



TYÖKÄSITTEEN OPPIMINEN TUTORIAALI-INTERVENTION AIKANA

Mikko Kesonen¹, Esa Harjulampi², Risto Leinonen¹, Pekka E. Hirvonen¹ & Mervi Asikainen¹

¹Itä-Suomen yliopisto, ²Liperin koulu

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan missä määrin pienryhmätyöskentelyyn perustuva Tutorials in Introductory Physics –opetusmenetelmä tukee työkäsitteen oppimista luentosaliopetukseen suunnitellun tutoriaali-intervention aikana. Interventio toteutettiin mekaniikan perusopintotason kurssin 90 minuutin luentokerralla, jonka aluksi ja lopuksi 82 opiskelijaa vastasi kirjallisiin testikysymyksiin. Esi- ja jälkitestin välillä opiskelijat tekivät tutoriaalitehtäviä ohjaajien avustamana. Esi- ja jälkitestitehtävien oikeiden vastausten ja perusteluiden määrä kasvoi noin 30 prosenttiyksikköä, mikä vastaa tutoriaalien pienryhmätoteutuksella saatuja oppimistuloksia mekaniikan kontekstista. Niinpä luentosalikontekstissa toteutettu tutoriaali-interventio vaikuttaa tukevan työkäsitteen oppimista yhtä paljon kuin pienryhmätyöskentelyyn nojautuva tutoriaaliopetus.

JOHDANTO

Energia on kiistatta yksi fysiikan keskeisimmistä suureista. Sen ominaisuuksia usein luonnehditaan energian muuntumisprosessien avulla. Työn käsitteellä on keskeinen merkitys näiden muuntumisprosessien ymmärtämisessä, minkä vuoksi sen oppimiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Työ W määritellään kappaleeseen kohdistuvan voiman \vec{F} ja siirtymän $d\vec{s}$ pistetulona.

$$W = \int_{s_0}^{s_1} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

Käytännössä määritelmä tarkoittaa sitä, että jos voima- ja siirtymävektorin välinen kulma on pienempi kuin 90° , työ on positiivinen. Jos voima- ja siirtymävektorin välinen kulma on suurempi kuin 90° , työ on negatiivinen. Jos voima- ja siirtymävektorin välinen kulma on tasan 90° , työ on nolla.

Työn määritelmän suoraviivaisuudesta huolimatta opiskelijoilla on havaittu vaikeuksia tunnistaa, milloin työ on positiivista ja milloin negatiivista (Lindsey, Heron & Shaffer, 2009). Lisäksi opiskelijoilla on usein vaikeuksia tunnistaa työn osuutta energian muuntumisprosesseissa (Meltzer, 2004).

Eräs pyrkimys tukea työkäsitteen oppimista esitetään *Tutorials in Introductory Physics* -opetusmateriaalissa (McDermott & Shaffer, 2010). Opetusmateriaali on kehitetty Washingtonin yliopiston fysiikan opetuksen tutkimusryhmässä ja sen on osoitettu johtavan perinteistä luento-opetusta parempiin oppimistuloksiin useissa fysiikan aihealueissa (McDermott, 2001; Finkelstein & Pollock, 2005). Viikoittaisten tutoriaaliharjoitusten aikana opiskelijan perehtyvät pareittain tai pienissä ryhmissä vaikeaksi havaittuihin fysiikan aihealueisiin tutoriaalityöohjeen ja kahden ohjaajan avustamana noin 20-25 henkilön opetusryhmissä. Ohjaajien tehtävänä on pyrkiä aktivoimaan opiskelijoiden ajattelua muun muassa kysymyksien avulla siten, että opiskelijat pystyisivät päättämään työohjeen tehtäviin oikeat vastaukset mahdollisimman itsenäisesti. Tutoriaali-opetusmenetelmään kuuluu myös harjoituskertaa edeltävä esitesti ja harjoituskerran jälkeen, usein välikokeiden yhteydessä pidettävä jälkitesti. Esi- ja jälkitestit sisältävät käsitteellisiä tehtäviä, joiden osaaminen edellyttää tutoriaalissa käsitellyn fysiikan sisältötiedon syvällistä hallintaa.

Tutoriaaliopetusmenetelmän käyttöönotto vaatii huomattavia lisäresursseja perinteiseen fysiikan luento-opetukseen verrattuna (Pollock & Finkelstein, 2008), mikä voi olla esteenä tutoriaalien käyttöönotolle. Tutoriaalien käyttöönoton helpottamiseksi tässä tutkimuksessa tarkastellaan tutoriaali-interventiota, joka mahdollistaa tutoriaaliopetusmateriaalien hyödyntämisen pienimmillä lisäresursseilla. Tutoriaali-interventiossa tutoriaaliharjoitus pidetään luentosalissa pienryhmäopetuksen sijaan, jolloin yksittäiseen harjoituskertaan kerralla osallistuvien opiskelijoiden määrä voi olla moninkertainen pienryhmäopetukseen verrattuna. Tarkastelussa keskitytään arvioimaan tutoriaali-intervention vaikuttavuutta työkäsitteen oppimiseen seuraavan tutkimuskysymyksen avulla: *Kuinka hyvin opiskelijat soveltavat työn käsitettä ennen ja jälkeen tutoriaali-interventiota?*

Tutkimuskysymykseen vastaaminen tuo tietoa tutoriaali-intervention vaikuttavuudesta työkäsitteen oppimiseen. Lisäksi tutkimuskysymykseen vastaaminen auttaa muodostamaan laajempaa käsitystä siitä, mitkä tekijät vaikuttavat opetuksen innovaation - tässä tapauksessa tutoriaalien - siirrettävyyteen.

AINEISTONKERUU JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus toteutettiin Itä-Suomen yliopiston Fysiikan peruskurssilla I. Kurssi kuuluu fysiikan perusopintoihin ja se keskittyy mekaniikkaan kirjan *Physics for Scientists and Engineers* (Knight, 2014) lukujen 1-13 ja 15 mukaisesti.

Kurssin kontaktiopetukseen kuuluu 40 luentotuntia (à 45 min), joista kuusi tuntia (3 x 2 h) käytetään tutoriaali-interventioihin ja 16 tuntia laskuharjoituksiin. Kurssin luennoilla luennoitsija käsittelee kurssin kannalta keskeistä fysiikan sisältötietoa muun muassa esittämällä erilaisia esimerkkejä. Laskuharjoituksissa opiskelijat esittävät ratkaisuja kotitehtäviin ja luennoitsija kommentoi tai täydentää ratkaisuja tarpeen mukaan. Tutoriaali-interventio toteutetaan 90 minuutin luentokerralla, jonka aikana opiskelijat vastaavat esitestin, tekevät työskentelyvaiheen tehtäviä ja vastaavat jälkitestiin. Työohjeen ja testien tehtävät perustuivat tutoriaali-opetusmenetelmän materiaaleihin (McDermott & Shaffer, 2002; McDermott & Shaffer, 2003). Intervention aluksi opiskelijoilla oli noin 12 minuuttia aikaa vastata itsenäisesti esitestin tehtäviin. Tämän jälkeen opiskelijat tekevät tutoriaaliohjeen tehtäviä pääsääntöisesti pareittain tai pienissä ryhmissä. Lisäksi kolme ohjaajaa kiertelee seuraamassa opiskelijoiden edistymistä ja pyrkivät aktivoimaan opiskelijoiden ajattelua esimerkiksi tarkentavien kysymysten avulla. Tutoriaali-intervention lopuksi opiskelijat vastaavat jälkitestiin ja palauttavat testivastauksensa ohjaajille.

Tutkimuksen aineisto kerättiin työn käsitteeseen keskittyvän tutoriaali-intervention yhteydessä syksyllä 2016. Ennen tutoriaalia työn käsite oli opetettu luennoilla ja sitä oli sovellettu kurssin laskuharjoituksissa. Itse tutoriaali-interventioon osallistui 82 opiskelijaa, joista 80 opiskelijaa antoi luvan käyttää vastauksiaan tutkimustarkoituksiin. Ohjaajia interventioon osallistui viisi ja he olivat perehtyneet työohjeen tehtäviin ennen interventiota.

Esitesti sisälsi kaiken kaikkiaan 10 tehtävää. Näistä tehtävistä varsinaiseen analyysiin valittiin kaksi tehtävää sen perusteella, että niissä työn käsitettä tuli soveltaa mahdollisimman samalla tavoin kuin jälkitestin tehtävissä. Lisäksi esitestehtävien valintaan vaikutti se, että ne oli sijoitettu testin alkupäähän. Alkupäähän sijoitettuihin tehtäviin saatiin huomattavasti vähemmän tyhjiä vastauksia kuin testin loppupään tehtäviin, mikä luultavasti johtui 12 minuutin aikarajasta.

Esi- ja lopputestehtävien vastaukset analysoitiin teorialähtöistä sisällönanalyysiä (Elo & Kyngäs, 2008) mukaillen. Luokittelussa päähuomio kiinnittyi siihen missä määrin opiskelijan vastaus oli fysiikan sisältötiedon mukainen.

Luokiteltua aineistoa kuvataan suhteellisen frekvenssin, keskiarvon ja keskihajonnan avulla. Tutoriaali-intervention vaikuttavuuden arvioimiseksi hyödynnetään Haken tekijää (Hake's factor) $\langle g \rangle = (\langle s_f \rangle - \langle s_i \rangle) / (100\% - \langle s_i \rangle)$, missä $\langle s_i \rangle$ on keskimääräinen oikeiden vastausten osuus esitestissä ja $\langle s_f \rangle$ on keskimääräinen oikeiden vastausten osuus jälkitestissä. Haken tekijä kertoo, kuinka paljon

opiskelijoiden oikeiden vastausten määrä lisääntyi verrattuna siihen, kuinka paljon niiden oli mahdollista lisääntyä. (Redish & Steinberg, 1999) Haken tekijän arvot jaetaan kolmeen ryhmään seuraavasti (Hake, 1998):

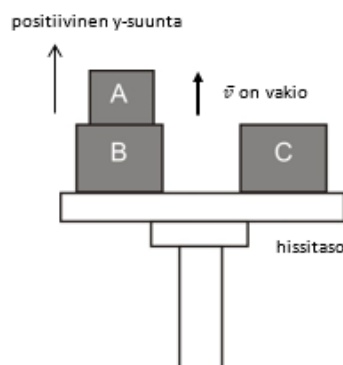
- Korkea Haken tekijä kun $\langle g \rangle \geq 0,7$;
- Keskikokoinen Haken tekijä kun $0,7 > \langle g \rangle \geq 0,3$;
- Matala Haken tekijä kun $\langle g \rangle < 0,3$.

Mekaniikan kontekstissa pienryhmissä toteutetulla tutoriaaliopetuksella saavutetaan yleensä keskikokoinen Haken tekijä, kun taas perinteinen luento-opetus keskimäärin johtaa matalaan Haken tekijään (Redish & Steinberg, 1999).

TULOKSET

Esitestissä hissitaso nosti laatikoita A, B ja C ylöspäin tasaisella nopeudella (katso Kuva 1). Opiskelijoilta kysyttiin, onko kappaleen A kappaleeseen B tekemä työ *positiivista, negatiivista* vai *nolla*. Oikea vastaus on negatiivista, sillä kappale A aiheuttaa voiman alaspäin kappaleeseen B ja kappaleen B siirtymä on ylöspäin. Työ on negatiivista, koska voima ja siirtymä ovat vastakkaisiin suuntiin.

Opiskelijoiden vastausten jakautuminen luokkiin on nähtävillä taulukosta 1.



Kuva 1: Tilanne esitestin tehtävissä (mukaillen (McDermott & Shaffer, 2003)).

Taulukko 1. Esitestitehtävän vastausluokat osuuksineen (N = 80).

Oikea vastaus		33 %
	Oikea perustelu	8 %
	Väärä/epätarkka perustelu	20 %
	Suunnan valinta*	13 %
Väärä vastaus		56 %
	Työtä ei tehdä **	33 %
Ei vastausta		11 %

* yleisin väärä/epätarkka perustelu; ** yleisin väärän vastauksen perustelu

Oikeita vastauksia oli 33 % ja oikein perusteltuja oikeita vastauksia oli 8 %. Väärä suunnan valinta oli yleisin väärä perustelu oikean vastauksen kanssa. Näitä vastauksia oli yhteensä 13 % vastauksista. Näissä vastauksissa opiskelijat tyypillisesti väittivät työn olevan negatiivista, koska käsiteltävä voima oli alaspäin ja suunta alaspäin miellettiin negatiiviseksi. Eräs tällainen vastaus oli: *Negatiivista, koska tehdään työtä painoa vastaan, ja painon suunta on alaspäin eikä ylöspäin, kuten sovittu [positiivinen] y-suunta on.* Muita epätarkkoja perusteluita oikealle vastaukselle oli pelkkä maininta, jonka mukaan A laatikko painaa B laatikkoa. Opiskelijoista 5 % perusteli vastauksensa näin. Lisäksi 3 % opiskelijoiden perusteluista ei sopinut jo muodostettuihin perusteluluokkiin, ja 5 % opiskelijoista ei perustellut vastaustaan millään tavoin.

Vääriä vastauksia oli 56 %. Opiskelijoista 33 % vastasi, että työtä ei tehdä tilanteessa lainkaan, mikä oli yleisin perustelu väärälle vastaukselle. Eräs tällainen vastaus oli: *0, sillä ainoat voimat kappaleiden välillä ovat normaalivoima n_{AB} , n_{BA} ja paino mg_A , ja ne eivät tee työtä.* Toinen vaikeuksia aiheuttanut asia, oli siirtymän ymmärtäminen. Opiskelijoista 14 % ei ymmärtänyt, mitä siirtymää olisi pitänyt tarkistella tai oliko tehtävässä siirtymää ollenkaan. Vääristä vastauksista 4 % ei sopinut mihinkään muodostettuun luokkaan ja 6 % väärin vastanneista ei perustellut vastaustaan ollenkaan.

Esitestissä kysyttiin myös, onko tason laatikkoon B tekemän työn itseisarvo *suurempi, pienempi* vai *yhtä suuri* kuin tason kappaleeseen C tekemän työn itseisarvo (ks. Kuva 1). Tehtävänannossa kerrottiin, että laatikkojen B ja C massat ovat yhtä suuret ja laatikon A massa on pienempi kuin B:n ja C:n massat. Opiskelijoita pyydettiin myös perustelemaan vastauksensa ja mainitsemaan selkeästi, jos heidän mielestään hissien taso ei tee työtä kappaleisiin B ja C. Oikea vastaus on, että hissitaso tekemän työn itseisarvo on suurempi laatikkoon B. Koska hissitaso liikkuu vakionopeudella, laatikoihin kohdistuvien voimien summa on nolla. Hissitaso kohdistaa molempiin laatikoihin B ja C tukivoiman, joka on laatikon C tapauksessa suuruudeltaan sen painon suuruinen. Laatikon B tapauksessa tukivoiman suuruuteen vaikuttavat laatikoiden B ja A painot, jolloin hissitaso aiheuttaa suuremman tukivoiman laatikkoon B kuin laatikkoon C. Työn määritelmän nojalla laatikkoon B tehdään enemmän työtä kuin laatikkoon C. Opiskelijoiden vastauksien jakautuminen luokkiin on nähtävillä taulukosta 2.

Taulukko 2. Esitestitehtävän vastausluokat osuuksineen (N = 80).

Oikea vastaus	53 %
Oikea perustelu	31 %
Epätarkka perustelu	18 %
Väärä vastaus	25 %
Ei ymmärretä A:n vaikutusta B:hen*	10 %
Ei vastausta	23 %

* yleisin väärän vastauksen perustelu

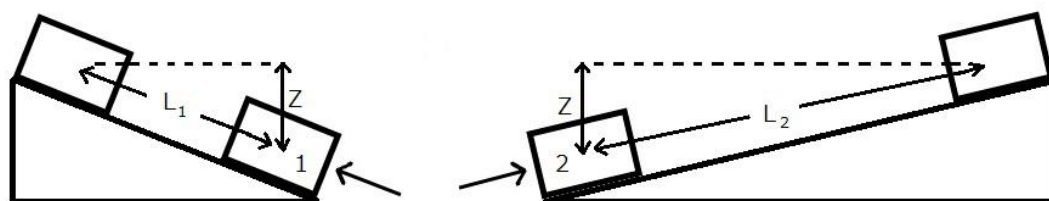
Oikeita vastauksia oli 53 % ja oikein perusteltuja oikeita vastauksia oli 31 %. Vastauksista 18 % oli epätarkasti perusteltu. Ero oikean perustelun ja epätarkan perustelun välillä oli siinä, että oikeassa perustelussa tuotiin esille, että kappaleen B puolella hissitason kohdistuu suurempi paino kuin kappaleen C puolella. Esimerkki oikeasta vastauksesta ja oikeaksi luokitellusta perustelusta: *Suurempi, koska kappaleella B on A:n taakka harteillaan eli kappale B vaikuttaa pintaan kovemmin kuin kappale C*. Epätarkassa perustelussa B ja C puolien painoero ei tullut eksplisiittisesti, esille kuten nähtävissä seuraavassa esimerkivastauksessa: *“Suurempi. Kappaleen B päällä myös kappale A”*. Vastauksista 4 % oli oikein, mutta ilman perusteluja.

Vääriä vastauksia oli 25 %. Opiskelijoista 10 % ei ymmärtänyt A:n vaikutusta B:hen, mikä oli yleisin väärä perusteluluokka. Opiskelijat ikään kuin unohtivat tai sivuuttivat kappaleen A vaikutuksen kokonaan, esimerkkinä seuraava vastaus: *Yhtä suuri, B:n ja C:n massat ovat yhtä suuret, joten nostotyökin on yhtä suuri*. Opiskelijoista 3 % perusteli väärän vastauksensa sillä, että työtä ei tehdä. Vastauksista 6 % oli epämääräisiä, eikä niitä voinut jakaa muihin luokkiin. Opiskelijoista 6 % jätti väärän vastauksensa perustelematta.

Esitestin jälkeen opiskelijat tekivät tutoriaalitehtäviä, joissa he tarkastelivat työn suuruuteen ja sen etumerkkiin vaikuttavia tekijöitä useissa eri tilanteissa¹. Vaikka tutoriaalitehtävissä käsitellään työkäsitten soveltamista monipuolisesti, ne poikkeavat tehtävänannoltaan loppustestin tehtävistä, minkä vuoksi testissä pärjääminen vaatii fysiikan sisältötiedon soveltamista.

Jälkitestissä käsi kohdistaa samansuuruisen voiman laatikoihin 1 ja 2, joilla on sama massa ja ne liukuvat ylös kitkatonta kaltevaa tasoa pitkin (ks. Kuva 2). Laatikkoa 1 työnnettiin matka L1 ja laatikkoa 2 matka L2. Matka L1 oli lyhyempi kuin matka L2, mutta kumpikin laatikko liikkui saman siirtymän Z ylöspäin. Lisäksi laatikon 2 tiedettiin liikkuvan tasaisella nopeudella. Opiskelijoilta kysyttiin, onko käden laatikkoon 1 tekemän työn itseisarvo *suurempi, pienempi vai yhtä suuri* kuin käden laatikkoon 2 tekemän työn itseisarvo. Lisäksi opiskelijoiden tuli perustella vastauksensa. Koska kummassakin tapauksessa voimat ovat samoja, mutta voiman suuntainen siirtymä on laatikolla 1 pienempi, on käden laatikkoon 1 tekemän työn itseisarvon pienempi. Opiskelijoiden vastausten jakautuminen luokkiin on nähtävissä taulukosta 3.

¹ Tutoriaalitehtävät englanninkielisenä on nähtävissä osoitteessa: <https://www.scribd.com/document/339234645/Tutorial-in-Introduction-Physics-Tutorials-Book> (sivut 39-42).



Kuva 2: Jälkitestin tehtävien tilanne (mukaillen (McDermott & Shaffer, 2003)).

Taulukko 3. Jälkitestin 1. tehtävän vastausluokat osuuksineen (N = 80).

Oikea vastaus	65 %
Oikea perustelu	51 %
Väärä/epätarkka perustelu, joissa ei tunnistettu työn suuruuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten voiman vaikutusmatkaa*	13 %
Väärä vastaus	33 %
Tarkasteltiin pystysuuntaista siirtymää Z **	21 %
Ei vastausta	3 %

* yleisin väärä/epätarkka perustelu; ** yleisin väärän vastauksen perustelu

Oikeita vastauksia oli 65 %, ja 51 % vastauksista oli oikein perusteltu. Vääriä ja epätarkkoja perusteluita oli 13 %, ja niissä ei tunnistettu työn suuruuteen vaikuttavia suureita vaan luultiin, että esimerkiksi kallistuskulman suuruus määrittää käden tekemän työn suuruuden, kuten nähtävissä seuraavassa esimerkkitavauksessa: *Laatikkoon 1 tehty työ $W_1 < W_2$, koska tason 1 kulma $\theta_1 > \theta_2$ ja työn lauseke $W = Fs \cos \theta$ on suurimmillaan, kun $\cos \theta = 1$, eli kun $\theta = 0$.* Esimerkin tapauksessa opiskelija on sotkenut voima- ja siirtymävektorin välisen kulman θ tason kallistuskulmaan. Vain yksi oikein vastannut opiskelija (1%) jätti perustelematta vastauksensa

Vääriä vastauksia oli 33 % vastauksista. Yleisin virhe oli siirtymän sotkeminen pystysuoraan komponenttiin Z. Näin vastanneet opiskelijat usein luulivat, että käden tekemän työn suuruus määritetään pystysuuntaisesta siirtymästä, kuten nähtävissä seuraavasta esimerkkitavauksesta: *Yhtäsuuri, kitka ei vaikuta ja pystysuuntainen siirtymä yhtäsuuri. Lisäksi voimat yhtäsuuret.* Näitä perusteluita oli 21 % kaikista vastauksista. Opiskelijoista 5 % luuli voimien olevan tasojen kulmien takia erisuuria ja 5 % vastauksista eivät sopineet muihin luokkiin. Vain yksi väärin vastannut opiskelija jätti vastauksensa perustelematta.

Jälkitestin toisessa tehtävässä tilanne oli sama kuin ensimmäisessä tehtävässä (katso Kuva 2), mutta tällä kertaa opiskelijoiden tuli vastata kysymykseen, "onko painovoiman laatikkoon 1 tekemän työn itseisarvo *suurempi, pienempi* vai *yhtäsuuri* kuin painovoiman laatikkoon 2 tekemän työn itseisarvo? Perustele vastauksesi.". Koska kumpaankin laatikkoon vaikuttaa samansuuruinen painovoima ja

painovoiman suuntainen siirtymä Z on kummallakin laatikolla sama, ovat myös työt yhtä suuret. Opiskelijoiden vastausjakauma on nähtävissä taulukosta 4.

Oikeita vastauksia oli 76 % ja 48 % vastauksista oli perusteltu oikein työn avulla. Vastauksista 3 % oli osattu perustella oikein potentiaalienergian avulla. Vääristä ja epätarkkoja perusteluja oli 16 % vastauksista. Näissä perusteluissa leimallista oli se, ettei niissä mainittu laatikkojen painojen ja pystysuuntaisten siirtymien yhtäsuuruutta, kuten nähtävissä seuraavassa esimerkivastauksessa: *Yhtä suuri, koska [laatikkojen] massa on sama*. Opiskelijoista 3 % väitti, että matka ei vaikuta työhön ja 6 % perusteluista eivät sopineet muihin luokkiin. Vastauksista 10 % oli oikein, mutta ilman perusteluja.

Vääriä vastauksia oli 16 %. Yleisin väärä perustelu liittyi tason kulman merkitykseen. Tason kulman uskottiin vaikuttavan työhön. Tämä käy ilmi seuraavasta esimerkistä: *Suurempi, koska taso on 1. kohdassa jyrkempi*. Tällaisia perusteluja oli 10 % vastauksista. Opiskelijoista 3 % ei tunnistanut, mitä siirtymää olisi pitänyt tarkastella, ja 4 % vastauksista ei sopinut mihinkään muuhun luokkaan.

Taulukko 4. Jälkitestin 2. tehtävän vastausluokat osuuksineen (N = 80).

Oikea vastaus	76 %
Oikea perustelu työn avulla	48 %
Oikea perustelu potentiaalienergialla	3 %
Väärä/epätarkka perustelu, jossa ei tunnistettu laatikkojen painojen ja pystysuorien siirtymien yhtäsuuruutta*	16 %
Väärä vastaus	16 %
Perusteltiin tason kulman suuruudella **	10 %
Ei vastausta	8 %

* yleisin väärä/epätarkka perustelu; ** yleisin väärän vastauksen perustelu

Tuloksista nähdään, että esi- ja jälkitestin välillä oikeiden vastausten osuus kasvoi keskimäärin 43 (\pm 10) prosentista 71 (\pm 6) prosenttiin. Muutosta vastaavan Haken tekijän arvo on 0,49. Oikeiden vastausten ja oikeiden perustelujen osuus kasvoi keskimäärin 19 (\pm 12) prosentista 51 (\pm 1) prosenttiin. Muutosta vastaava Haken tekijän arvo on 0,39. Lisäksi tyhjien vastausten osuus väheni keskimäärin 17 (\pm 6) prosentista 5 (\pm 3) prosenttiin.

JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tuloksista nähdään, että valtaosa opiskelijoista ei osannut soveltaa työn käsitettä esitettävään perinteiseen luentoihin nojautuvan opetuksen jälkeen. Tämä tulos vahvistaa tutkimuskirjallisuudesta välittyvää käsitystä työkäsitteen vaikeudesta (Lindsey et al., 2009; Meltzer, 2004) ja luento-opetuksen riittämättömyydestä syvällisen fysiikan käsitteellisen ymmärryksen saavuttamisessa (Hake, 1998).

Esi- ja jälkitestituloksia vertailemalla nähdään, että työn käsitteeseen keskittyvän tutoriaali-intervention aikana opiskelijoiden oikeiden vastausten ja perustelujen määrä kasvoi noin 30 prosenttiyksikköä. Kasvu vastaa keskikokoista Haken tekijän arvoa, ja on samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmin raportoitu pienryhmätyöskentelyyn nojautuvassa tutoriaali-opetuksessa (Redish & Steinberg, 1999). Vertailtaessa on syytä huomata, että Redish ja Steinberg (1999) ovat määrittäneet pienryhmätyöskentelyyn nojautuvan tutoriaali-opetuksen Haken tekijän Force Concept Inventory:llä, eli FCI-testillä (Hestenes;Wells;& Swackhamer, 1992). FCI on voimakäsitteeseen keskittyvä monivalintatesti, joka eroaa jossain määrin tämän tutkimuksen esi- ja jälkitestitehtävistä tehtävätyypin ja sisältötiedon suhteen. Eroistaan huolimatta FCI ja työn tutoriaalini esi- ja jälkitestitehtävät vaativat voimakäsitteen lisäksi mekaniikan perusteiden osaamista. Tutoriaalini esi- ja jälkitestitehtävät vaativat voimakäsitteen lisäksi työkäsitteen hallintaa, minkä vuoksi ne ovat todennäköisesti vaativampia kuin FCI-testin kysymykset. Lisäksi tutoriaalini esi- ja jälkitestitehtävien analyysissä on huomioitu opiskelijoiden perustelut, minkä on havaittu vähentävän oikeiksi luokiteltavien vastausten määrää FCI:n kaltaisiin monivalintatestien tuloksiin verrattuna (Pride;Vokos;& McDermott, 1998). Niinpä tutkimuksessa käytetyt esi- ja jälkitestitehtävät ovat todennäköisesti vähintään yhtä vaativia kuin FCI-testin kysymykset, minkä vuoksi niiden ei pitäisi ainakaan korottaa saatuja oppimistuloksia FCI-testituloksiin verrattuna. Samaa suuruusluokkaa olevat Haken tekijän arvot tutoriaali-intervention ja pienryhmätyöskentelyyn nojautuvan tutoriaaliopetuksen välillä antavat ymmärtää, että luentosalikontekstissa toteutettu tutoriaali-interventio tukee fysiikan käsitteellisen osaamisen kehittymistä yhtä hyvin kuin pienryhmäopetukseen nojautuva tutoriaaliopetus.

Samanlaiseen johtopäätökseen on päätyneet Kryjevskaja, Boudreaux ja Heins (2014), jotka ovat kehittäneet vuorovaikutteisia tutoriaali-luentoja ja havainneet, että niiden oppimistulokset vastaavat pienryhmäopetukseen nojautuvaa tutoriaali-opetusta. Näiden havaintojen valossa tutoriaaliopetuksen oppimista tukeva vaikutus ei näytä riippuvan pelkästään opetusmenetelmän toteutusformaattista.

Yhtäläisiltä vaikuttavat oppimistulokset tutoriaali-opetusmenetelmän erilaisten toteutustapojen välillä herättää kysymyksen siitä, mihin tutoriaalini toimivuus perustuu. Kryjevskaja ja muut (2014) ovat ehdottaneet, että tutoriaali-opetusmateriaali työhöjineen ja testitehtävineen ovat tehokkuuden avain. Opetusmateriaali on kehittynyt vuosikymmeniä jatkuneen fysiikan opetuksen tutkimustyön aikana, minkä kuluessa on tunnistettu lukuisia virhekäsityksiä ja muita fysiikan oppimista vaikeuttavia tekijöitä (McDermott, 2001). Näiden ongelmien voittamiseksi on kokeiltu ja kehitetty useita erilaisia fysiikan opetusstrategioita erilaisine tehtävätyypeineen ja arvioitu millaisten opiskelijoiden ajattelua aktivoivien tehtävien avulla he saavuttavat mahdollisimman syvällisen ymmärryksen fysiikan sisältötiedosta. Pitkäjänteisen tutkimuspohjaisen kehitystyön pohjalta

laadittu tutoriaali-opetusmateriaali voi osaltaan selittää miksi tutoriaalit näyttävät tukevan joustavasti fysiikan oppimista erilaisista toteutustavoista huolimatta. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että pitkäjänteinen opetuksen tutkimustyö on avainasemassa joustavasti siirrettävien opetuksen innovaation kehittämisessä.

LÄHTEET

- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62, 107-115.
- Finkelstein, N. D., & Pollock, S. J. (2005). Replicating and understanding successful innovations: Implementing tutorials in introductory physics. *Physical Review Special Topics - Physics Educational Research*, 010101.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Knight, R. D. (2014). *Physics for Scientists and Engineers - A Strategic Approach with Modern Physics*. San Fransisco: Pearson.
- Kryjevskaja, M., Bourdreaux, A., & Heins, D. (2014). Assessing the flexibility of research-based instructional strategies: Implementing tutorials in introductory physics in the lecture environment. *American Journal of Physics*, 82, 238-250.
- Lindsey, B. A., Heron, P. R., & Shaffer, P. S. (2009). Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, 77, 999-1009.
- McDermott, L. C. (2001). Oested Medal Lecture 2001. "Physics education research - the key to student learning". *American Journal of Physics*, 69, 1127-1137.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2003). *Tutorials in Introductory Physics - Instructor's Guide*. New Jersey: Prentice Hall.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorials in Introductory Physics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72, 1432-1446.
- Pollock, S. J., & Finkelstein, N. D. (2008). Sustaining educational reforms in introductory physics. *Physical Review Special Topics - Physics Educational Research*, 4, 010110.

- Pride, T. 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, 147-157.
- Redish, E. F., & Steinberg, R. N. (1999). Teaching physics: figuring out what works. *Physics Today*, 52, 24-30.