä tukevaan aineistoon empiirisissä tai teoreettisessa muodossa, (C) aineiston väitteen yhteyttä selventävä päättelyn kuvaus. Rakennanalyysin lopputulemana vastaukset luokiteltiin alla esiteltyihin luokkiin, joissa on kolme, kaksi tai yksi argumentin rakenteen osaa. Vastauksessa on esitetty:

- väite, viittaus aineistoon ja päättelyn kuvaus. (A+B+C)
- väite ja viittaus aineistoon (A+B) tai väite ja päättelyn kuvaus (A+C).
- väite (A) tai viittaus aineistoon (B).

Seuraavassa vaiheessa vastaukset analysoitiin sisältötiedon oikeellisuuden näkökulmasta ja luokiteltiin oikeisiin tai väärin vastauksiin. Lopuksi analyysin tulokset koottiin yhteen ristiintaulukoinnin avulla.

TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty tulokset analysoiduista kurssikoevastauksista siten, että tyhjät vastaukset on jätetty pois taulukosta selkeyden vuoksi.

Taulukko 1. Opiskelijoiden kurssikoevastaukset impulssi-liikemäärä-periaatetehtävään argumentin rakenteen ja sisältötiedon oikeellisuuden näkökulmista arvioituna (N=42).

Vastauksessa on esitetty	Sisältötiedon näkökulmasta		
	Oikein	Väärin	Yhteensä
väite, viittaus aineistoon ja päättelyä	38 %	36 %	74 %
väite ja aineistoa tai väite ja päättelyä	2 %	17 %	19 %
väite tai aineistoa	0 %	7 %	7 %
Yhteensä	40 %	60 %	100 %

Taulukosta 1 nähdään, että suurin osa (74 %) vastauksista on argumentin rakenteen näkökulmasta kattavia, sillä ne sisältävät kolme argumentin osaa: väitteen, viittauksen aineistoon ja aineiston ja väitteen välistä yhteyttä selventävän päättelyn kuvauksen. Huomionarvoista on, että noin puolet näistä rakenteellisesti kattavista vastauksista on sisältötiedon näkökulmasta oikein ja puolet väärin. Tyypillisesti rakenteellisesti vahvassa, mutta sisältötiedon näkökulmasta virheellisessä vastauksessa esitettiin, että kelkoilla on sama liikemäärä maaliviivalla seuraavan esimerkkivastauksen mukaisesti: *"p = mv, Sama. Alemmalla on suurempi massa, mutta pienempi nopeus, mutta ylemmällä on suurempi nopeus, mutta pienempi massa."* Vastauksessa väitettä edustaa sana *Sama*, sillä sen avulla opiskelija ottaa kantaa tehtävänannon kysymykseen onko ylemmällä kelkalla maaliviivalla suurempi, pienempi vai yhtä suuri lii-

kemäärä kuin alemmalla kelkalla. Viittaus väitettä tukevaan aineistoon esitetään liikemäärän määritelmän muodossa: $p = mv$, ja loput vastauksessa kuvaavat päättelyä ja selventää millä perusteella liikemäärän määritelmä tukee vastauksessa esitettyä väitettä.

Argumenttiin rinnastettavan rakenteen kannalta puutteelliset vastaukset (yhteensä 26 %) ovat pääosin väärin myös sisältötiedon näkökulmasta arvioituna. Tyypillinen rakenteellisesti puutteellinen ja sisällöllisesti virheellinen vastaus ei sisällä väitettä tukevaa aineistoa tai aineiston ja väitteen välisen yhteyden (päättelyn) kuvausta. Seuraavassa esimerkkivastaus, joka on argumentin rakenteen näkökulmasta puutteellinen: *"Liikemäärä on suurempi, koska kiihtyvyyden on kummassakin kelkassa tasainen ja ylempi kelkka kerkesi maaliviivalle ensin."* Vastauksen ensimmäisessä lauseessa esitetty väite (*Liikemäärä on suurempi*) ei saa tuekseen aineistoa, joka antaisi perusteen kelkan kiihtyvyyden, matka-ajan ja liikemäärän väliselle yhteydelle, vaikka niihin käsitteisiin kiinnittyvää päättelyä vastauksessa kuvataan. Niinpä vastauksesta puuttuu viittaus aineistoon.

Pieni osa vastauksista (7 %) sisälsi argumentin rakenteen näkökulmasta vain väitteen tai viittauksen havaintoaineistoon, kuten on nähtävissä seuraavassa esimerkkivastauksessa: *"Kelkoilla on yhtä suuret liikemäärät"*. Tässä esitetty väite ei saa tuekseen aineistoa eikä päättelyä kuvaavaa tietoa, minkä vuoksi se on luokiteltu argumentin rakenteen näkökulmasta puutteelliseksi.

Vastauksista 40% oli sisältötiedon näkökulmasta oikein ja loput 60% väärin.

POHDINTA

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä tarkastellaan, minkälaisia argumentin rakenteen osia kurssikoevastaukset sisältävät. Suurin osa koevastauksista sisältää argumentin rakenteen kannalta keskeiset tekijät eli väitteen, viittauksen aineistoon ja päättelyn kuvauksen. Näiden vastausten voidaan tulkita olevan kattavia argumentin rakenteen kannalta. Kattavien vastausten suuri osuus kieli siitä, että yksinkertaistettu Toulmin-perustainen argumenttimalli (Ks. Kuva 2) vaikuttaa maltillisesti erottavan erilaisia vastauksia argumenttiin rinnastettavan rakenteen perusteella. Esimerkiksi mallissa ei huomioida missä järjestyksessä argumentin rakenneosat ilmenevät vastauksessa, minkä vuoksi se voidaan nähdä esitysjärjestyksen suhteen invarianttina analyysitapana. Esitysjärjestyksen huomioimattomuus on perustelua kurssikoevastauksien analysoinnissa, sillä kokemuksemme mukaan koetilanteessa opiskelijat usein keskittyvät tuottamaan fysiikan sisältötiedon mukaisia vastauksia, eivätkä kiinnitä niin paljoa huomiota vastaukseen sisällytettyjen tietojen esitysjärjestykseen. Jos analyysistä haluaisi nykyistä erottelevamman, arviointikriteerejä voisi monipuolistaa, kuten on tehty Venvillen & Dawsonin (2010) ja Osbornen, ym. (2004) tutkimuksissa. Riskinä tosin on, että monipuolisemmalla Toulmin-perustaisella argumenttimallilla argumentin rakenneosia on vaikeampi erottaa toisistaan (Nielsen, 2013), mikä heikentäisi analyysin luotettavuutta. Niinpä tutkimuksessa hyödynnetty argumenttimalli (ks. Kuva 2) ja sen pohjalta toteutettu aineistonkeruu vaikuttaa hyödylliseltä

arviointitavalta muodostettaessa yleiskuvaa opiskelijoiden argumentoinnista. Yksityiskohtaisempi tarkastelu edellyttäisi monisyisempää argumenttimallia, jonka käyttö voi kuitenkin hankaloittaa kokonais kuvan saamista, kun tarkastellaan tämän kaltaisia yksinkertaisia fysiikan tehtäviä.

Toisessa tutkimuskysymyksessä tarkastellaan vastauksen argumenttiin rinnastettavan rakenteen ja sen sisällön oikeellisuuden välistä yhteyttä. Argumentin rakenteen kannalta kattavista vastauksista noin puolet oli sisältötiedon näkökulmasta oikein ja noin puolet väärin. Tulos osoittaa, että sisällöllisesti virheelliset vastaukset voivat olla argumentin rakenteen kannalta kattavia Toulmin-perustaisessa rakenneanalyysissä. Tulos ilmentää argumentin rakenteen ja sisältötiedon osaamisen riippumattomuutta ja samalla se poikkeaa aikaisemmin raportoidusta argumentoinnin ja sisältötiedon osaamisen välisestä positiivisesta korrelaatiosta (Hakyolu & Ogan-Bekiroglu, 2016; Venville & Dawson, 2010; Zohar & Nemet, 2002). Eroavaisuus ilmentää argumentoinnin arvioinnin ja sisällön osaamisen välisen yhteyden moninaisuutta, joka osin voi johtua keskenään hyvin erilaisten tutkimusasetelmien, -kontekstien ja aineistonkeruutehtävien käytöstä (vrt. Murphy ym., 2018; Ogan-Bekiroglu & Eskin, 2012; von Aufschnaiter ym., 2008). Erilaiset tulokset ilmentävät tämän hetken tutkimustiedon hajanaisuutta ja tarvetta lisätutkimuksille eri koulutustasoilla ja -aloilla.

Virheellisten vastausten suuri osuus (60%) vahvistaa käsitystä impulssi-liikemäärä-periaatteen osaamisen haasteista yliopistotasolla (Pride ym., 1998; Singh & Rosengrant, 2003). Virheellisissä vastauksissa korostuu kompensatioargumentille (Lawson & McDermott, 1986) tyypillinen ajattelutapa, jossa kelkkojen loppuliikemääriä vertaillaan liikemäärän määritelmän perusteella impulssi-liikemäärä-periaatteen soveltamisen sijaan. Vaikka nämä vastaukset ovat väärin, usein niistä erottuu selvästi argumentin rakenteen kannalta keskeiset tekijät, minkä vuoksi ne ovat rakenteellisesti kattavia (ks. esimerkkivastaus s. 7). Rakenteellisesti kattavissa mutta sisällöllisesti virheellisissä vastauksissa välittyy varsin selkeä ja yksiselitteinen kuva opiskelijan sisältötiedon käytöstä, mikä poikkeaa tuntuvasti rakenteellisesti puutteellisista vastauksista, joissa käsitteiden käyttö näyttäytyy hajanaisemmalta ja perusteettomalta (ks. esimerkkivastaus s. 7). Niinpä vastausten rakenneanalyysiä voisi koulutuksessa hyödyntää siten, että analyysillä voisi tunnistaa opiskelijat, joilla on taipumus esittää rakenteellisesti puutteellisia, epäselviä ja perusteetomia vastauksia. Tunnistamisen myötä heille voisi suunnata kohdennettua opetusta vastaustekniikan selventämiseksi ja sisältötiedon käytön jäsentämiseksi. Lisäksi rakenneanalyysillä voisi tunnistaa ne opiskelijat, jotka esittävät rakenteen kannalta kattavia vastauksia, jotka ovat kuitenkin sisältötiedon kannalta väärin. Heille voisi suunnata opetusta, joka syventäisi sisältötiedon ymmärtämistä ja edistäisi virheellisistä ajatusmalleista luopumista. Kokonaisuutena vaikuttaa siltä, että rakenneanalyysistä voisi kehittyä hyödyllinen opetuksen eriyttämisen väline, jonka avulla opiskelijoiden olisi mahdollista saada heidän osaamisensa kehittymistä tarkemmin tukevaa opetusta.

Tämän tutkimusten tulosten valossa vaikuttaa mahdolliselta, että argumentin rakenteen kannalta kattavammat vastaukset välittävät selkeämmin ja yksiselitteisemmän kuvan opiskelijoiden käsitteiden käytöstä kuin rakenteellisesti puutteellisemmat vastaukset. Jos vastausrakenteen ja sen selkeyden välillä on tällainen yhteys, sitä voisi hyödyntää opetuksessa erilaisten kirjallisesti palautettavien tehtävien arvioinnissa. Tällöin sisällöllisesti virheellisestä, mutta rakenteellisesti kattavasta vastuksesta voisi antaa opiskelijalle perustellusti tunnustusta osana formatiivista arviointia. Saatua tunnustusta voisi kannustaa ja harjaannuttaa opiskelijoita rakenteellisesti kattavien vastausten laatimiseen, mikä voisi pidemmällä aikajänteellä edistää oman ajattelun selkeää ilmaisemista. Tällöin fysiikan yliopisto-opinnot tarjoaisivat sisältötiedon osamista täydentäviä ajattelun kielentämisen ja ilmaisemisen taitoja osana asiantuntijuuteen kasvamisessa.

LÄHTEET

- Bogar, Y. (2019). Synthesis Study on Argumentation in Science Education. *International Education Studies*, 12(9), 1-14. Noudettu osoitteesta <https://doi.org/10.5539/ies.v12n9p1>
- Böttcher, F.; & Meisert, A. (2010). Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. *Science & Education*, 20, 103-140. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9304-5>
- Cavagnetto, A. R. (2015). Argument to foster scientific literacy: A review of argument interventions in K-12 science contexts. *Review of Educational Research*, 80(3), 336-371. <https://doi.org/10.3102/0034654310376953>
- Demirbag, M., & Gunel, M. (2014). Integrating Argument-Based Science Inquiry with Modal Representations: Impact on Science Achievement, Argumentation, and Writing Skills. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 14, 386-391.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291098-237X%28200005%2984%3A3%3C287%3A%3AAID-SCE1%3E3.0.CO%3B2-A>
- Erduran, S., Ozdem, Y., & Park, J.-Y. (2015). Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. *International Journal of STEM Education*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0020-1>
- Erduran, S., Simon, S. & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for

- studying science discourse. *Science Education*, 88, 915-933.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20012>
- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussman, H., Pekrun, R., . . . Eberle, J. (2014). Scientific Reasoning and Argumentation: Advancing an Interdisciplinary Research Agenda in Education. *Frontline Learning Research*, 2(3), 28-45. <https://doi.org/10.14786/flr.v2i2.96>
- Hakyolu, H., & Ogan-Bekiroglu, F. (2016). Interplay between content knowledge and scientific argumentation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(12), 3005-3033.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. & Puig, B. (2012). Argumentation, Evidence Evaluation and Critical Thinking. Teoksessa B. Fraser; K. Tobin & C. McRobbie (toim), *Second Springer International Handbooks of Education*. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_66
- Kinnunen, J. (2019). *Opiskelijoiden argumentointi ja fysiikan sisältötiedon osaaminen perusopintotason työ-energia- ja impulssi-liikemääräperiaatteiden tehtävissä*. Joensuu: Fysiikan ja matematiikan laitos, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Itä-Suomen yliopisto.
<https://erepo.uef.fi/handle/123456789/21594?locale-attribute=fi>
- Knight, R. D. (2014). *Physics for scientists and engineers - a strategic approach with modern physics*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Kurki, L. & Tomperi, T. (2011). *Väittely opetusmenetelmänä*. Tampere: Eurooppalaisen filosofian seura ry / niin & näin.
- Lawson, R. A. & McDermott, L. C. (1986). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55(9), 811-817.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (2010). *Tutorials in Introductory Physics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Murphy, P. K., Greene, J. A., Allen, E., Baszczewski, S., Swearingen, A. & Wei, L. (2018). Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through Quality Talk discussions. *Science Education*, 102, 1239-1264.
- Nielsen, J. A. (2013). Dialectical Features of Students' Argumentation: A Critical Review of Argumentation Studies in Science Education. *Research in Science Education*, 43, 371-393.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-011-9266-x>
- Niemikari, R. (2019). Stephen toulmin, argumentit: luonne ja käyttö. *Politiikka*, 61, 260-263.

- Nousiainen, M., Kesonen, M. & Vuola, K. (2021). Argumentointimallit fysiikan tiedon kuvaamisessa. *Ainedidaktiikka*, 5(1), 66-84.
<https://journal.fi/ainedidaktiikka/article/view/100097/65899>
- Ogan-Bekiroglu, F. & Eskin, H. (2012). Examination of the relationship between engagement in scientific argumentation and conceptual knowledge. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10, 1415-1443.
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, 463-466.
- Osborne, J. & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95, 627-638.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.20438>
- Osborne, J., Donovan, B. M., Henderson, J. B., MacPherson, A. C. & Wild, A. (2017). *Arguing from evidence in middle school science: 24 activities for prouctive talk and deeper learning*. California: Thousand Oaks.
- Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 994-1020.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20035>
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. & Monk, M. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review*, 82(301), 63-70.
- Presad, D. B. (2008). Content Analysis - A method in Social Science Research. Teoksessa D. K. Lal Das & V. Bhaskaran (toim.), *Research methods for Social Work* (ss. 173-193). New Delhi: Rawat.
- Pride, O., Vokos, S. & McDermott, L. C. (1998). The challenge of matching learning assessments to teaching goals: An example from the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 66(2), 147-157.
- Rapanta, C. & Christodoulou, A. (2022). Walton's types of argumentation dialogues as classroom discourse sequences. *Learning, Culture and Social Interaction*, 36, 100352.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210656118303520?pes=vor>
- Rapanta, C., Garcia-Mila, M. & Gilabert, S. (2013). What is meant by argumentative competence? An integrative review of methods of analysis and assessment in education. *Review of Educational Research*, 83(4), 483-520.
- Sampson, V. & Clark, D. B. (2008). sassessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and

- recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447-472.
<https://doi.org/10.1002/sce.20276>
- Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 160-173.
- Setyaningsih, A. & Rahayu, S. (2023). Research trends on argumentation in science education from the year 2010 to 2020. *AIP Conference Proceedings* 2569, 030007. Noudettu osoitteesta <https://doi.org/10.1063/5.0113111>
- Singh, C. & Rosengrant, D. (2003). Multiple-choice test of energy and momentum concepts. *American Journal of Physics*, 71(6), 607-617.
- Staveland, O. & Schwartz, P. (2022). Pedagogy Changes Can Improve Concept. *The Physics Teacher*, 60, 508-512.
- Toulmin, S. (1957/2003). *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511840005>
- Venville, G. J. & Dawson, V. M. (2010). The Impact of a Classroom Intervention on Grade 10 Students' Argumentation Skills, Informal Reasoning, and Conceptual Understanding of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 952-977.
- von Ausfschnaiter, C., Erduran, S. O. & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of research in science teaching*, 45, 101-131.
- Zohar, A. & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.