

Katseenseuraamistutkimus representaation vaikutuksesta kykyyn ratkaista fysiikan ongelmia

Pro gradu –tutkielma, 8.12.2016

Tekijä:

JENNA ISONIEMI

Ohjaaja:

JOUNI VIIRI



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS

Tiivistelmä

Isoniemi, Jenna

Katseenseuraamistutkimus representaation vaikutuksesta kykyyn ratkaista fysiikan ongelmia

Pro Gradu –tutkielma

Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto, 2016, 37 sivua

Tutkimuksessa selvitettiin katseentunnistuslaitetta apuna käyttäen, onko representaatiolla vaikutusta siihen, kuinka hyvin lukio-opiskelija kykenee ratkaisemaan mekaniikkaan liittyviä ongelmia. Lisäksi haluttiin selvittää, kuinka tehtävään oikein ja väärin vastanneiden ongelmanratkaisutavat eroavat toisistaan. Havaintoja myös vertailtiin aiemmissa tutkimuksissa saatuihin tutkimustuloksiin. Tässä tutkimuksessa havaittiin representaatiolla olevan jonkin verran vaikutusta ongelmanratkaisukykyyn. Lisäksi havaittiin tehtäviin oikein ja väärin vastanneiden välillä eroja siinä, mihin he kiinnittävät tehtävissä huomiota.

Avainsanat: katseentunnistus, representaatio, mekaniikka, monivalintatesti, lukio

Abstract

Isoniemi, Jenna

Research on the effects of representation on the problem solving skills of students by using eye-tracking device

Master`s thesis

Department of Physics, University of Jyväskylä, 2016, 37 pages

The effect of representation for student`s ability to solve mechanics problems was examined by using an eye-tracking device. The secondary aim was to investigate if students answering right or wrong have differences in their problem solving procedures. The results were also compared to previous studies. According to the results of this study the representation has a slight effect on student`s ability to solve problems. Some differences were also found about where students answering right or wrong pay attention while solving physics problems.

Keywords: eye-tracking, representation, mechanics, multiple-choice test, upper secondary school

Esipuhe

Haluan kiittää ohjaajaani professori Jouni Viiriä mahdollisuudesta tarttua uraa uurtavaan ja kansainvälistäkin mielenkiintoa herättäneeseen tutkimusaiheeseen. Kiitokset korvaamattomasta tuesta ja opastuksesta koko projektin ajalta kuuluvat ohjaajani lisäksi myös tutkija Jarkko Hautalalle, jota ilman en olisi pystynyt katseentunnistustutkimusta tekemään.

Jyväskylässä 8. joulukuuta 2016

Jenna Isoniemi

Sisällys

Tiivistelmä	i
Abstract	ii
Esipuhe.....	iii
1 Johdanto	1
2 Katseentunnistus	3
2.1 Katseentunnistuslaitteen toimintaperiaate.....	3
2.2 Katseentunnistusdatan analysointitapoja	4
2.3 Haastattelu katseentunnistustutkimuksen tukena	6
3 Aiempia tutkimuksia.....	8
3.1 Tutkimuksia representaatioista	8
3.2 Aiempia katseenseuraamistutkimuksia	10
4 Tutkimuskysymykset	12
5 Tutkimusmenetelmät.....	13
5.1 Datan keruu	13
5.2 Monivalintatestin tehtävät	14
5.3 Datan analysointi	15
6 Tutkimustulokset.....	17
6.1 Lämpökarttojen vertailu.....	19
6.2 Representaation vaikutus katseluaikoihin	27
7 Johtopäätökset.....	31
Lähteet	36
Liite A: Monivalintatestin tehtävät	I
Liite B: Koehenkilöiden antamat vastaukset	VI

1 Johdanto

Opettajan työhön kuuluu oleellisena osana erilaisten oppijoiden huomioon ottaminen. Tällöin opettajan täytyy siis pyrkiä selittämään opiskeltavat asiat sellaisilla tavoilla, jotka palvelevat parhaiten opiskelijoiden tarpeita. Toiset oppivat asioita paremmin lukemalla, toiset taas kuvia katselemalla tai selittämällä asioita itselleen matemaattisten yhtälöiden kautta. Erityisesti fyysiikan ilmiöiden tai tapahtumien kohdalla voi olla haastavaa antaa kattavaa kuvausta sanallisesti. Esimerkiksi auton nopeutta eri aikaväleillä voi olla helpompi selittää kuvaajan avulla varsinkin, jos nopeus muuttuu jatkuvasti.

Eri esitysmuotoja kutsutaan representaatioiksi ja niiden käytön opettajan tulee valita siten, että representaatiolla pystytään selittämään haluttua ilmiötä mahdollisimman kattavasti. Lisäksi on tärkeää, että käytettävä representaatio on sopivan tasoinen opiskelijoille. Erilaisia representaatioita käyttämällä voidaan selittää asioita ja ilmiöitä monipuolisesti, jolloin opiskelijakin saa laajemman ymmärryksen aiheesta. Aina kaikkien representaatioiden käyttö ei kuitenkaan ole mutkatonta, sillä opiskelijan täytyy osata tulkita niitä ennen kuin hän voi saada niistä informaatiota. Opettajan voi joskus olla vaikeaa selvittää, aiheuttaako jokin representaatio ongelmia vai eikö opiskelija vain ymmärrä aiheen taustalla olevaa fysiikkaa. Tässä arvioinnin rooli ja monipuolinen asioiden opettaminen nousee esille. Mitä monipuolisemmin opettaja haastaa oppilaita ja selvittää heidän osaamisen tasoan, sitä paremmin hän pääsee perille opiskelijan todellisesta osaamisen tasosta.

Tässä tutkielmassa selvitetään, onko tehtävän esitysmuodolla, eli representaatiolla vaikutusta siihen, kuinka onnistuneesti opiskelijat kykenevät ratkaisemaan fysiikan monivalintatehtäviä. Painopisteenä ovat aiemmassa tutkimuksessa havaitut representaatioiden vaikutukset, ja tavoitteena tässä tutkielmassa onkin koettaa katseentunnistulaitteen avulla todentaa näitä eroavaisuuksia. Lisäksi tutkielmassa selvitetään, eroavatko tehtäviin oikein ja väärin vastanneiden ongelmanratkaisutavat toisistaan. Havaintoja selitetään aiemmissa tutkimuksissa saaduilla tuloksilla.

Motivaatio tälle tutkimukselle tuli aiemmista tutkimuksista, joissa selvitettiin representaation vaikutusta opiskelijoiden kykyyn ratkaista fysiikan monivalintatehtäviä [5,7]. Minua kiinnostaa erityisesti se, kuinka opiskelijoiden ongelmat ja haasteet pystyttäisiin ottamaan huomioon mahdollisimman henkilökohtaisella tasolla ja kuinka jokaisen oppimista voisi edistää kaikkein parhaiten. Representaatioiden käyttö on hyvin oleellinen osa fysiikan opettamista ja oppimista, joten niihin liittyvien ongelmien selvittäminen voi parhaimmillaan parantaa suuresti opettajan kykyä ymmärtää oppilaita ja heidän ongelmiaan. Tämä tutkimus suoritettiin katseentunnistulaitetta käyttämällä, sillä sen avulla ajateltiin voivan selittää representaation vaikutuksen taustoja. Katseentunnistulaitetta käyttämällä voidaan selvittää, mihin opiskelijat kiinnittävät huomiota eri representaatioissa.

Tutkielman alussa luvussa 2 esitellään katseentunnistuslaitteen käyttöä sekä jotain tapoja, joilla katseentunnistusdataa voidaan käsitellä. Luvussa 3 esitellään taustaa representaatioiden käytöstä sekä aikaisempia tutkimuksia, joihin tässä tutkielmassa saatuja tuloksia peilataan. Tämän jälkeen luvuissa 4 ja 5 kerrotaan tutkimuskysymykset ja –menetelmät. Luvussa 6 keskitytään kerätyn katseentunnistusdatan analyysiin ja luvussa 7 vastataan tutkimuskysymyksiin ja verrataan saatuja tuloksia aiempiin tutkimuksiin. Tutkielman lopussa olevassa liitteessä A on esitetty tutkimuksessa käytetyt monivalintatehtävät. Tehtävät ovat Pasi Niemisen laatimia ja hän käytti niitä väitöstutkimuksessaan [5]. Liitteessä B on esitetty jokaisen koehenkilön antamat vastaukset kuhunkin tehtävään.

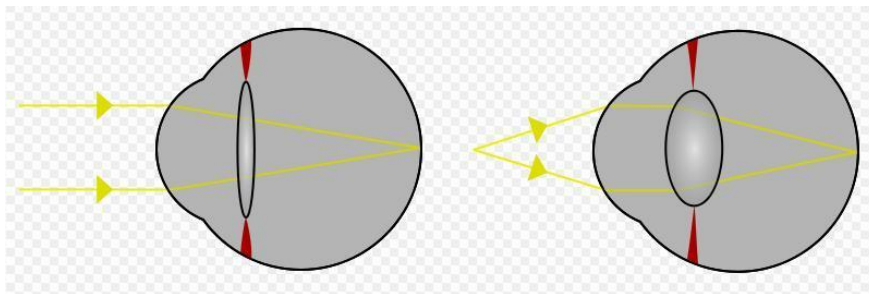
2 Katseentunnistus

Tässä luvussa esitellään katseentunnistuslaitteen toimintaperiaatetta sekä sitä, millä tavalla katseentunnistustutkimusta on käytännössä toteutettu aiemmin.

2.1 Katseentunnistuslaitteen toimintaperiaate

Katseentunnistuslaite seuraa lähettämänsä infrapunasäteilyn heijastumista silmistä ja määrittää näin silmän liikkeitä. Näin ollen on perusteltua esitellä ihmisen näköaistin toimintaa.

Näköaistin taustalla oleva optiikka on melko yksinkertaista. Silmän linssi taittaa kohteesta tulevan valon verkkokalvon tarkan näön alueelle, jolloin katseltavasta kohteesta nähdään tarkka kuva. Tätä havainnollistaa kuva 1, jossa valonlähde on vasemmanpuoleisesta silmästä kaukana, kun taas oikeanpuoleinen silmä on lähellä valonlähdettä. Silmä pystyy tarkentumaan kerrallaan vain yhteen kohteeseen. Tämä tarkan näön alue, eli fovea, onkin koko 220 asteen näkökentästä vain noin 1-2 astetta. Foveaa ympäröivä alue ei kuitenkaan ole hyödytön, vaikka sieltä saatava informaatio on hyvin epätarkkaa; näköalueen raja-alueita tarvitaan havaitsemaan liikettä ja kontrasteja [17].



Kuva 1: Silmän linssi taittaa valoa verkkokalvolle [13].

Sitä, kun silmä on tarkentunut johonkin kohteeseen, kutsutaan fiksaatioksi. Fiksaation kesto on yleensä noin 100 – 600 millisekuntia. Tänä aikana aivot käsittelevät silmien kautta tulevaa informaatiota [17]. Silmät eivät kuitenkaan ole täysin paikoillaan fiksaatioiden aikana, vaan tekevät koko ajan hyvin pientä edestakaista liikettä. Näitä liikkeitä kutsutaan mikrosakkadeiksi. Sakkadi puolestaan on fiksaatioiden välillä oleva nopea silmän liike, jolloin molemmat silmät liikkuvat samaan suuntaan yhtä nopeasti. Sakkadin pituus voi vaihdella 10 millisekunnista 100 millisekuntiin. Sakkadien aikana näkökyky on hyvin heikko, eikä ihminen voi tällöin saada tarkkaa informaatiota silmien kautta [14,17].

Tässä tutkimuksessa käytettävä katseentunnistuslaite on SMI RED250mobile. Tietokoneen näytön alle asetettava laite lähettää infrapunasäteilyä silmiin ja määrittää verkkokalvolta tulevan heijastuksen perusteella katseen suunnan. Laitteen käyttö vaatii alussa kalibroinnin, jolloin

laitteisto määrittää silmien paikan. Kokeen aikana koehenkilö katsoo tietokoneen näytöltä tutkimukseen liittyviä tehtäviä. Tällöin laitteisto seuraa infrapunasäteilyn avulla koehenkilön katsetta ja yhdistää informaation tietokoneen näytöllä näkyvään kuvaan [16]. Näin ollen saadaan data henkilön katseen suunnasta koko tutkimuksen ajalta. Laitteiston ohjelmiston avulla on mahdollista tutkia esimerkiksi sakkadeja ja fiksaatioita, eli käytännössä saadaan informaatiota siitä, mihin koehenkilö kiinnittää eniten tai vähiten huomiota. Tutkimuksen onnistumiseksi koehenkilön on yritettävä pitää pää mahdollisimman paikoillaan, sillä muutoin laitteen tulkinta heijastuneista infrapunasäteistä saattaa häiriintyä. Alla oleva kuva 2 havainnollistaa laitteistoa ja sen asentamista tietokoneen näytön alle.

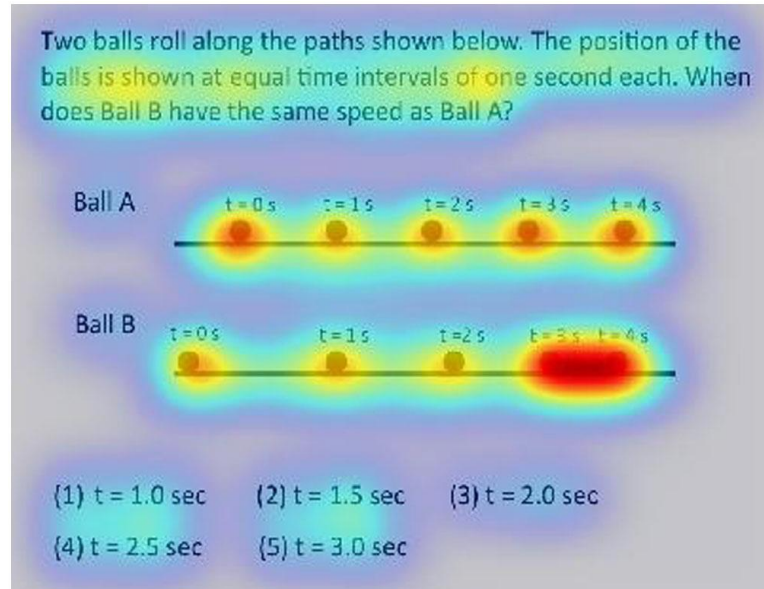


Kuva 2: SMI REDmobile – laitteisto [12].

2.2 Katseentunnistusdatan analysointitapoja

Katseentunnistuslaitteen dataa voidaan analysoida eri tavoilla, ja onkin tärkeää valita sellainen analysointitapa, joka palvelee kaikkein parhaiten juuri tämän tutkielman tutkimuskysymyksiä. Tärkeintä tässä tutkimuksessa on saada kooste siitä, mihin oppilaat katsovat tehdessään fyysiikan tehtäviä. Tutkimusdatassa todennäköisesti nähdään, että kysymyksen oikein ja väärin vastanneet kiinnittävät huomiota hieman eri asioihin. Nämä tavoitteet silmällä pitäen olisikin siis hyvä valita sellainen analysointitapa, joka näyttää mahdollisimman kattavasti, mihin ja kuinka paljon oppilaat katsovat. Aiemmissakin tutkimuksissa käytetty lämpökartta on eräs tapa kerätä visuaalisesti helposti tulkittavissa olevaa informaatiota tutkimusdatasta. Lämpökartta muodostuu katseltavan kuvan tai tekstin päälle siten, että ne kohdat, joita koehenkilöt ovat

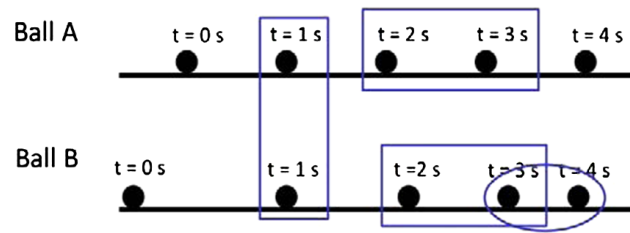
katsoneet eniten, näkyvät punaisena. Väri muuttuu keltaiseksi ja edelleen vihreäksi niissä kohdissa, joita koehenkilöt ovat katsoneet vähemmän. Niitä kohtia, joita ei ole katsottu juuri lainkaan, ei ole värjätty ollenkaan. Tämä voidaan nähdä kuvasta 3.



Kuva 3: Katseentunnistusdatasta tehty lämpökartta [4].

Lämpökartasta saatava informaatio ei yksin kuitenkaan riitä datan analysointiin, vaan on tärkeää, että mahdollisille eroavaisuuksille lämpökartoissa voidaan löytää joitakin perusteluja. Lämpökartta on siis vain apuväline eroavaisuuksien todentamiseen. Eräs tapa päästä analyysissä syvemmälle, on jakaa tehtävät kiinnostusalueisiin, (engl. area of interest, AOI), jotka voivat olla esimerkiksi virhekäsitystä vastaavia, relevantteja tehtävän ratkaisun kannalta tai visuaalisesti huomiota herättäviä. Kuten aiemmissa tutkimuksissa on huomattu, saattaa tässäkin tutkimuksessa tulla esille, että tehtävään väärin vastanneet ovat katsoneet enemmän visuaalisesti huomiota herättäviä kohtia kuin tehtävän ratkaisun kannalta olennaisia alueita [4]. Kiinnostusalueiden, eli AOI:den, valinta täytyy tehdä huolellisesti, jotta tutkimusanalyysi saadaan tehtyä oikein. AOI:t voidaan valita esimerkiksi tekemällä tutkimus aluksi vain muutamalle koehenkilölle ennen varsinaista datan keruuta. Yksinkertaisimmissa tapauksissa on myös mahdollista päätellä AOI:t ilman ylimääräisiä testejä. Kuvassa 4 nähdään kolme erilaista AOI:ta. Noviisien ajattelua vastaava AOI on alue, jossa pallot A ja B ovat samassa kohdassa ajanhetkellä 1 s. Tehtävän ratkaisun kannalta relevantti AOI sisältää pallojen etäisyydet ajanhetkellä 2-3 sekuntia. Visuaalisesti huomiota herättävä AOI on puolestaan se, jossa pallo B on ajanhetkellä 3-4 sekuntia. Kiinnostusalueita voidaan tutkimuksen analyysissä hyödyntää esimerkiksi siten, että mitataan, kuinka kauan kutakin AOI:ta on katseltu yhteensä. Näin voidaan vertailla, mitä kiinnostusaluetta koehenkilöt ovat katselleet kaikkein eniten tai vähiten.

Two balls roll along the paths shown below. The position of the balls is shown at equal time intervals of one second each. When does Ball B have the same speed as Ball A?



- (1) $t = 1.0 \text{ sec}$ (2) $t = 1.5 \text{ sec}$ (3) $t = 2.0 \text{ sec}$
 (4) $t = 2.5 \text{ sec}$ (5) $t = 3.0 \text{ sec}$

Kuva 4: AOI:t on jaettu kolmeen luokkaan [4].

2.3 Haastattelu katseentunnistustutkimuksen tukena

Katseentunnistusalaitetta on käytetty psykologian tutkimuksissa jo vuosikymmeniä, mutta muilla aloilla ja varsinkin fysiikan opetuksen alalla tutkimusta on hyvin vähän ja se on melko uutta. On huomattu, että katseentunnistuslaite tarjoaa kattavampaa informaatiota esimerkiksi ihmisten ongelmanratkaisutavoista kuin pelkkä haastattelu. Aiemmassa tutkimuksessa on osoitettu, että ihmisen katse korreloi mielen tapahtumia paremmin kuin puhe, sillä katseen suunta siirtyy välittömästi ja vaistomaisesti siihen kohtaan, joka jollakin tavalla on huomiota herättävä [1]. Omassa tutkimuksessani koehenkilöiden täytyy ratkaista fysiikan monivalintatehtäviä, joten he etsivät tehtävistä sellaisia asioita, jotka saattavat johtaa heidät oikeaan ratkaisuun. Jos koehenkilön tulisi kertoa koko ajan, mitä hän ajattelee ja miksi siirtää katseensa johonkin tiettyyn kohtaan, saattaa olla, että menettely häiritsee koehenkilöä. Hän ei välttämättä kykenisi keskittymään tehtävän ratkaisemiseen, koska hänen täytyisi puhua koko ajan ja ilmoittaa katseensa suunta. Näin ollen pahimmassa tapauksessa tutkimusdata vääristyisi pahoin, kun ei voida tietää, kuinka koehenkilöt menestyisivät tehtävissä ilman häiriötekijöitä. Tämä ongelma on ratkaistu katseentunnistuslaitteella. Laite seuraa koehenkilön silmiä ja yhdistää niiden liikkeet esimerkiksi tietokoneruudulla näkyvään kuvaan, jolloin voidaan seurata, mihin koehenkilö katsoo. Omassa tutkimuksessani käytettävä silmänliiketunnistin on kuvan 2 mukainen tietokoneen näytön alaosaan asennettava paneeli, joka ei vaadi käyttäjälle puettavia laitteita, kuten silmälasia, joihin on kiinnitetty katseentunnistuslaite. Tämäkin on etu, sillä koehenkilö saattaisi kokea silmälasit häiritseviksi.

Useissa tutkimuksissa, joissa data on kerätty katseentunnistuslaitteella, on koehenkilöitä kuitenkin haastateltu mittauksen päätteeksi. Tällöin koehenkilöä on esimerkiksi pyydetty erittele-

mään, mitkä kohdat testissä aiheuttivat ongelmia tai mitkä olivat helppoja. Koehenkilöltä voidaan myös pyytää perusteluja sille, miksi hän on päätenyt valitsemiinsa vastausvaihtoehtoihin [mm. 2, 3]. Jos tutkittavia henkilöitä on vähän, toimii haastattelu erinomaisena tapana lisätä katseentunnistusdatan luotettavuutta, kun katseesta välittyvän tiedon voi varmentaa haastatteleamalla koehenkilöä. Jos tutkimukseen osallistuu paljon koehenkilöitä, voi haastattelu edustaa huolimatta osoittautua liian työlääksi tutkimusmenetelmäksi. Toisaalta suuri määrä katseentunnistusdataa saattaa parantaa itse itseään, eli suuressa koehenkilömäärässä haastattelulla ei ole enää niin suurta merkitystä kuin vain muutaman koehenkilön tutkimuksessa.

3 Aiempia tutkimuksia

Tässä luvussa esitellään representaatioihin ja katseentunnistukseen liittyviä tutkimuksia. Kappaleessa 3.1 keskitytään representaatiotutkimuksiin ja kappaleessa 3.2 esitellään katseentunnistuslaitteella tehtyjen tutkimusten tärkeimpiä tuloksia.

3.1 Tutkimuksia representaatioista

Representaatiolla tarkoitetaan asiaa tai tapahtumaa, jota käytetään kuvaamaan jotain muuta. Fysiikassa esimerkiksi kuvaajilla voidaan erittäin tiivistetysti ilmoittaa jonkin kappaleen nopeus tietyllä aikavälillä. Representaatiot voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin. Sisäiset representaatiot ovat ihmisen mielikuvia todellisesta maailmasta ja ulkoiset representaatiot puolestaan ovat olemassa fyysisessä maailmassa. Kaikki ihmisten välinen kommunikaatio sisältää ulkoisia representaatioita, kuten esimerkiksi eleitä ja puhetta [5]. Sanonnassa ”kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa” käy ilmi, että kuva on informatiivisempi representaatio kuin sanat. Ihminen käyttääkin luonnostaan paljon erilaisia representaatioita, jotta tieto välittyisi henkilöltä toiselle mahdollisimman tehokkaasti ja kattavasti. Sama pätee fysiikan opettamiseen. Opettajan tulee käyttää erilaisia tapoja kuvata fyysisiä teorioita ja totuuksia, jotta oppilas saisi mahdollisimman laajan tarrumapinnan opiskeltavaan asiaan. On todettu, että oppiminen tehostuu, jos opetuksessa käytetään sellaisia representaatioita, jotka edistävät haluttujen oppimistavoitteiden saavuttamista [6].

Monien representaatioiden käyttö ei välttämättä ole kuitenkaan helppoa opettajalle eikä oppilaalle. Opettajan täytyy osata valita juuri oikeat representaatiot, jotta oppilaiden ajattelu ei kuormittuisi liika, mutta samalla haluttu oppiminen tapahtuisi. Ainsworth (2006) jakaa representaatioiden toiminnot kolmeen eri osaan, joista kukin osa kuvaa sitä, miten representaatioiden käyttö voi helpottaa oppimista. Ensimmäinen representaatioiden toiminto on täydentää toisiaan. Jos representaatiot tarjoavat erilaista informaatiota tai tukevat erilaisia ongelmanratkaisuprosesseja, voidaan niitä yhdistelemällä helpottaa oppimista. Esimerkkinä tästä on matemaattisen kaavan selittäminen kuvaajalla; molemmat sisältävät saman informaation, mutta tarjoavat eri prosessin tehtävän ratkaisemiseen. Toinen representaatioiden toiminto on tiedon rajoittaminen ja sitä kautta paremman ymmärryksen kehittyminen. Fysiikan opiskelu vaatii sellaisten asioiden ymmärtämistä, joita ei voi havaita silmin. Näin ollen pelkkä oppikirjateksti voi aiheuttaa vääränlaisia mielikuvia. Tämä voidaan estää esimerkiksi lisäämällä tekstiin selittäviä kuvia, jotka rajoittavat tekstin tulkintaa. Kolmas Ainsworthin kuvaama representaatioiden toiminto liittyy enemmän oppilaiden toimintaan. Oppilaat nimittäin saavat rakennettua syvemmän ymmärryksen opiskeltavaan aiheeseen, jos he hyödyntävät monia representaatioita. Kuten kolmas toiminto antaa ymmärtää, täytyy opettajan representaatioita valitessaan ensisijaisesti ottaa huomioon oppilaiden tiedot ja taidot, sillä representaatioiden avulla voi tapahtua oppimista vain, jos oppilaat osaavat käyttää niitä ja ymmärtävät opetettavan asia ja representaatioiden yhteyden [6].

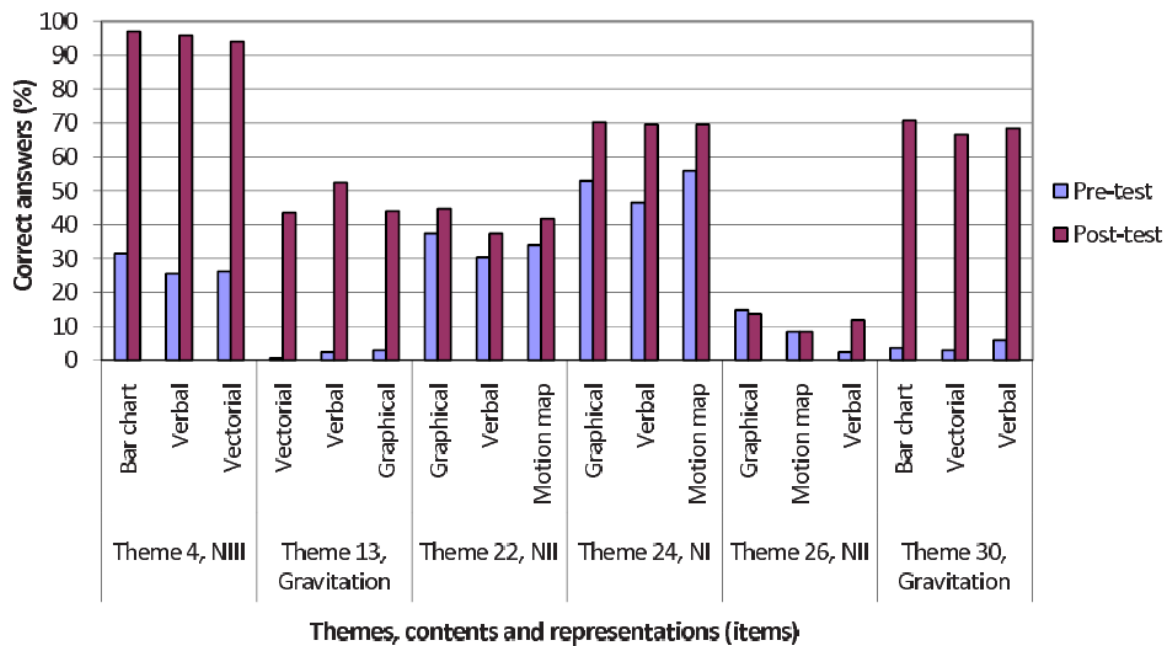
P. Nieminen, A. Savinainen ja J. Viiri halusivat tutkimuksessaan näyttää, kuinka heidän käyttämänsä testin tuloksia voidaan analysoida ja siten saada melko yksityiskohtaista tietoa siitä, kuinka oppilaat käyttävät ja ymmärtävät eri representaatioita. Tutkimuksessa 168 koehenkilöä teki ennalta laaditun monivalintatestin esi- ja jälkitutkimuksena. Testissä jokainen tehtävä esitettiin kolmessa eri representaatiomuodossa. Vaihtoehdot esitysmuodoille olivat sanallinen, vektorimuoto, pylväsdiagrammi tai liikekartta (engl. motion map). Oppilaiden täytyi lisäksi kirjallisesti selittää, kuinka päätyivät valitsemiinsa vastausvaihtoehtoihin. Tutkimuskertojen välissä koehenkilöt opiskelivat lukion fysiikan pakollisen kurssin. Testien analyysissä huomattiin, että kyky tulkita johdonmukaisesti eri representaatioita ja selittää ilmiöitä parani kurssin aikana. Kuitenkin representaatioiden ymmärtäminen parantui huomattavasti enemmän kuin oppilaiden antamat sanalliset vastaukset. Näin ollen siis erilaisten representaatioiden ymmärtämisen voidaan ajatella olevan hyödyllinen, mutta ei yksinään riittävä taito fysiikan teorian opiskelussa.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty Niemisen, Savinaisen ja Viirin saamat tulokset. Kuvassa 5 on tutkimuksen tilastollisesti merkitsevät erot eri representaatioiden välillä. Teemat T22, T24 ja T26 ovat ne tehtävät, joita käytettiin myös tässä Pro Gradu – tutkielmassa (Liite A). T22 on tehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista. T24 on rakettitehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta moottorin sammuttamisen jälkeen ja T26 laatikkotehtävä. Näiden tehtävien kohdalla huomattiin, että representaatiolla on vaikutusta siihen, kuinka onnistuneesti koehenkilöt pystyvät tehtävät ratkaisemaan. [7] Tässä Pro Gradu –tutkielmassa selvitetään katseentunnistuslaitteen avulla näitä löydettyjä eroja. Kuviin 5 ja 6 palataan tutkielman johtopäätöksissä.

TABLE V. Statistically significant differences ($p < 0.05$) between correct answers of items (representations) in themes (McNemar’s test). Abbreviations: BC=bar chart, Ver=verbal, Vec=vectorial, G=graphical, MM=motion map, (ns)=non-significant.

Theme		Compared representations	p -value
T4	Pretest	BC vs. Ver	0.021
		BC vs. Vec	0.049
	Post-test	BC vs. Vec	0.125 (ns)
		Ver vs. Vec	0.375 (ns)
T13	Post-test	Vec vs. Ver	<0.001
		Ver vs. G	0.022
T22	Post-test	G vs. Ver	0.017
T24	Pretest	G vs. Ver	0.035
		Ver vs. MM	0.006
T26	Pretest	G vs. Ver	<0.001
		MM vs. Ver	0.013
T30	Post-test	BC vs. Vec	0.167 (ns)
		Ver vs. Vec	0.581 (ns)

Kuva 5: Niemisen, Savinaisen ja Viirin tutkimuksessa löydetty tilastollisesti merkitsevät erot eri representaatioiden välillä. [7]



Kuva 6: Representaation vaikutus ongelmanratkaisukykyyn. [7]

Omassa tutkimuksessa on tarkoitus saada syvällisempää tietoa representaatioiden käyttämisestä, sillä katseentunnistuslaite tarjoaa tavan päästä tarkasti käsiksi siihen, mihin oppilaat kiinnittävät huomiota eri representaatiotapoja havainnoidessaan. Tutkimalla eri representaatioiden käyttöä voidaan saada hyödyllistä tietoa siitä, mitkä representaatiot edistävät fyysikaalisen tiedon ja teorian ymmärtämistä kaikkein parhaiten, ja mitkä puolestaan ovat haasteellisia ymmärtää. Samalla saatetaan saada myös tietoa siitä, mikä tekee joistakin representaatioista helpommin tai vaikeammin ymmärrettävissä olevia.

3.2 Aiempia katseenseuraamistutkimuksia

A. Smith, J. Mestre ja B. Hoss selvittivät tutkimuksessaan katseentunnistuslaitteen avulla, mihin oppilaat kiinnittävät huomiota tehdessään tehtäviä, joita varten he ovat saaneet opiskella etukäteen. Tutkijat halusivat selvittää esimerkiksi kiinnittävätkö oppilaat enemmän huomiota käsitteelliseen vai matemaattiseen tietoon. Tutkimuksessa huomattiin, että tehtävää lukiessaan oppilaat kiinnittävät huomiota matemaattisiin yhtälöihin ja symboleihin noin 60 % katseluajasta. He myös huomasivat, että opiskelijat katselevat tekstiä ja matemaattisia yhtälöitä vuorotellen, eli eivät esimerkiksi ensin lue tekstiä ja sen vasta siihen liittyvää matematiikkaa. Lisäksi siirtymät tapahtuivat pääasiassa samaa asiaa selittävän tekstin ja matemaattisen symboliikan välillä. Tämä siis tarkoittaa, että opiskelijat pystyvät käsittelemään sekä matemaattista että sanallista informaatiota yhtä aikaa, vaikka ne voidaankin kokea täysin erillisiksi ja erilaisiksi informaatiolähteiksi. [8]

A. Madsen, A. Larson, L. Loschky ja N. Rebello tutkivat eroja tehtäviin oikein ja väärin vastanneiden katseentunnistusdatan välillä. Ennen varsinaista katseentunnistustutkimusta opiskelijoita haastateltiin, jotta tehtäviin voitiin määrittää oppilaiden virhekäsityksiä vastaavat AOI:t. Analyysissä huomattiin, että opiskelijat, jotka vastasivat tehtävään oikein, olivat katselleet merkittävän paljon tehtävän kannalta relevantteja alueita. Vastaavasti tehtävään väärin vastanneet olivat katselleet tehtävän kannalta irrelevantteja alueita enemmän kuin oikein vastanneet. Lisäksi väärin vastanneet olivat osassa tehtävissä katselleet enemmän huomiota herättäviä alueita kuin oikein vastanneet. [4] L. Catrysse, D. Gijbels, V. Donche, S. De Maeyer, P. Van den Bossche ja L. Gommers huomasivat omassa tutkimuksessaan samansuuntaisia asioita. Noviiseiksi luokiteltavat opiskelijat kiinnittivät enemmän huomiota faktoihin ja yksityiskohtiin ja palasivat niihin yhä uudelleen. Tutkijat päättelivät tämän johtuvan siitä, että noviisit yrittävät opetella ulkoa ja painaa mieleensä näitä asioita. Eksperteiksi luokiteltavat opiskelijat eivät haastatteluissa raportoineet tällaisesta prosessointitavasta. [9] Näitä havaintoja voi mahdollisesti selittää A. Gegenfurtnerin, E. Lehtisen ja R. Säljön havainnoilla siitä, että ekspertit pystyvät keräämään informaatiota myös parafoveaaliselta alueelta sen lisäksi, että he kykenevät paremmin erottelemaan tärkeän ja irrelevantin tiedon toisistaan. Näin ollen eksperttien ei tarvitse luoda fiksaatioita kaikkiin tehtävässä annettuihin tietoihin, vaan he pystyvät ylimalkaisemminkin katselulla selvittämään, mikä on tehtävän kannalta oleellista tietoa. [10]

Eksperttien ja noviisien eroja tutkivat myös M. T. H. Chi, P. J. Feltovich ja R. Glaser. Heidän tutkimuksessaan koehenkilöille annettiin fysiikan tehtäviä ja heitä pyydettiin kertomaan, mihin fysiikan teoriaan tai sääntöön tehtävän ratkaisu pohjautuu. Tutkijat huomasivat että ekspertit kykenevät luomaan noviiseja nopeammin sisäisen representaation tehtävästä. Eksperteille siis syntyy nopeammin mielikuva siitä, kuinka tehtävä tulisi ratkaista ja miltä ratkaisu mahdollisesti näyttää. [11]

4 Tutkimuskysymykset

Tässä luvussa esitellään, mihin tutkimuksessa keskitytään ja näin ollen rajataan ja määritellään tarkasti tutkimuksen aihe.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, vaikuttaako fysiikan tehtävän representaatio siihen, kuinka onnistuneesti lukio-opiskelija pystyy ratkaisemaan tehtävän. Tässä tutkimuksessa keskitytään vain osaan Niemisen, Savinaisen ja Viirin käyttämistä monivalintatehtävistä. Erityisesti halutaan löytää vahvistusta kuvissa 5 ja 6 esitettyihin tuloksiin teemojen T22, T24 ja T26 kohdalla. Tutkijat havaitsivat, että tietyissä representaatioissa oppilaiden ongelmanratkaisutaidot eroavat toisistaan merkittävästi.

Lisäksi selvitetään, voiko katseentunnistustekniikalla selittää, miksi jokin representaatio koetaan vaikeammaksi kuin toinen. Tämän pohjalta laadittiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Miten tehtävän representaatio vaikuttaa siihen, kuinka onnistuneesti oppilaat kykenevät ratkaisemaan tehtävän?
2. Miten tehtäviin oikein ja väärin vastanneiden ongelmanratkaisumenetelmät eroavat toisistaan?
3. Miten katseentunnistuksella voi selittää oppilaiden vaikeuksia eri representaatioissa?

5 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa esitellään, kuinka tutkimus toteutettiin käytännössä. Kappaleessa 5.1 kerrotaan, kuinka katseentunnistusdataa kerättiin opiskelijoilta. Kappaleessa 5.2 esitellään monivalintatestissä käytettyjen tehtävien teoreettinen tausta, jonka avulla päästään jäljille oppilaiden mahdollisista virhekäsityksistä. Kappaleessa 5.3 kerrotaan, millä tavalla tutkimusdataa analysoitiin.

5.1 Datan keruu

Tässä tutkimuksessa käytettiin samoja monivalintatehtäviä, joita Pasi Nieminen käytti väitöskirjansa tutkimuksessa [5]. Kohderyhmäksi valittiin opiskelijat erään keskisuomalaisen lukion fysiikan ensimmäiseltä (FY1 [18]) ja viidenneltä (FY5 [19]) kurssilta, jotka molemmat käsittelevät mekaniikkaa. Monivalintatestin kaikki kysymykset liittyvät mekaniikkaan. Tutkimukseen haluttiin eritasoisia mekaniikan opiskelijoita, jolloin testissä menestymistä ja ongelmanratkaisutaitoja voidaan vertailla.

Tutkimuksessa käytettävä testi on monivalintatesti, jossa kolmen mekaniikkaan liittyvän tehtävän vastausvaihtoehdot esitetään kolmessa eri representaatioissa: sanallinen, graafinen ja liikekartta (Liite A). Näin ollen oppilaat tekivät yhteensä yhdeksän tehtävää. Tehtävien järjestys valittiin niin, ettei sama tehtävä tule eri representaatioissa ilmaistuna kahta kertaa peräkkäin. Kaikkien tehtävien tehtävänannot ovat kirjallisia.

Ennen datan keräämistä asetettiin katseentunnistuslaitteen näytteenottotaajuudeksi 250 Hz. Tällöin katseentunnistuslaite havaitsee lähettämänsä infrapunasäteen heijastuksen 250 kertaa sekunnin aikana. Fiksaation minimiajaksi määritettiin 50 millisekuntia. Sakkadin nopeudeksi puolestaan määritettiin vähintään 40 %/s, eli silmän liike määritellään sakkadiksi, jos katseen suunta muuttuu vähintään 40 astetta sekunnin aikana. Tässä tutkimuksessa käytetty katseentunnistuslaite oli sivulla 4 olevan kuvan 2 mukainen.

Oppilaat tekivät testin tietokoneella itsenäisesti. Tutkimuksen aikana oli käytössä kaksi katseentunnistuslaitetta ja ne oli sijoitettu erilliseen huoneeseen tutkimuksen ajaksi. Laitteet oli sijoitettu niin, että koehenkilöillä ei ollut näköyhteyttä testin tekemisen aikana. Koehenkilöt tulivat oppitunniltaan vuorotellen tekemään testiä siten, että kaksi oppilasta teki testiä yhtä aikaa eri laitteella. Ennen testin aloittamista autoin oppilaita asettumaan hyvään asentoon sekä itsensä että laitteen signaalin kannalta. Kerroin jokaiselle oppilaalle erikseen ennen testin aloittamista, kuinka heidän tulee toimia kalibraation aikana, ja että oikea vastaus valitaan napauttamalla hiirellä vastausvaihtoehtoa. Lisäksi huomautin, että jokaisessa tehtävässä on vain yksi hiiren painallus käytössä, eikä tehtäviin voi palata enää uudestaan. Hiiren painallus siis vaihtoi uuden tehtävän tietokoneen näytölle. Painotin myös sitä, että alussa valitussa asennossa pitäisi yrittää pysyä koko testin ajan.

Testin aikana oli kiellettyä käyttää apuvälineitä, kuten laskinta tai oppikirjaa. Tehtävät olivat luonteeltaan sellaisia, ettei laskinta kuitenkaan olisi tarvinnut minkään tehtävän ratkaisemiseksi. Lisäksi katseentunnistuslaitteen käyttö vaatii, että koehenkilö pitää katseensa tietokoneen näytöllä koko testin ajan, joten minkään lisämateriaalin antaminen ei olisi ollut testin luonteen vuoksi mahdollistakaan.

Datan keruu toteutettiin lokakuussa 2016. Testiin osallistui yhteensä 39 opiskelijaa, joista 12 fysiikan viidenneltä ja 27 ensimmäiseltä kurssilta. Oppilaat olivat iältään 15-19 –vuotiaita. Ensimmäisen kurssin opiskelijoista kahdeksan koehenkilön katseentunnistusdata oli niin heikkoa, ettei sitä voitu käyttää tutkimuksessa. Dataa käytettiin siis yhteensä 31 koehenkilöltä.

5.2 Monivalintatestin tehtävät

Monivalintatestin tehtävistä kaksi liittyy Newtonin toiseen ja yksi Newtonin ensimmäiseen peruslakiin. Tässä kappaleessa esitellään tehtäviin liittyvä teoreettinen sisältö. Tehtävät ovat esitettyinä kokonaisuudessaan liitteessä A.

Newtonin ensimmäinen peruslaki

Newtonin ensimmäisen peruslain, eli liikkeen jatkavuuden lain mukaan kappale jatkaa liikettään vakionopeudella tai pysyy levossa, jos siihen ei vaikuta ulkoisia voimia. Tätä lakia opiskelijan tulee osata soveltaa tehtävässä, jossa kysytään raketin nopeutta moottorin sammuttamisen jälkeen. Tehtävänannossa kerrotaan, ettei rakettiin vaikuta mitään voimia avaruudessa. Tämän tiedon, sekä sen perusteella, että raketti on sammutettu, pitäisi opiskelijan pystyä päättämään, että raketin nopeus on vakio.

Newtonin toinen peruslaki

Newtonin toisen peruslain, eli dynamiikan lain mukaan kappaleen sama kiihtyvyys on suoraan verrannollinen kappaleeseen vaikuttavaan kokonaisvoimaan. Lakia voidaan kuvata matemaattisesti seuraavalla tavalla:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}, \quad (1)$$

missä $\Sigma \vec{F}$ on kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima, m kappaleen massa ja \vec{a} kappaleen kiihtyvyys.

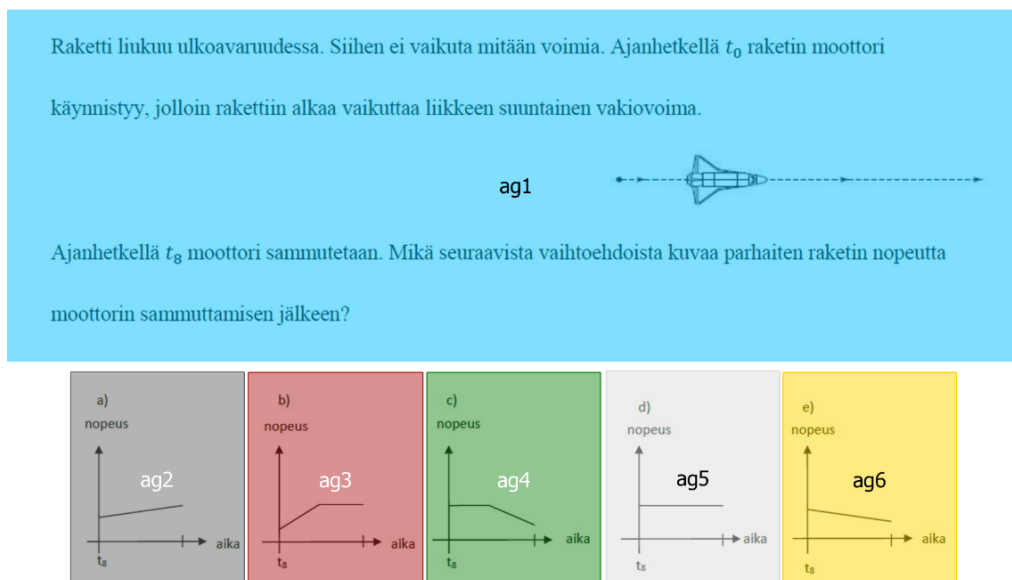
Tehtävässä, jossa nainen työntää laatikkoa, sekä tehtävässä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista, opiskelijan täytyy osata käyttää dynamiikan peruslakia. Molemmissa tehtävissä kappaleeseen kohdistetaan vakiovoima, jolloin kappale saa vakiokiihtyvyyden. Näin ollen opiskelijan täytyisi ymmärtää, että sekä laatikon että raketin nopeus kasvaa tasaisesti.

5.3 Datan analysointi

Kun data oli kerätty kaikilta koehenkilöiltä, käytiin ensin jokaisen oppilaan katseentunnistusdata läpi, jotta voitiin varmistua sen käyttökelpoisuudesta. Kahdeksan koehenkilön kohdalla data olikin niin huonoa, ettei sitä voinut käyttää tässä tutkimuksessa. Näissä tapauksissa katseentunnistuslaite oli menettänyt signaalin kokonaan tai ajoittain. Tämä saattaa johtua esimerkiksi siitä, ettei koehenkilö istunut ohjeiden mukaisesti mahdollisimman paikallaan. Osalla koehenkilöistä oli silmälasit, jotka myös saattavat häiritä laitteen toimintaa.

Varsinaista analyysiä varten tehtiin kustakin tehtävästä lämpökartat katseentunnistuslaitteen omalla SMI BeGaze –ohjelmistolla oikein ja väärin vastanneiden datasta. Lämpökarttojen analyysi on tässä tutkielmassa luvussa 6.1. SMI BeGaze –ohjelmistosta saatiin myös kuhunkin kiinnostusalueeseen luotujen fiksaatioiden keskimääräiset kokonaiskestot (engl. mean dwell time). Näistä ajoista luotiin IBM SPSS Statistics –ohjelmistolla diagrammeja, joista selviää, kuinka paljon koehenkilöt ovat keskimäärin katselleet eri kiinnostusalueita. Diagrammien analyysi on tässä tutkielmassa luvussa 6.2.

Kiinnostusalueet luotiin katseentunnistuslaitteen SMI Experiment Center -ohjelmistolla. Kaikissa tehtävissä tehtävänannolle ja jokaiselle vastausvaihtoehdolle tehtiin oma AOI, sillä tässä tutkimuksessa oli tärkeää saada tietoa siitä, kuinka paljon tehtävänantoa ja eri vaihtoehtoja katsellaan. Tutkimuskysymysten kannalta ei ollut tarpeellista luoda kiinnostusalueita esimerkiksi tiettyihin sanoihin tai kuvaajien osiin. Kuvassa 7 nähdään, miltä AOI:t näyttävät. AOI:t eivät näkyneet koehenkilöille missään vaiheessa testiä.



Kuva 7: Kaikkiin tehtäviin määriteltiin kiinnostusalueet, eli AOI:t ennen datan keruuta. AOI:t eivät näkyneet koehenkilöille.

AOI:den nimeämiseen laadittiin kaksikirjaiminen koodi, jonka avulla pystyttiin pitämään kunkin kiinnostusalueen nimi mahdollisimman lyhyenä. Kiinnostusalueiden koodinimet eivät ole relevantteja tämän tutkimuksen kannalta, joten lukijan ei tarvitse niitä tietää. Luvussa 6.2 esitetyissä diagrammeissa AOI:den nimet ovat sanallisia ja kunkin vastausvaihtoehdon sisältöä kuvaavia.

6 Tutkimustulokset

Tässä luvussa esitellään datan analysoinnissa tehdyt havainnot. Kappaleessa 6.1 vertaillaan katseentunnistusdatasta tehtyjä lämpökarttoja. Kappaleessa 6.2 tarkastellaan IBM SPSS Statistics –ohjelmistolla tehtyjä diagrammeja, joiden avulla voidaan vertailla oikein ja väärin vastanneiden koehenkilöiden katseluaikoja eri AOI:ssa.

Taulukkoon 1 on kerätty tehtäviin annetut vastaukset ja niiden lukumäärät. Tehtävät ovat siinä järjestyksessä kuin koehenkilöt tekivät ne testissä. Taulukossa toisena oleva laatikkotehtävä jätettiin analyysistä pois.

Taulukko 1: Tehtäviin annetut vastaukset ja niiden lukumäärät.

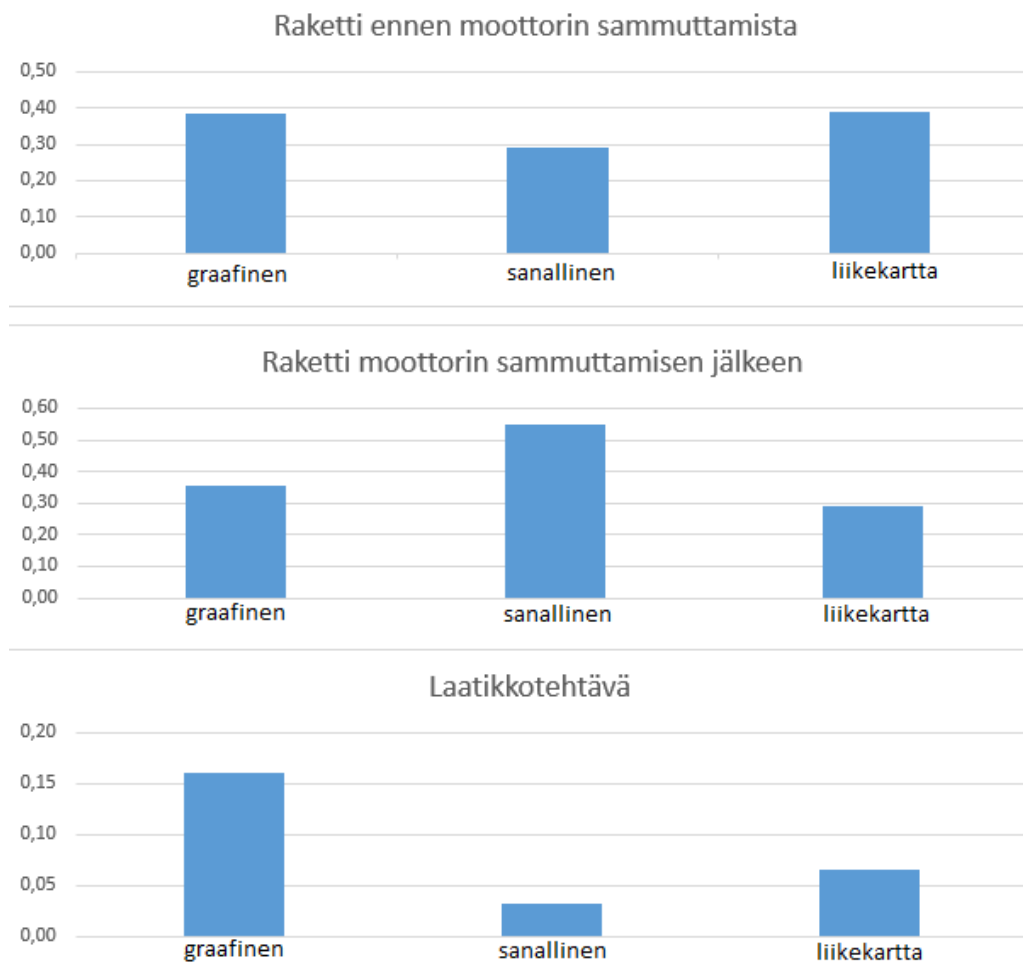
Tehtävä	Oikea vastaus (lkm)	Väärät vastaukset (lkm)
raketti ennen moottorin sammuttamista, graafinen	a (12)	b (6), c (2), d (10), e (1)
laatikkotehtävä, sanallinen	c (1)	a (0), b (10), d (8), e (12)
raketti ennen moottorin sammuttamista, sanallinen	d (9)	a (1), b (11), c (0), e (10)
raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, graafinen	d (11)	a (1), b (1), c (6), e (12)
laatikkotehtävä, liikekartta	d (2)	a (4), b (12), c (7), e (6)
raketti ennen moottorin sammuttamista, liikekartta	c (12)	a (12), b (2), d (5), e (0)
raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, liikekartta	a (9)	b (8), c (4), d (3), e (7)
laatikkotehtävä, graafinen	a (5)	b (10), c (4), d (10), e (2)
raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, sanallinen	e (17)	a (5), b (7), c (1), d (1)

Taulukossa 2 on esitetty kunkin koehenkilön testiin käyttämä aika ja oikeiden vastausten osuus. Testin tekemiseen kului koehenkilöltä aikaa keskimäärin 6 minuuttia ja 43 sekuntia. Oppilaiden nimiä ei yhdistetty heidän vastauksiinsa, vaan kunkin oppilaan datan nimeämiseen käytettiin numerointia. Koehenkilöt 501-512 ovat fysiikan viidennen kurssin opiskelijoita, ja koehenkilöt 101-127 ensimmäisen kurssin opiskelijoita. Viidennen kurssin opiskelijat käyttivät testin tekemiseen keskimäärin 7 minuuttia ja 10 sekuntia, kun ensimmäisen kurssin opiskelijat käyttivät keskimäärin 6 minuuttia ja 26 sekuntia. Viidennen kurssin opiskelijoiden kohdalla keskimääräinen oikeiden vastausten lukumäärä oli 3,75. Ensimmäisen kurssin kohdalla puolestaan oikeita vastauksia annettiin keskimäärin 1,74. Liitteessä B on jokaisen koehenkilön antamat vastaukset kuhunkin tehtävään.

Taulukko 2: Koehenkilöiden testissä käyttämä aika ja oikeiden vastausten osuus.

Koehenkilö	Aika (min)	Oikein (%)	Koehenkilö	Aika (min)	Oikein (%)	Koehenkilö	Aika (min)	Oikein (%)
501	9:41	67	101	6:09	22	119	8:12	11
502	9:30	89	102	5:53	22	120	6:54	11
503	4:33	22	105	8:16	22	122	7:01	22
504	5:56	0	106	7:35	22	123	4:40	22
505	8:21	11	110	3:14	22	124	7:10	22
506	5:53	33	111	4:35	0	125	6:48	67
507	4:07	78	113	5:20	22	127	9:40	22
508	8:03	11	114	6:05	33			
509	6:55	56	115	3:35	0			
510	6:18	33	116	4:33	0			
511	11:11	33	117	9:33	0			
512	5:37	67	118	6:54	22			

Kuva 8 tekee yhteenvedon siitä, kuinka suuri osa koehenkilöistä vastasi oikein kuhunkin tehtävään. Kuvasta 8 näkee selvästi, että laatikkotehtävä oli ylivoimaisesti vaikein tehtävä.



Kuva 8: Oikein vastanneiden osuudet kunkin tehtävän ja representaation kohdalla.

6.1 Lämpökarttojen vertailu

Katseentunnistusdatasta tehtiin lämpökarttoja siten, että yhteen lämpökarttaan valittiin kaikkien niiden koehenkilöiden data, joilla kyseinen tehtävä oli mennyt oikein, ja toiseen lämpökarttaan niiden data, joilla tehtävä oli mennyt väärin. Näin toimittiin jokaisen tehtävän kohdalla, jotta voitiin vertailla eroja niiden välillä, jotka olivat tehtävään vastanneet väärin tai oikein. Tällä tavoin voidaan löytää vastauksia luvussa 4 esiteltyyn ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Analyysistä jätettiin pois laatikkotehtävän (Liite A) sanallinen representaatio, sillä tehtävän sai oikein vain yksi koehenkilö, eikä data ole tämän vuoksi vertailukelpoista.


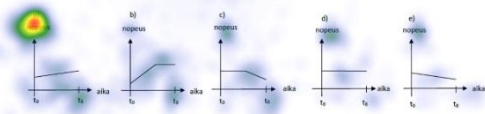

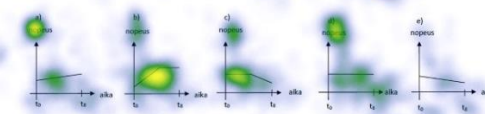
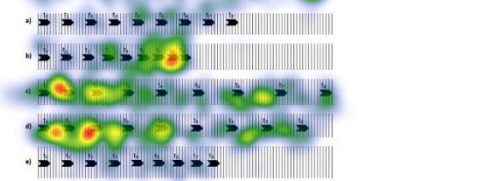



Rakettitehtävä, dynamiikan peruslaki

Graafinen muoto

Taulukkoon 3 on asetettu vierekkäin oikein ja väärin vastanneiden katseentunnistusdatasta tehdyt lämpökartat. Taulukossa 3 tarkasteltava tehtävä on rakettitehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista. Jos tarkastellaan aluksi graafista representaatiota, huomataan, että oikein vastanneet ovat löytäneet oikean vastauksen lämpökartan perusteella hyvin helposti. Heidän ei ole tarvinnut käydä tarkkaan läpi kaikkia vastausvaihtoehtoja, toisin kuin väärin vastanneiden. Itse asiassa lämpökartasta huomataan, että oppilaat ovat kiinnittäneet huomionsa a-vaihtoehdon kirjaimen ”a”, eivätkä ole edes katselleet ensimmäistä kuvaajaa sen enempää kuin muitakaan. Tämä antaa tukea sille tutkimustulokselle, että ekspertit kykenevät näkemään tehtävän kannalta oleelliset asiat niin sanotusti sivusilmällä ilman, että heidän tarvitsee luoda fiksaatiota oleelliseen kohtaan. [10]

Tehtävän graafisen muodon sai oikein 12 koehenkilöä, jolloin 19 koehenkilöä valitsi väärän vastauksen. Tehtävän ratkaisun kannalta on oleellista ymmärtää, että ulkoavaruudessa rakettiin ei vaikuta muita ulkoisia voimia kuin raketin moottorin työntövoima. Tällöin dynamiikan peruslain mukaan opiskelijan tulisi ymmärtää, että vakiovoima aiheuttaa vakioakselinopeuden, jolloin raketin nopeus kasvaa koko tarkasteluvälin ajan. Lämpökartoista näkee, että oikein vastanneet ovat kiinnittäneet jonkin verran enemmän huomiota tehtävänannon sanoihin ”ulkoavaruudessa” ja ”ei vaikuta mitään”. Tämä viittaisi siihen, että oikein vastanneet ymmärtävät väärin vastanneita paremmin tehtävän ratkaisun kannalta oleelliset oletukset. Väärin vastanneet ovat katselleet eniten vastausvaihtoehtoa b, mikä saattaa johtua juuri siitä, etteivät koehenkilöt ole ymmärtäneet tehtävänannon oletuksia, vaan luulevat, ettei raketin nopeus voisi lisääntyä jatkuvasti. Vaihtoehdon b suuresta katselumäärästä huolimatta, on d ollut väärin vastanneilla kuitenkin yleisin vastaus, sillä b:n valitsi kuusi koehenkilöä ja d:n yhdeksän. Nämä yhdeksän koehenkilöä todennäköisesti olivat siinä uskossa, että vakiovoima aiheuttaa vakionopeuden. Tämän virhekäsityksen huomasivat tutkimuksessaan myös D. Hestenes, M. Wells ja G. Swackhame. Artikkelissa ”Force Concept Inventory” tuodaan esille, että jos nopeuden ja kiihtyvyyden käsitteitä ei ymmärretä erillisinä liikettä kuvaavina suureina, on todennäköistä, että henkilö ei ymmärrä lauseiden ”kiihtyvyys on suoraan verrannollinen voimaan” ja ”nopeus on suoraan verrannollinen voimaan” eroa. [12]

Taulukko 3. Tehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista.

Oikein	Väärin
Graafinen	
<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p>  <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> 	<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p>  <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> 
Liikekartta	
<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p> <p>Raketti onesssa kuvassa toimii välisijon aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> 	<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p> <p>Raketti onesssa kuvassa toimii välisijon aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?</p> 
Sanallinen	
<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p> <p>Aikavälillä $t_0 - t_8$ raketin nopeus</p>  <ol style="list-style-type: none"> on vakio välin aikaa ja sen jälkeen pienenee. kasvaa välin aikaa ja on sen jälkeen vakio. pienenee koko ajan. kasvaa koko ajan. on vakio. 	<p>Raketti liikkuu tilkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.</p> <p>Aikavälillä $t_0 - t_8$ raketin nopeus</p>  <ol style="list-style-type: none"> on vakio välin aikaa ja sen jälkeen pienenee. kasvaa välin aikaa ja on sen jälkeen vakio. pienenee koko ajan. kasvaa koko ajan. on vakio.

Vaihtoehdo e puolestaan on jäänyt hyvin vähälle katselulle, mikä selittyi sillä, että on hyvin helppo päätellä, ettei raketin nopeus voi vähentyä moottorin ollessa käynnissä. Väärin vastanneet ovat myös oikein vastanneisiin verrattuna kiinnittäneet huomiota merkittävästi enemmän tehtävänannon suureiden arvoihin t_0 , t_8 . Suureiden merkitys tehtävän kannalta on pieni, sillä ne kertovat vain aikavälin, jona raketia tarkastellaan. Voi olla, että väärin vastanneet takertuvat kaikkeen matemaattiseen informaatioon, koska he saattavat olettaa, että juuri matemaattisesti ilmoitettu tieto on tehtävän kannalta kaikkein oleellisin. Tämäkin heijastelee sitä, ettei väärin vastanneilla ole tarpeeksi fysiikan teoriaan liittyvää tietoa, jotta voisivat ratkaista tehtävän oikein. Toisaalta myös oikein vastanneet ovat keskittyneet suureiden arvoihin, mutta eivät aivan

niin paljon kuin väärin vastanneet. Tämä matemaattisten suureiden katselu voi selittyä aikaisemmassa tutkimuksessa tehdyllä havainnolla, että koehenkilöt katselevat tehtävissä noin 60 % ajasta matemaattista informaatiota. [8]

Liikekarttamuoto

Tämän tehtävän liikekarttamuodon, joka on taulukon 3 keskimmaisella rivillä, sai oikein 12 koehenkilöä, kuten oli graafisenkin representaation kohdalla. Nämä 12 henkilöä eivät kuitenkaan ole samat molemmissa representaatioissa, sillä vain 7 koehenkilöä sai oikein molemmat. Jos verrataan lämpökarttoja toisiinsa, huomataan, että liikekartat tuottivat enemmän hankaluuksia kuin graafiset vastaukset. Tämä näkyy erityisesti suuresta katselumäärästä, sekä siitä, että oikein vastanneetkin ovat katselleet useampaa kuin yhtä vaihtoehtoa. Lisäksi koehenkilöt ovat käyttäneet tehtävänannon lukemiseen huomattavasti enemmän aikaa kuin esimerkiksi graafisen representaation kohdalla, minkä näkee lämpökartan punaisena hehkuvista alueista. Tämä on yllättävää, sillä liikekarttamuoto tuli koehenkilöille tästä tehtävästä viimeisimpänä. Tällöin voisi ajatella tehtävänannon olevan jo muistissa. Kuitenkin, jos oikean vastauksen löytäminen koetaan haastavaksi, on luonnollista, että opiskelija kertailee tehtävänantoa varmistaakseen, että on ymmärtänyt tehtävänannon, eikä mitään ole jäänyt huomaamatta.

Liikekarttamuodossa oikein vastanneet ovat katselleet vastausvaihtoehdoista eniten kohtia b, c ja d, joista c on oikein. Vaihtoehtojen c ja d katselu selittyy varmasti sillä, että nopeasti katsottuna molemmat vaihtoehdot näyttävät kuvaavan tasaisesti kiihtyvää liikettä. Päätyäkseen oikeaan vastaukseen, koehenkilön täytyy kuitenkin pisteiden välejä vertailemalla huomata, että d-vaihtoehto kuvaa liikettä, jossa raketti on ensin kiihtyvässä ja tämän jälkeen tasaisessa liikkeessä. Vaihtoehdon b katselumäärät oikein vastanneiden kohdalla on melko yllättävää, sillä b-vaihtoehto kuvaa hidastuvaa liikettä. Voisi ajatella, että tämä vaihtoehto olisi kaikista helpoin todeta vääräksi vaihtoehdoksi. Luulen tämän vaihtoehdon katselun selittyvän sillä, etteivät koehenkilöt täysin ymmärrä, kuinka liikekarttaa luetaan. Jos koehenkilö erehtyy luulemaan, että pisteiden välien lyheneminen kuvastaa kiihtyvää liikettä, päättyy hän vaihtoehtoon b. Lopulta oikein vastanneiden on kuitenkin täytynyt ymmärtää, kuinka liikekarttaa luetaan, sillä he ovat päätyneet oikeaan vastaukseen vertailemalla vastauksia c ja d. Tällöin he huomaavat, ettei vaihtoehto d kuvaakaan kiihtyvää liikettä.

Väärin vastanneet näyttävät käyttäneen liikekarttoissa eniten katseluaikaa a-vaihtoehtoon, joka kuvaa tasaista liikettä. 12 koehenkilöä väärin vastanneista olikin valinnut a-vaihtoehdon tehtävän vastaukseksi. Tämä ei sinänsä ole yllättävää, sillä graafisessakin representaatioissa tasainen liike oli väärin vastanneiden joukossa yleisin valinta. Kuten oikein vastanneillakin, saattaa vaihtoehdon b katselu johtua siitä, etteivät koehenkilöt ole täysin ymmärtäneet, kuinka liikekarttoja tulkitaan. Vain kaksi koehenkilöä oli kuitenkin vastannut vaihtoehdon b, joten tästä voidaan päätellä, että väärin vastanneetkin lopulta ymmärsivät liikekarttojen sisällön. Liikekartan d-vaihtoehto vastaa graafisen representaation b-vaihtoehtoa. Molemmissa representaatioissa väärin vastanneet ovat katselleet näitä vaihtoehtoja melko paljon, mutta liikekartassa

d:n vastasi vain viisi koehenkilöä ja graafisessa representaatioissa kuusi. Koska sekä liikekarttojen, että kuvaajien kohdalla oikeita ja vääriä vastauksia on täsmälleen yhtä paljon, voidaan päätellä, ettei tämän tehtävän kohdalla oppilaalle ollut väliä, kummalla tavalla tehtävä hänelle esitetään. Huomattavaa on kuitenkin se, että liikekartta oli kurssien opettajan mukaan kaikille oppilaille uusi representaatiomuoto, mikä osaltaan vaikuttaa siihen, että niiden tulkitsemiseen kului oppilailla enemmän aikaa. Vaikka liikekartat olisivatkin olleet tuttuja, olisi oppilailla siitä huolimatta mennyt luultavasti niihin suhteessa enemmän aikaa kuin kuvaajiin, sillä liikekarttoihin täytyy todella syventyä ennen kuin niistä voi tehdä päätelmiä.

Sanallinen muoto

Kun tarkastellaan vielä tämän tehtävän sanallisesta muodosta saatuja lämpökarttoja, huomataan samansuuntaisia asioita kuin graafisen muodon kohdallakin; väärin vastanneet oppilaat kiinnittävät paljon huomiota tehtävässä annettuihin matemaattisiin suureisiin t_0 ja t_8 . Erona graafiseen muotoon on se, että sekä väärin että oikein vastanneet ovat katselleet kaikkia vastausvaihtoehtoja yhtä paljon. Tämä johtunee siitä, että toisin kuin kuvaajien kohdalla sanallisessa muodossa olevan vastausvaihtoehdon sisällöstä ei pääse selville muutoin kuin lukemalla koko vastauksen. Sanallisen tehtävän sai oikein yhdeksän opiskelijaa, jolloin 22 opiskelijaa vastasi väärin. Tämä poikkeaa saman tehtävän graafisen ja liikekarttamuodon tapauksista. Sanallisen tehtävän kohdalla yleisin väärä vastaus oli b, jonka valitsi 11 koehenkilöä. Vastaukseksi valitsi e:n kymmenen koehenkilöä. Lämpökartan mukaan vaihtoehtoa e on kuitenkin katseltu huomattavasti enemmän kuin b:tä. Tämä johtunee osittain siitä, että e-vaihtoehto on hyvin lyhyt, jolloin sitä voi katsella kuin kuvaa, toisin kuin pitkää lausetta, joka täytyy systemaattisesti lukea.

Tämän dynamiikan peruslakiin liittyvän raketitehtävän kohdalla suurin osa vääristä vastauksista vastasi vaihtoehtoa, jonka mukaan kappaleen nopeus pysyy vakiona. Tämä vastaa jo edellä esille tuotua virhekäsitystä, jonka mukaan nopeuden ja kiihtyvyyden eroa ei ymmärretä [12]. Yllättävää on se, että eniten vääriä vastauksia annettiin sanallisen representaation kohdalla. Saattaa olla, että sanallinen muoto paljastaa oppilaiden todellisen osaamisen, sillä luultavasti he ymmärtävät sanallisessa muodossa annetun vastauksen sisällön kaikkein parhaiten. Jos opiskelija ei ymmärrä tehtävän taustalla olevaa fysiikkaa eikä osaa tulkita kuvaajia, hän on saattanut arvaamalla valita kuvaajien ja liikekarttojenkin kohdalla oikean vastauksen ymmärtämättä sen sisältöä. Sanallisessa muodossa sen sijaan osaamiseen ei vaikuta se, ymmärtääkö representaatiota, koska verbaalinen ilmaisu on kaikille tuttua. Tällöin oppilas voi antaa juuri sen vastauksen, joka kuvaa parhaiten hänen käsitystään tehtävän taustalla olevasta fysiikasta, olivatpa hänen käsityksensä oikeita tai virheellisiä.

Rakettitehtävä, liikkeen jatkavuuden laki

Graafinen muoto

Analysoidaan seuraavaksi seuraavalla sivulla olevia taulukon 4 lämpökarttoja. Tässä tehtävässä kysytään raketin nopeutta sen jälkeen, kun moottori on sammutettu. Tehtävän sai oikein 11 opiskelijaa, joten 20 opiskelijaa vastasi väärin. Graafisen representaation lämpökartat näyttävät hyvin samanlaisilta kuin edellisen rakettitehtävän kohdallakin, sillä väärin vastanneet ovat kiinnittäneet huomiota ajan symboleihin enemmän kuin oikein vastanneet. He ovat myös katselleet laajemmin vastausvaihtoehtoja. Oikein vastanneet ovat jälleen tehtävänannon luetuun löytäneet helposti oikean vastauksen.

Väärin vastanneiden lämpökartan avulla päästään virhekäsitysten jäljille, sillä yleisin väärä vastaus graafisessa tehtävässä oli vaihtoehto e, eli hidastuva liike. Tämän vaihtoehdon valitsi 12 koehenkilöä, eli hieman yli puolet väärin vastanneista. Saadakseen tehtävän oikein, täytyy koehenkilön ymmärtää liikkeen jatkavuuden lain sisällön ja oletukset. Tässä tehtävässä oletetaan, ettei rakettiin vaikuta mitään voimia. Tästä koehenkilön täytyisi pystyä päättämään, että raketti jatkaa liikkettään muuttumattomalla nopeudella. Nämä 12 koehenkilöä eivät selvästi ymmärtäneet, että tehtävässä tehdyt oletukset olivat ratkaisevia tehtävän ratkaisun kannalta. Vaihtoehtoisesti opiskelijat eivät välttämättä muistaneet jatkavuuden lakia lainkaan. Toiseksi yleisin väärä vaihtoehto oli c ja sitä olikin katseltu kaikkein eniten. Vastaukseksi oli valinnut c:n kuusi koehenkilöä. Tämän vaihtoehdon suuret katselumäärät saattavat johtua siitä, että myös e:n valinneet ovat pitäneet c:tä hyvänä vaihtoehtona, ja ovat punninneet sen oikeellisuutta pitkään.

Vaihtoehdon c taustalla oleva fysiikka saattaa myös liittyä virhekäsitykseen, sillä c:n kuvaajassa liike on ensin tasaista ja tämän jälkeen hidastuvaa. Jos tutkitaan arkipäivän ilmiöitä siten, että jätetään fysiikan teoriat pois tarkastelusta, saattaa esimerkiksi autossa matkustavasta moottorijarrutus tuntua siltä, että auto jatkaisi ensin tasaisella nopeudella eteenpäin ja vasta hetken kuluttua liike alkaisi hidastua. Oppilaat voivat sekoittaa tehtävänannon tilanteen esimerkiksi juuri tämän kaltaisiin arkielämän tilanteisiin, jollin vaihtoehto c saattaa tuntua oikealta vastausvaihtoehdolta.

Liikekarttamuoto

Kun tarkastellaan tämän tehtävän liikekarttamuotojen lämpökarttoja, huomataan, että oikein vastanneet ovat katselleet tehtävänantoa huomattavasti vähemmän kuin taulukossa 3 olevassa liikekarttatehtävässä. Tämän jatkavuuden peruslakiin perustuvan rakettitehtävän sai kuitenkin oikein vain 9 koehenkilöä, kun dynamiikan lakiin perustuvan rakettitehtävän sai oikein 12 koehenkilöä. Tähän saattaa vaikuttaa se, että tehtävät perustuvat eri fysiikan lakeihin. Tämän perusteella siis jatkavuuden peruslaki on koehenkilöillä hieman huonommin hallussa kuin dynamiikan laki. Ongelmat jatkavuuden lain ymmärtämisessä saattavat liittyä siihen, että jatkavuuden lakia ei havaita arkielämässä siinä muodossa kuin se tässä tehtävässä on, eli täytyy olettaa, ettei rakettiin vaikuta mitään voimia. Lukiolaiselle voi olla hyvin vaikeaa tehdä ja ymmärtää sellaisia oletuksia, jotka eivät ole mahdollisia normaalissa arkielämässä.

Taulukko 4. Tehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta moottorin sammuttamisen jälkeen.

Oikein	Väärin
Graafinen	
<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_1 moottori sammutetaan. Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta moottorin sammuttamisen jälkeen?</p>	<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_1 moottori sammutetaan. Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta moottorin sammuttamisen jälkeen?</p>
Liikekartta	
<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Moottori sammutetaan ajanhetkellä t_1. Raketti otetaan kuvia tasavälisillä aikavälillä Δt.</p> <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta kyseisellä aikavälillä moottorin sammuttamisen jälkeen?</p>	<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima. Moottori sammutetaan ajanhetkellä t_1. Raketti otetaan kuvia tasavälisillä aikavälillä Δt.</p> <p>Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta kyseisellä aikavälillä moottorin sammuttamisen jälkeen?</p>
Sanallinen	
<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_1 moottori sammutetaan ja tämän jälkeen raketin nopeus</p> <ol style="list-style-type: none"> on vakio vähän aikaa ja sen jälkeen pienenee. kasvaa vähän aikaa ja on sen jälkeen vakio. pienenee koko ajan. kasvaa koko ajan. on vakio. 	<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimaa. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin raketin alkaa vaikuttaa liikkeen suunnainen vakiovoima.</p> <p>Ajanhetkellä t_1 moottori sammutetaan ja tämän jälkeen raketin nopeus</p> <ol style="list-style-type: none"> on vakio vähän aikaa ja sen jälkeen pienenee. kasvaa vähän aikaa ja on sen jälkeen vakio. pienenee koko ajan. kasvaa koko ajan. on vakio.

Oikein vastanneet ovat oikean vaihtoehdon, eli a:n lisäksi katselleet myös c:tä sekä d- ja e-vaihtoehtojen alkua. Oikein vastanneet ovat luultavasti ymmärtäneet, kuinka liikkeen jatka-
vuuden lakia sovelletaan tässä tehtävässä, joten he ovat osanneet sulkea vaihtoehdon b heti
pois. Muiden vaihtoehtojen alkuja he ovat luultavasti katselleet varmistaakseen, että ne eivät
kuvaa tasaista liikettä, joka tässä tehtävässä on oikea vastaus. Väärin vastanneet puolestaan
ovat käyneet kaikki vaihtoehdot läpi, mutta yleisimmiksi vaihtoehdoiksi heidän joukossaan
nousi b, jonka valitsi kahdeksan koehenkilöä, sekä e, jonka valitsi seitsemän henkilöä. Vaihto-
ehto b kuvaa jatkuvasti hidastuvaa liikettä ja e liikettä, joka on ensin tasaista ja sen jälkeen

hidastuu. Väärin vastanneilla tuntuu siis olevan vahva väärinkäsitys, jonka mukaan raketin nopeus hidastuu, vaikka siihen ei vaikuta mitään voimia ulkoavaruudessa.

Sanallinen muoto

Taulukossa 4 nähdään alimpana liikkeen jatkavuuden lakiin perustuvan sanallisen tehtävän lämpökartat. Tehtävän sai oikein 17 koehenkilöä, joten se oli ylivoimaisesti helpoin kaikista monivalintatestin tehtävistä. Ero oikein ja väärin vastanneiden välillä on kuitenkin suuri: oikein vastanneet ovat lukeneet tehtävänannon ja vastausvaihtoehdot läpi hyvin nopeasti, minkä jälkeen ovat valinneet oikean vastauksen. Saattaa olla, että jo edellä mainittu eksperttien kyky nähdä relevantteja asioita sivusilmällä vaikuttaa siihen, että vaihtoehto e hehkuu punaisena lämpökartassa. Oikein vastanneet ovat siis luultavasti tienneet oikean vastauksen jo heti tehtävänannon lukemisen jälkeen, joten heidän ei ole tarvinnut lukea systemaattisesti kaikkia vastauksia läpi vaan nopea silmäily on riittänyt. [10] Väärin vastanneiden valinnoissa näkyy jälleen se, ettei liikkeen jatkavuuden lakia ole osattu soveltaa, sillä yleisimmät väärät vastaukset olivat c (7 henkilöä) ja a (5 henkilöä). Vaihtoehto c:n mukaan raketin nopeus pienenee koko ajan ja a:n mukaan nopeus on ensin vakio ja sen jälkeen pienenee.

Tämän raketitehtävän kaikissa representaatiomuodoissa yleisimmät väärät vastaukset siis olivat samoja, joskin väärin vastausten määrä vaihteli suurestikin. Tämä nähdään taulukosta 1 sivulla 17. Representaatiomuodolla näyttäisi tämän tehtävän kohdalla olevan paljonkin vaikutusta siihen, kuinka hyvin oppilaat pystyvät tehtäviä ratkaisemaan. Yllättävää on se, että dynamiikan peruslakiin perustuvassa raketitehtävässä eniten vääriä vastauksia annettiin sanallisen tehtävän kohdalla, kun taas jatkavuuden peruslakiin perustuvassa tehtävässä sanallinen tehtävä oli ylivoimaisesti helpoin. Tällöin siis näyttäisi olevan representaation lisäksi merkityksellistä, mitä fysikaalista ilmiötä kuvataan.

Laatikkotehtävä, dynamiikan peruslaki

Tarkastellaan vielä taulukossa 5 olevia lämpökarttoja, jotka on tehty laatikkotehtävästä saadusta katseentunnistusdatasta. Kuten edellä mainittiin, on laatikkotehtävän sanallinen muoto jätetty analyysistä pois.

Graafinen muoto

Laatikkotehtävän graafisen muodon sai oikein vain viisi koehenkilöä. Oikein vastanneetkaan eivät luultavasti ole olleet heti tehtävänannon lukemisen jälkeen täysin varmoja vastauksesta, sillä he ovat selvästi käyneet läpi kaikki vastausvaihtoehdot. Mikään muu vastausvaihtoehto ei kuitenkaan nouse katselumäärissä samalle tasolle oikean vastauksen kanssa. Näin ollen voidaan luultavasti sanoa, että oikein vastanneet ovat löytäneet oikean vastauksen melko nopeasti. Väärin vastanneetkin ovat katselleet kaikkia vastausvaihtoehtoja, joista väärää b-vaihtoehtoa on katseltu kaikkein eniten. Vaihtoehdon b mukaan laatikon liike ensin kiihtyisi ja sen jälkeen pysyisi vakiona. Tämän oli valinnut vastaukseksi kymmenen koehenkilöä. Yhtä paljon oli vastattu vaihtoehtoa d, jonka mukaan kappaleen nopeus pysyisi koko ajan vakiona.

Taulukko 5. Tehtävä, jossa kysytään laatikon nopeutta.

Oikein	Väärin
Graafinen	
<p>Nainen työntää suoraa laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0.</p> <p>Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.</p> <p>Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta?</p>	<p>Nainen työntää suoraa laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0.</p> <p>Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.</p> <p>Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta?</p>
Liikekartta	
<p>Nainen työntää laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0.</p> <p>Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.</p> <p>Liikekartasta otetaan kuva tasaisin väliajoin aikavälillä $t_1 - t_2$.</p> <p>Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta aikavälillä?</p>	<p>Nainen työntää laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0.</p> <p>Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.</p> <p>Liikekartasta otetaan kuva tasaisin väliajoin aikavälillä $t_1 - t_2$.</p> <p>Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta aikavälillä?</p>

Ratkaistakseen tämän tehtävän, täytyisi koehenkilön ymmärtää dynamiikan lain sisältö. Näyttäisi siis edelleen siltä, että väärin vastanneet luulevat vakiovoiman aiheuttavan vakionopeuden. Luulen, että tehtävänannon alkutilanne, jossa nainen työntää laatikkoa vakionopeudella, sekoittaa oppilaiden ajatukset. Toisaalta he arkielämän kokemuksenkin perusteella ymmärtävät, että voiman lisääminen lisää myös nopeutta, mutta eivät voi ymmärtää, että nopeus voisi lisääntyä jatkuvasti. Näin ollen vaihtoehto b vastaisi enemmän arkielämän kokemusta, jossa nopeuden lisääntyminen loppuisi jossain vaiheessa. Vaihtoehdon d takana voi olla ajatus siitä, että voiman kaksinkertaistaminen kaksinkertaistaisi myös nopeuden. Opiskelija saattaa olettaa, että nopeuden lisääntyminen tapahtuisi välittömästi voiman kaksinkertaistamisen jälkeen, eikä vähitellen. Tällaisella ajattelulla oppilas on hyvinkin voinut päätyä vaihtoehtoon d.

Liikekarttamuoto

Liikekarttamuodon tässä tehtävässä sai oikein vain kaksi koehenkilöä. Oikein vastanneet koehenkilöt ovat kiinnittäneet tehtävänannossa erityisesti huomiota kohtaan ”ajanhetkellä t_0 ”, mitä he eivät ole tehneet graafisessa tehtävässä. Koehenkilöille voi olla epäselvää, kuinka liikekarttaa tulisi tulkita ennen ja jälkeen hetkeä t_0 , ja kuinka tämä ajanhetki itse asiassa edes liittyy tehtävän ratkaisemiseen. Koska koehenkilöitä on oikein vastanneissa vain kaksi, saattaa kuitenkin olla täysin sattumaa, että juuri he ovat kiinnittäneet erityistä huomiota johonkin kohtaan.

Väärin vastanneiden kohdalla on kiinnitetty eniten huomiota tehtävänannon kohtaan ” t_0-t_1 ”. Tämä näkyy myös siinä, miten väärin vastanneet ovat katselleet vastausvaihtoehtoja, sillä he eivät ole kiinnittäneet juurikaan huomiota pisteisiin ennen ajanhetkeä t_0 . Yleisin väärä vastaus tässä tehtävässä oli b, jonka oli valinnut 12 koehenkilöä, mikä edelleen lisää sen todennäköisyyttä, että osa koehenkilöistä todella ajattelee vakiovoiman aiheuttavan vakionopeuden. Vaihtoehdon a oli valinnut vain neljä koehenkilöä, vaikka näyttää siltä, että sitä olisi katseltu kaikkein eniten. Luulen, että opiskelijat ovat laskeneet a-vaihtoehdosta ajanhetkien t_0 ja t_1 väliset viivat ja tämän jälkeen arvioineet muiden vastausvaihtoehtojen pisteiden välistä etäisyyttä tämän avulla. Toiseksi yleisin väärä vastaus oli c, ja sen valitsi seitsemän koehenkilöä. Vaihtoehdon e puolestaan oli valinnut kuusi koehenkilöä. Valitessaan vastaukseksi b:n koehenkilöt ovat saattaneet takertua tehtävänannon kohtaan ”nainen kaksinkertaistaa voima, jolla hän työntää laatikkoa”. Koehenkilöt luultavasti ajattelevat, että tällöin liikekartassa pisteiden välin tulisi kaksinkertaistua, ja silmämääräisesti vaihtoehto b näyttää siltä. Todellisuudessa pisteiden väli kaksinkertaistuu vaihtoehdossa a.

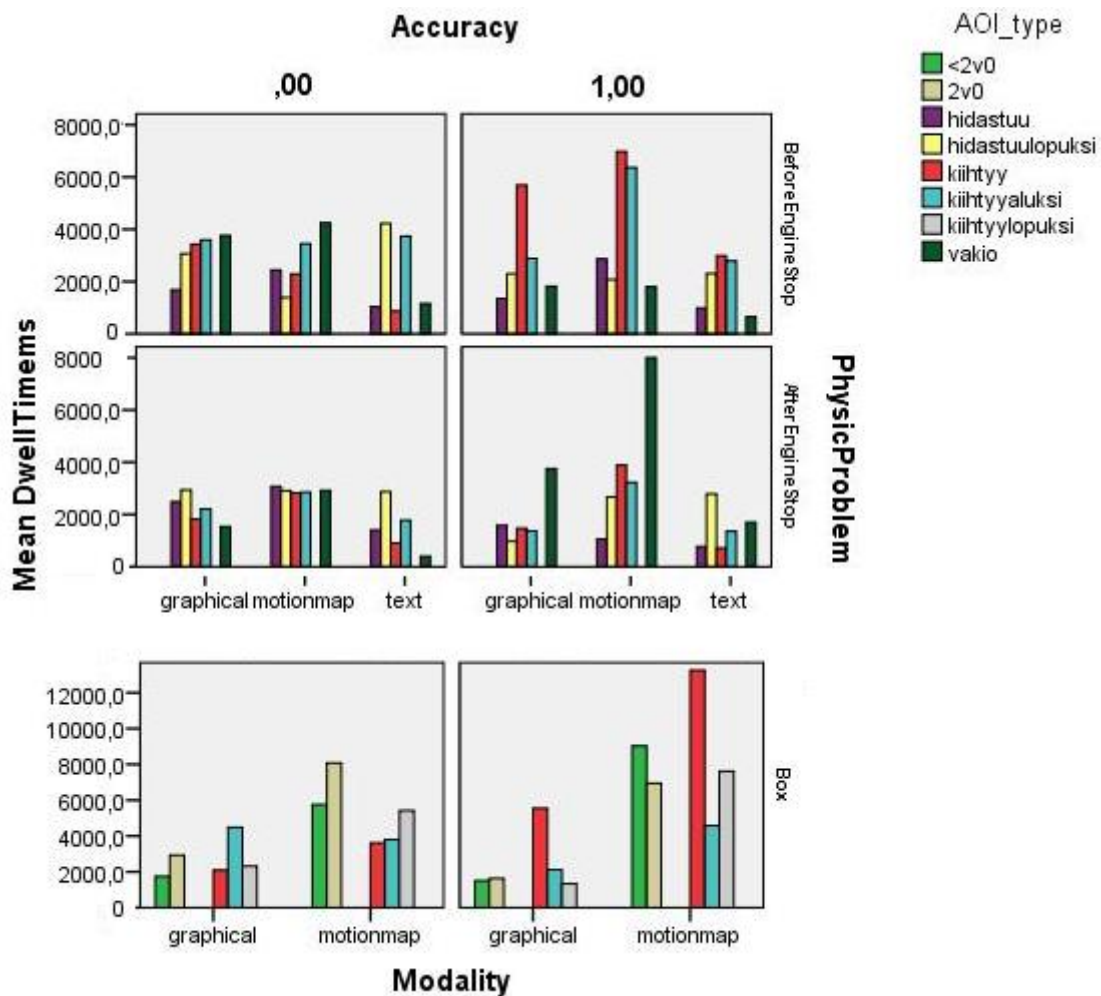
Vaihtoehto c kuvaa kappaletta, joka kulkee aluksi vakionopeudella ja lopuksi sen nopeus kasvaa. Vaihtoehto e puolestaan kuvaa kappaletta, jonka nopeus ensin kasvaa ja on sen jälkeen vakio. Kuten graafisessakin representaatioissa, oppilaat voivat ajatella, että laatikon nopeus ensin lisääntyy, mutta ei kuitenkaan voi lisääntyä loputtomasti. Tällainen ajattelu antaisi perusteita valita vastaukseksi e:n. Vaihtoehdon c valintaa on melko vaikea selittää, sillä vain neljä opiskelijaa vastasi graafisessa tehtävässä, että kappaleen nopeus on ensin vakio ja kasvaa sen jälkeen. Voi kuitenkin olla, että laatikkotehtävä koettiin yleisesti niin vaikeaksi, että koehenkilöiden vastaukset perustuvat osin jopa puhtaisiin arvauksiin.

Kokonaisuutena kaikkien laatikkotehtävän representaatioiden kohdalla tulokset olivat huomattavasti heikompia kuin muissa tehtävissä. Koska representaatiot ovat samat kaikissa tehtävissä, ei laatikkotehtävän vaikeutta voi selittää vain sillä, että representaatio olisi ollut vaikea ymmärtää. Uskon, että koehenkilöt eivät ymmärtäneet, ettei voiman kaksinkertaistaminen itse asiassa liity tehtävän ratkaisemiseen oleellisesti. Tärkeää sen sijaan on se, että laatikkoon kohdistuvan voiman suuruus kasvaa, jolloin laatikon nopeus alkaa muuttua. Laatikkotehtävä lisäksi eroaa rakettitehtävistä siten, että laatikon työntäminen on hyvin arkipäiväinen ilmiö, joten koehenkilöiden voi olla vaikeaa luoda epärealistisia, mutta fysiikalle ominaisia oletuksia. Yllättävää tässä tehtävässä oli lisäksi se, että sanallisessa muodossa olevaan tehtävään oli annettu kaikkein vähiten oikeita vastauksia. Liikekartatehtäväänkään ei vastannut oikein kuin kaksi koehenkilöä, joten voi hyvin olla mahdollista, että liikekartassa toinen oikea vastaus tuli esimerkiksi arvauksen tuloksena.

6.2 Representaation vaikutus katseluaikoihin

Lämpökartat kertovat vain silmämääräisesti, kuinka paljon koehenkilöt ovat käyttäneet tiettyjen sanojen tai kuvien katseluun tehtäviä tehdessään. Kuvassa 9 nähdään IBM SPSS Statistics -ohjelmistolla tehtyjä pylväsdiagrammeja, joissa vasemmalla pystyakselilla on keskimääräinen

fiksaatioiden kesto millisekunteina. Vaaka-akselilla puolestaan on lajiteltu tehtävät representaatioiden mukaan. Oikealla pystyakselilla on lajiteltu tehtävät niiden sisällön mukaan. Ylhäällä oleva ”Accuracy” kuvaa sitä, saivatko koehenkilöt tehtävän oikein vai eivät. Accuracyn 0,00 alla olevat diagrammit on tehty väärin vastanneiden koehenkilöiden datasta ja accuracyn 1,00 alla olevat diagrammit puolestaan oikein vastanneiden koehenkilöiden datasta. Oikealla ylhäällä on kuvailtu kunkin tehtävän vastauksen sisältö sanallisesti kohdassa AOI_type.



Kuva 9: Koehenkilöiden keskimääräiset katseluajat AOI:ta kohden kussakin tehtävässä.

Aloitetaan tehtävästä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista (engl. before engine stops). Tätä tehtävää vastaavat diagrammit ovat kuvassa 9 ylläpäällä. Oikea vastaus tehtävään on, että raketti on kiihtyvässä liikkeessä ja sitä vastaa diagrammissa punainen pylväs. Oikein vastanneiden kohdalla kaikissa representaatioissa oikeaa vastausta on katseltu kaikkein eniten. Liikekarttamuodossa ja sanallisessa representaatioissa oikean vastauksen kanssa nousee lähes samalle tasolle sininen pylväs. Se vastaa vaihtoehtoa, jonka mukaan raketin nopeus kiihtyisi vain aluksi. Yllättävää on se, miksi graafisessa muodossa sininen pylväs ei

nouse läheskään samalle tasolle punaisen kanssa. Tämä saattaa selittyä sillä, että oikein vastanneille graafinen representaatio on kaikkein helpoin. Toisaalta, kuten lämpökarttojenkin kohdalla todettiin, näyttävät liikekartassa vaihtoehdot ”kiihtyy” ja ”kiihtyy aluksi” hyvin samalta, joten koehenkilö joutuu käyttämään aikaa selvittääkseen, kumpi on oikea vastaus.

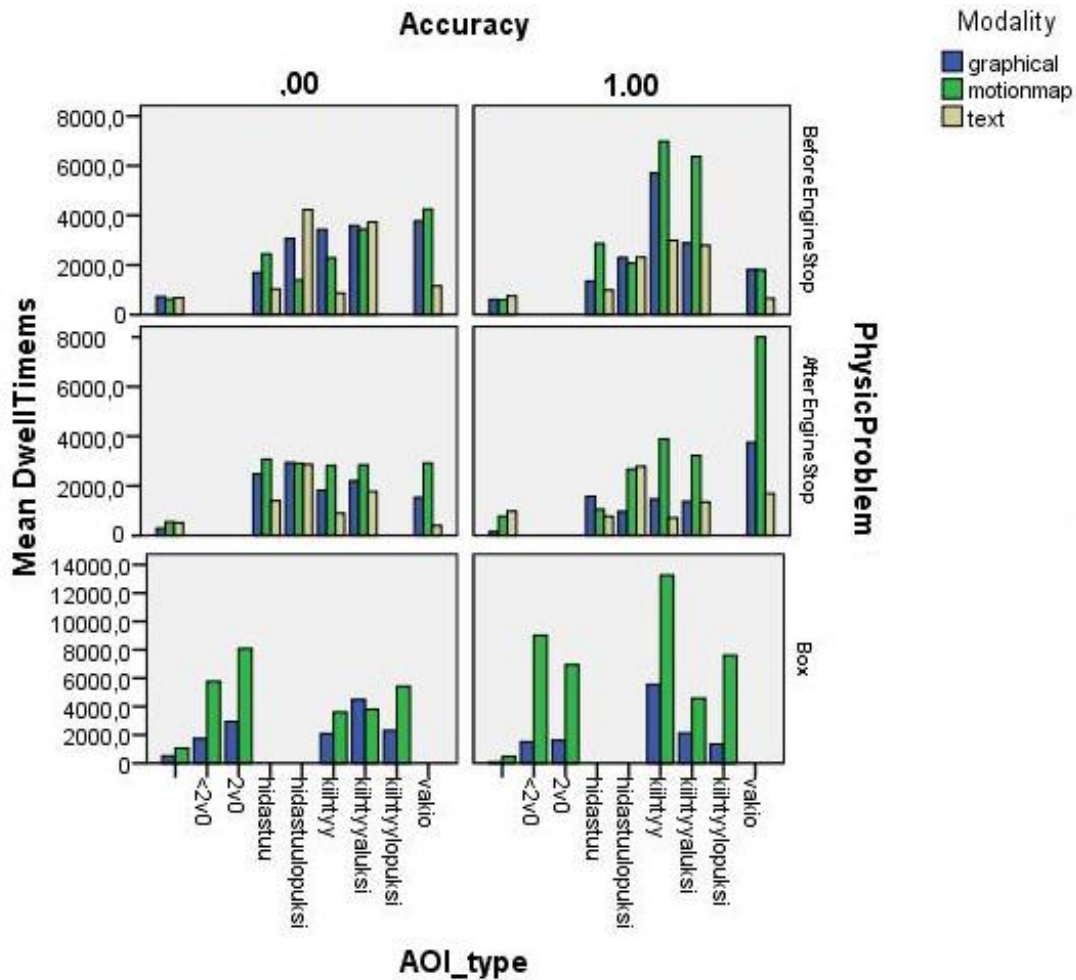
Väärin vastanneilla tekstimuodossa kahden vastausvaihtoehdon katseluajat nousevat muita korkeammalle. Todennäköisesti tämä johtuu siitä, että väärin vastanneet koehenkilöt ovat sulkeneet muutaman vaihtoehdon heti pois, minkä jälkeen ovat puninneet valintaansa kahden eri vaihtoehdon välillä. Nämä kaksi vaihtoehtoa tosin ovat väärä, mikä jälleen vahvistaa oletusta siitä, että väärin vastanneet eivät ymmärrä dynamiikan peruslakia.

Oikein vastanneilla sanallisessa representaatiossa kaikki pylväät ovat melko lyhyitä ja itse asiassa oikeaa vastausta lukuun ottamatta pylvään korkeus näyttäisi olevan suoraan verrannollinen sanallisen vastausvaihtoehdon pituuteen. Graafisessa muodossa sekä liikekartassa väärin vastanneiden katseluajat ovat tasaisempia eri vaihtoehtojen välillä verrattuna oikein vastanneisiin. Tämä johtuu luultavasti siitä, että väärin vastanneet ovat käyneet kaikkia vaihtoehtoja läpi, koska eivät ole heti osanneet valita mieleistään vastausta.

Liikkeen jatkavuuden lakiin perustuvassa rakettitehtävässä (engl. after engine stops) oikein vastanneiden kohdalla on sama trendi nähtävissä kuin dynamiikan lakiin perustuvassa rakettitehtävässäkin. Graafisessa muodossa sekä liikekartassa oikean vastauksen katselu nousee kaikkien korkeimmaksi, kun taas tekstimuodossa katseluajat ovat paljon pienempiä. Kaiken lisäksi väärää vastausta on katseltu enemmän kuin oikeaa. Tämä saattaa kertoa siitä, etteivät koehenkilöt ole heti pystyneet valitsemaan oikeaa vastausta. Väärin vastanneiden kohdalla jälleen katseluajat ovat melko tasaisia. Tekstimuodossa kuitenkin väärää vastausta on katseltu kaikkein eniten ja oikeaa vastausta kaikkein vähiten. Tämä kertoo siitä, että väärin vastanneilla koehenkilöillä on suuria ongelmia liikkeen jatkavuuden lain ymmärtämisessä, sillä he eivät ole pitäneet oikeaa vastausta edes varteen otettavana vaihtoehtona.

Muihin tehtäviin verrattuna laatikkotehtävässä katseluajat ovat suurempia sekä oikein että väärin vastanneilla. Suuret katseluajat heijastelevat jo lämpökarttojen kohdalla tehtyä havaintoa, että laatikkotehtävä oli koko testin vaikein tehtävä. Graafisen muodon ja liikekartan välillä huomaa myös selvän eron laatikkotehtävä katseluajoissa: sekä oikein että väärin vastanneet ovat käyttäneet enemmän aikaa liikekarttojen kuin kuvaajien katseluun, joten liikekartat on koettu hankalammaksi tulkita kuin kuvaajat.

Kuvassa 10 olevat diagrammit on käännetty kuvassa 9 olevaan diagrammiin verrattuna tehtävien representaatioiden ja AOI:den suhteen. Näin nähdään paremmin, mikä tehtävä ja mikä representaatio on koettu katselumäärien perusteella kaikkein vaikeimmaksi.



Kuva 10: Koehenkilöiden katseluajat tehtävän representaatiota kohden kussakin tehtävässä.

Kaikissa tehtävissä liikekarttoja on katseltu kaikkein eniten sekä oikein että väärin vastanneiden kesken. Väärin vastanneilla liikekarttojen katselumäärät eivät kuitenkaan ole niin merkittävästi suurempia kahteen muuhun representaatioon verrattuna kuin oikein vastanneilla. Voisi olettaa, että väärin vastanneet käyttäisivät monimutkaisimpaan ja koehenkilöille vieraimpaan representaatioon enemmän aikaa kuin oikein vastanneet, mutta näyttääkin siltä, että väärin vastanneet ovat tehtävästä riippuen käyttäneet paljon aikaa myös tekstin lukemiseen ja kuvaajien katseluun. Väärin vastanneiden joukossa liikekarttojen vähäiset katselumäärät voivat johtua siitä, että he kokevat liikekartan niin suureksi haasteeksi, että eivät jaksakaan käyttää aikaa niiden perusteelliseen katseluun. Jos tehtävä ylittää henkilön osaamisen tason liian korkealta, saattaa henkilö kokea tehtävän turhauttavana. Tällöin henkilö ei välttämättä usko pystyvänsä ratkaisemaan sitä, vaikka käyttäisikin siihen paljon aikaa. Tällainen näky taulukosta 2: viidennen kurssin opiskelijat, joilla oletetaan olevan paremmat pohjatiedot kuin ensimmäisen kurssin opiskelijoilla, ovat käyttäneet keskimäärin enemmän aikaa tehtäviin kuin ensimmäisen kurssin opiskelijat. Viidennen kurssin opiskelijat myös antoivat enemmän oikeita vastauksia. Saattaa siis olla, että ensimmäisen kurssin opiskelijat ovat kokeneet osan tehtävistä niin haastaviksi, että eivät ole edes jaksaneet kunnolla yrittää ratkaista niitä.

7 Johtopäätökset

Tästä Pro Gradu –tutkielmasta tehdyt johtopäätökset esitellään tässä luvussa kahdessa eri osassa. Ensin vastataan kappaleessa 4 esitettyihin tutkimuskysymyksiin saatujen tutkimustulosten perusteella ja verrataan tuloksia luvussa 3 esiteltyihin tutkimuksiin. Tämän jälkeen tehdään yhteenveto tutkimuksesta.

Vastaukset tutkimuskysymyksiin ja vertailu aiempiin tutkimuksiin

Miten tehtävän representaatio vaikuttaa siihen, kuinka onnistuneesti oppilaat kykenevät ratkaisemaan tehtävän?

Edellä tutkittiin lämpökarttojen ja pylväsdiagrammien avulla, kuinka oppilaiden ongelmanratkaisutavat eroavat eri representaatioissa. Edellä esitetty kuva 8 sivulla 18 tekee yhteenvedon siitä, kuinka onnistuneesti koehenkilöt kykenivät vastaamaan kuhunkin tehtävään. Representaatioiden suhteen voidaan sanoa, että liikekartta koettiin vaikeammaksi representaatioksi kuin graafinen muoto. Tämä näkyy siinä, että kaikkiin liikekarttamuotoisiin tehtäviin annettiin yhteensä vähemmän oikeita vastauksia kuin graafisiin tehtäviin. Liikekarttamuotoihin oikeita vastauksia tuli yhteensä 23 kappaletta ja graafisiin tehtäviin 28 kappaletta. Nämä luvut saatiin taulukosta 1 sivulla 17.

Tämän tutkimuksen perusteella sillä on jonkin verran vaikutusta, esitetäänkö tehtävä graafisena muotona vai liikekarttana. Tulos ei ole yllättävä, sillä kuten kurssien FY1 ja FY5 opettajakin totesi, liikekartta on oppilaille uusi representaatio. Lisäksi liikekarttaan täytyy tutustua huolellisesti ennen kuin sen sisällöstä voi vetää johtopäätöksiä. Kaikissa tämän tutkimuksen liikekarttamuotoisissa tehtävissä oli sellaisia vaihtoehtoja, jotka muistuttivat hyvin paljon toisiaan. Oikeaan vastaukseen päätyminen vaatii koehenkilöltä erityistä tarkkuutta ja keskittymistä. Aika-nopeus-kuvaajat puolestaan ovat oppilaille tuttuja osittain jo yläkoulusta, tosin tämä ei suinkaan tarkoita sitä, että kuvaajien tulkinta olisi oppilaille täysin hallussa.

Dynamiikan peruslakiin perustuvissa raketitehtävissä sanalliseen representaatioon annettiin kaikkein vähiten oikeita vastauksia. Toisaalta taas liikkeen jatkavuuden lakiin perustuvissa raketitehtävissä sanalliseen representaatioon annettiin kaikkein eniten oikeita vastauksia. Laattikotehtävän sanallista muotoa ei puolestaan voitu ottaa analyysiin mukaan lainkaan, sillä siihen vastasi oikein vain yksi koehenkilö. Sanallisella representaatiolla ei siis voida tämän tutkimuksen perusteella sanoa olevan järjestelmällisesti vaikutusta siihen, kuinka hyvin koehenkilö kykenee tehtävän ratkaisemaan oikein. Mielenkiintoista on kuitenkin se, miksi toisessa raketitehtävässä sanallinen representaatio oli kaikkein vaikein ja toisessa taas kaikkein helpoin. Raketitehtävät perustuvat eri fysiikan lakeihin; toinen perustuu dynamiikan peruslakiin ja toinen liikkeen jatkavuuden lakiin. Jatkotutkimuksissa tätä voitaisiin tutkia esimerkiksi antamalla opiskelijoille enemmän näihin lakeihin liittyviä tehtäviä, jotta tässä tutkimuksessa tehty havainto sanallisen representaation ja näiden lakien välillä voitaisiin joko varmistaa tai kumota.

Kun verrataan havaintoja kuvassa 5 esitettyihin Niemisen, Savinaisen ja Viirin saamiin tutkimustuloksiin, huomataan, että yhtäläisyyksiä on olemassa. Kuvassa 5 esitetty tehtävä T22 on

rakettitehtävä, jossa kysytään raketin nopeutta ennen moottorin sammuttamista. Tämän tehtävän jälkitutkimuksen kohdalla tutkijat huomasivat tilastollisesti merkittävän eron graafisen ja sanallisen tehtävän välillä. Tämä voidaan myös havaita kuvasta 8. Koehenkilöistä Graafisen tehtävän sai oikein noin 39 % ja sanallisen tehtävän vain noin 30 %. Lisäksi kuvasta 6 huomataan, että Niemisen, Savinaisen ja Viirin tutkimuksessakin graafisen representaation kohdalla on annettu enemmän oikeita vastauksia kuin sanallisen tehtävän kohdalla. Näiltä osin havainnot siis tukevat toisiaan.

Kuvassa 5 sivulla 9 nähdään tehtävän T24, eli liikkeen jatkavuuteen perustuvan rakettitehtävän kohdalla, että tehtävän graafisen ja sanallisen sekä sanallisen ja liikekarttamuotoisen tehtävän välillä on ollut tilastollisesti merkitsevä ero esitutkimuksessa. Kuvasta 8 ja taulukosta 1 nähdään jälleen samansuuntaisia tuloksia. Tutkimuksen koehenkilöistä graafisen muodon tässä tehtävässä sai oikein noin 35 % ja sanallisen tehtävän noin 55 %. Edelliseen rakettitehtävään verrattuna ero on paljon suurempi, mutta tällä kertaa graafisessa tehtävässä oli vähemmän oikeita vastauksia. Kun vertaillaan sanallista ja liikekarttamuotoista tehtävää, ovat erot vielä suuremmat. Liikekarttamuodon sai oikein tässä tehtävässä noin 30 % koehenkilöistä. Kuvasta 6 nähdään, että Niemisen, Savinaisen ja Viirin esitutkimuksessa tämän tehtävän graafinen representatio koettiin helpommaksi kuin sanallinen. Samoin sanalliseen tehtävään oli kuvan 6 mukaan annettu vähemmän oikeita vastauksia kuin liikekarttamuotoiseen tehtävään. Näin ollen tämän tehtävän kohdalla Niemisen, Savinaisen ja Viirin tuloksia ei voida aukottomasti vahvistaa.

Kuvissa 6 ja 8 näkyy, että laatikkotehtävä on koettu molemmissa tutkimuksissa ylivoimaisesti hankalimmaksi tehtäväksi. Kuvassa 5 esitetyissä tuloksissa tehtävän T26 kohdalla nähdään, että esitutkimuksessa on ollut tilastollisesti merkittävä ero graafisen ja sanallisen sekä liikekarttamuotoisen ja sanallisen tehtävän välillä. Näin ollen tuloksia ei voida tämän tehtävän kohdalla vertailla, sillä sanallisen tehtävän analyysi piti tässä Pro Gradu –tutkimuksessa jättää pois. Kuvista 6 ja 8 voidaan kuitenkin havaita, että molemmissa tutkimuksissa graafiseen tehtävään on annettu enemmän oikeita vastauksia kuin liikekarttamuotoiseen tehtävään.

Miten tehtäviin oikein ja väärin vastanneiden ongelmanratkaisumenetelmät eroavat toisistaan?

Tässä tutkimuskysymyksessä ongelmanratkaisumenetelmällä tarkoitetaan oppilaan henkilökohtaista prosessia, jonka hän käy läpi tehtävää ratkaistessaan. Kappaleessa 6.1 vertailtiin oikein ja väärin vastanneiden katseentunnistusdatasta tehtyjä lämpökarttoja. Oikein ja väärin vastanneiden välillä huomattiin selvä ero vastausvaihtoehtojen katselussa. Graafisissa ja sanallisissa tehtävissä oikein vastanneet ovat katselleet lähes pelkästään oikeaa vastausvaihtoehtoa. Kuten edellä jo todettiin, on liikekartoista vaikeaa saada nopealla vilkaisulla tarpeeksi informaatiota oikean vastauksen valintaan. Lisäksi liikekartoissa osa vaihtoehtoista näyttää samalta, joten koehenkilön on syvennyttävä liikekarttojen tarkasteluun, jotta hän voi löytää oikean vastauksen. Tästä syystä oikein vastanneet eivät ole liikekartoissa kyenneet valitsemaan oikeaa vastausta katselematta myös muita vaihtoehtoja. Väärin vastanneet puolestaan ovat katselleet kattavasti kaikkia tai lähes kaikkia vastausvaihtoehtoja representaatiosta riippumatta.

Kuten aiemmassa tutkimuksessa havaittiin [11], ekspertit kykenevät luomaan tehtävän ratkaisusta nopean mielikuvan ja sisäisen representaation, jolloin he jo tehtävänannon luettuaan tietävät, millainen vastaus tehtävään tulisi antaa. Tämä luultavasti osittain selittää sitä, ettei oikein vastanneiden tarvitse käydä kaikkia vastausvaihtoehtoja systemaattisesti läpi, vaan he voivat nopeasti silmäilemällä etsiä vaihtoehtoista oikean.

Lämpökartoista on huomattavissa, että väärin vastanneet ovat kiinnittäneet jonkin verran oikein vastanneita enemmän huomiota tehtävänantojen suureiden arvoihin. Tämä näkyy lämpökartoista punaisena tai vihreänä hehkuvina alueina. Suureiden arvot eivät varsinaisesti liity tehtävän ratkaisuun, joten ne voidaan lukea tehtävän kannalta melko irrelevanteiksi alueiksi. Aikaisemmissa tutkimuksissa onkin todettu, että noviisit kiinnittävät huomiota irrelevantteihin ja huomiota herättäviin asioihin sekä yksityiskohtiin [4, 9]. Taulukossa 4 onkin graafisen tehtävän kohdalla huomattavissa myös se, että väärin vastanneet, joita voidaan pitää noviiseina, ovat katselleet oikein vastanneita enemmän raketin kuvaa. Tehtävän ratkaisun kannalta raketin kuvalla ei ole mitään merkitystä, eikä siitä voi saada vinkkejä oikean ratkaisun valitsemiseen. Tähän luultavasti liittyy jo aiemmin mainittu eksperttien kyky havaita tehtävän kannalta relevantit asiat tarkan näköalueen ulkopuolelta [10]. Ekspertit ovat luultavasti kuvaa katsomatta voineet jo todeta, ettei sillä ole mitään merkitystä tehtävän ratkaisun kannalta.

Näiden havaintojen perusteella voidaan sanoa, että oikein ja väärin vastanneet kiinnittävät tehtävissä huomiota jonkin verran eri asioihin. Tämä johtaa siihen, että heidän ongelmanratkaisumenetelmänsä eroavat toisistaan jonkin verran. Suurin taustatekijä oikein ja väärin vastanneiden eroihin on luultavasti erilainen lähtötaso, jolloin ekspertit kykenevät helpommin ohittamaan irrelevantin informaation. Toisaalta ekspertit ovat harjaantuneet tietynlaisten ajatteluprosessien läpikäymiseen, mikä näkyy kehittyneinä ja tehokkaina ongelmanratkaisutaitoina.

Miten katseentunnistuksella voi selittää oppilaiden vaikeuksia eri representaatioissa?

Tässä tutkimuksessa käytetyistä representaatioista voidaan liikekartan todeta olleen koehenkilöille kaikkein haastavin. Liikekartoissa on oleellista osata vertailla kappaletta kuvaavien pisteiden etäisyyttä. Oikein vastanneet ovat lämpökarttojen mukaan selvästi katselleet juuri pisteiden välejä, kun väärin vastanneet ovat sen sijaan katselleet karttoja vähän joka puolelta. Tämä paljastaa siis sen, että väärin vastanneet eivät ole täysin ymmärtäneet, kuinka liikekarttoja tulkitaan. Jos tämä representaatio viedään opetukseen, kannattaa opettajan tämän tutkimuksen perusteella käydä erityisen tarkasti läpi, mitä liikekartalla kuvataan ja millä tavalla sitä tulkitaan.

Tämän tutkimuksen puitteissa ei voida vetää enempää johtopäätöksiä siitä, miksi jokin representaatio olisi yleisesti ja johdonmukaisesti vaikeampi kuin jokin toinen ja kuinka se näkyisi katseentunnistusdatassa. Esimerkiksi kuvan 8 perusteella tässä testissä näyttäisi sanallisten tehtävien kohdalla siltä, että representaatio ei ole suurin haaste, vaan itse tehtävän sisältö ja sen taustalla oleva fysiikka. Tätä tukee erityisesti se, että rakettitehtävät perustuvat eri fysiikan lakiin ja toisessa sanalliseen representaatioon on annettu eniten oikeita vastauksia ja toisessa vähiten.

Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että liikekartta oli koehenkilöille haastavin representaatio ymmärtää. Suurimmat ongelmat näyttivät katseentunnistusdatan perusteella liittyvän siihen, että oppilaat eivät välttämättä ymmärtäneet, kuinka liikekarttoja tulkitaan. Lisäksi liikekarttojen tulkitseminen on työlästä verrattuna sanallisiin ja graafisiin vastausvaihtoehtoihin. Tämän tutkimuksen koehenkilöillä näytti kuitenkin siltä, että representaatio ei ollut suurin ongelmia aiheuttava tekijä, vaan itse tehtävän taustalla oleva fysiikka.

Tässä tutkimuksessa oli kolme tehtävää, jotka kaikki esitettiin kolmessa eri representaatiossa. Kaikki koehenkilöt tekivät jokaisen tehtävän, eli jokainen koehenkilö sai saman tehtävänannon kolme kertaa. Ennen datan keruuta ei voitu olla varmoja siitä, kuinka paljon tämä vaikuttaa koehenkilöiden vastauksiin. Voitiin kuitenkin todeta, että tällä ei ollut ainakaan merkittävää vaikutusta, sillä esimerkiksi oikeiden vastausten lukumäärä ei lisääntynyt testin loppua kohden.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia pystyttiin peilaamaan aikaisempiin tutkimuksiin ja havainnot vastasivat toisiaan melko hyvin. Tämän Pro Gradun kaltaista tutkimusta ei ole aiemmin Suomessa tehty, ja ulkomailla tehdyt tutkimuksetkin ovat olleet pääasiassa mittakaavaltaan paljon pienempiä. Tämä tutkimus toimiikin siis hyvänä pohjana jatkotutkimusten suunnittelulle. Representaatiot ovat tärkeä osa fysiikan opetusta riippumatta koulutusasteesta, joten niiden käyttöön liittyvillä tutkimuksilla saadaan varmasti opettajille hyviä työkaluja oppimistulosten parantamiseen.

Tutkimuksen luotettavuutta voisi jatkotutkimuksia ajatellen parantaa lisäämällä tehtävien lukumäärää, jotta tehtäväkohtaiset vaikutukset olisivat pienempiä. Suuremmalla tehtävämäärällä representaatiosta riippumatta erittäin vaikeaksi koettu tehtävä voitaisiin jättää pois analyysistä. Toisaalta kannattaisi myös valita jonkinlainen testiryhmä tekemään tehtävät ennen varsinaista datan keruuta, jotta liian vaikeat tai helpot tehtävät voitaisiin jättää tutkimuksesta pois kokonaan. Tällöin saataisiin luotettavampaa tietoa representaation vaikutuksesta osaamiseen. Jos tutkimuksen aikataulun puolesta on mahdollista, kannattaisi monivalintatestin jälkeen haastatella opiskelijoita. Tällöin voitaisiin saada tietoa siitä, mitkä asiat aiheuttivat opiskelijoille eniten hankaluuksia ja miksi. Tässä tutkimuksessa haastattelua ei tehty, sillä tutkimuksen aikataulu ja laajuus olisivat ylittyneet tällöin huomattavasti. Suurin luotettavuutta vähentävä tekijä tässä tutkimuksessa onkin laadullisten havaintojen varassa oleminen. Lämpökarttojen ja diagrammien avulla ei voida antaa aukottomia selityksiä representaation vaikutukselle tai koehenkilöiden ongelmanratkaisuprosesseille.

Jatkotutkimuksissa kannattaisi myös lisätä koehenkilöiden määrää niin paljon, ettei yhdenkään koehenkilön tarvitsisi lukea samaa tehtävänantoa useammin kuin kerran. Vaikka tällä ei todettu tässä tutkimuksessa olevan merkittävää vaikutusta, lisääisi koehenkilöiden suurempi määrä tutkimuksen luotettavuutta. Lisäksi koehenkilöitä kannattaisi ottaa myös korkeakouluista, koska tällöin saataisiin tietoa todellisten eksperttien ongelmanratkaisutavoista ja siitä, kuinka he käsittelevät erilaisia representaatioita.

Tutkimuksen merkittävyyttä lisää se, että tsekkiläinen tutkija Martina Kekule toistaa tutkimuksen Tsekissä Prahan Charlesin yliopistossa. Tutkimuksen valmistuttua Kekule ja ohjaajani Jouni Viiri vertailevat Tsekissä ja tässä Pro Gradu –tutkielmassa saatuja tuloksia.

Lähteet

1. Meng-Lung Lai, Meng-Jung Tsai, Fang-Ying Yang et al., : *A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012*, Educational Research Review **10** (2013) 90-115
2. Yueh-Nu Hung: "What are you looking at?" *An eye movement exploration in science text reading*, International Journal of Science and Mathematics Education **12** (2014) 241-260
3. E. Ohno, A. Shimojo, M. Iwata: *Analysis of Problem Solving Processes in Physics Based on Eye-Movement Data*, Faculty of Education, Hokkaido University, saatu tekijältä
4. Adrian M. Madsen, Adam M. Larson, Lester C. Loschky, N. Sanjay Rebello: *Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **8** (2012) 010122
5. P. Nieminen: *Representational Consistency and the Learning of Forces in Upper Secondary School Physics*, Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto, Opettajankoulutuslaitos (2013)
6. S. Ainsworth: *DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations*, Learning and Instruction **16** (2006) 183-198
7. P. Nieminen, A. Savinainen, J. Viiri: *Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **6** (2010) 020109
8. Adam D. Smith, Jose P. Mestre, Brian H. Ross: *Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **6** (2010) 020118
9. L. Catrysse, D. Gijbels, V. Donche, S. De Maeyer, P. Van den Bossche ja L. Gommers: *Mapping processing strategies in learning from expository text: an exploratory eye tracking study followed by a cued recall*, Frontline Learning Research, Vol 4 No. 1 (2016)
10. A. Gegenfurtner, E. Lehtinen, R. Säljö: *Expertise differences in the comprehension of visualization: a meta-analysis of eye-tracking research in professional domains*, Educ. Psychol. Rev. **23** (2011) 523-552
11. M. T. H. Chi, P. J. Feltovich, R. Glaser: *Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices*, Cognitive Science **5** (1981) 121-152

12. D. Hestenes, M. Wells, G. Swackhamer: *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher, **30** (1992) 141-158
13. iMotions www-sivusto: <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/redn-scientific.html> Luettu 10.11.2016
14. A. Duchowski: *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice 2nd edition, Part IV*, Springer-Verlag (2007)
15. Internix www-sivusto: http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/bi/bi4/3_ihmisen_fysiologia_ja_anatomia/25_nakoasti?C:D=gAus.gAr3&m:selres=gAus.gAr3. Luettu 12.8.2016
16. SMI-Vision www-sivusto: <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/red250-red-500.html> Luettu 5.8.2016
17. TobiiPro: *Introduction: How human vision works*, Tobii Training
18. Opetushallitus: *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015*, Next Print Oy, Helsinki 2015
19. Opetushallitus: *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*, Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 2003

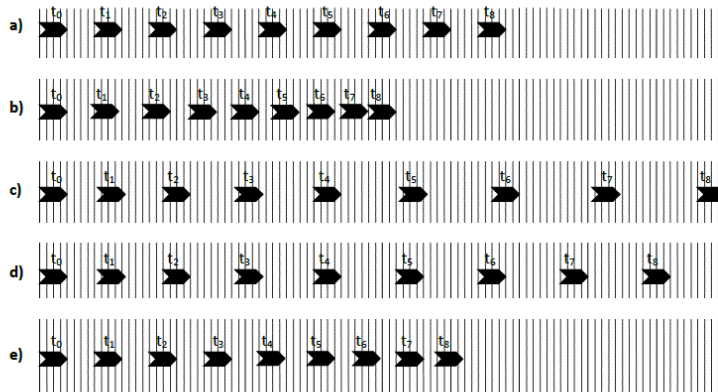
Liite A: Monivalintatestin tehtävät

Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima.

Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.

Raketista otetaan kuva tasaisin väliajoin aikavälillä $t_0 - t_8$.

Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?



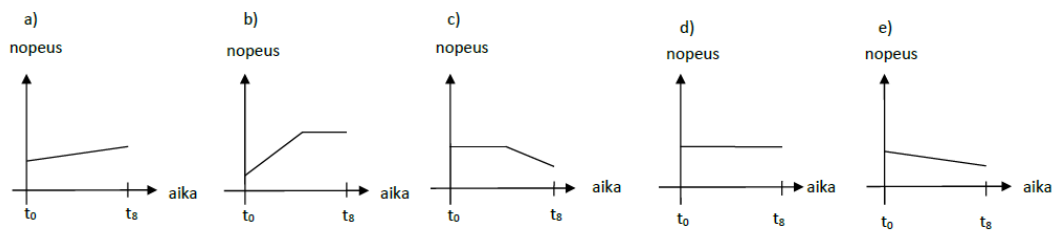
Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori

käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima. Ajanhetkellä t_8 moottori

sammutetaan.



Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta aikavälillä $t_0 - t_8$?



Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima.

Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan.

Aikavälillä $t_0 - t_8$ raketin nopeus



- a) on vakio vähän aikaa ja sen jälkeen pienenee.
- b) kasvaa vähän aikaa ja on sen jälkeen vakio.
- c) pienenee koko ajan.
- d) kasvaa koko ajan.
- e) on vakio.

Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima. Moottori sammutetaan ajanhetkellä t_8 . Raketista otetaan kuvia tasaisin väliajoin aikavälillä $t_8 - t_{16}$.

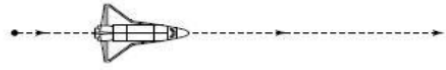
Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta kyseisellä aikavälillä moottorin sammuttamisen jälkeen?



- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

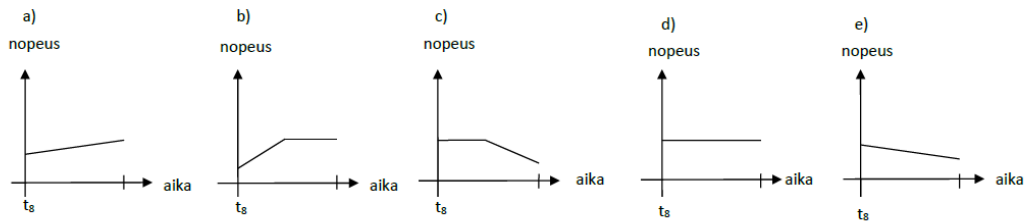
Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori

käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima.



Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan. Mikä seuraavista vaihtoehtoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta

moottorin sammuttamisen jälkeen?



Raketti liikuu ulkoavaruudessa. Siihen ei vaikuta mitään voimia. Ajanhetkellä t_0 raketin moottori

käynnistyy, jolloin rakettiin alkaa vaikuttaa liikkeen suuntainen vakiovoima.



Ajanhetkellä t_8 moottori sammutetaan ja tämän jälkeen raketin nopeus

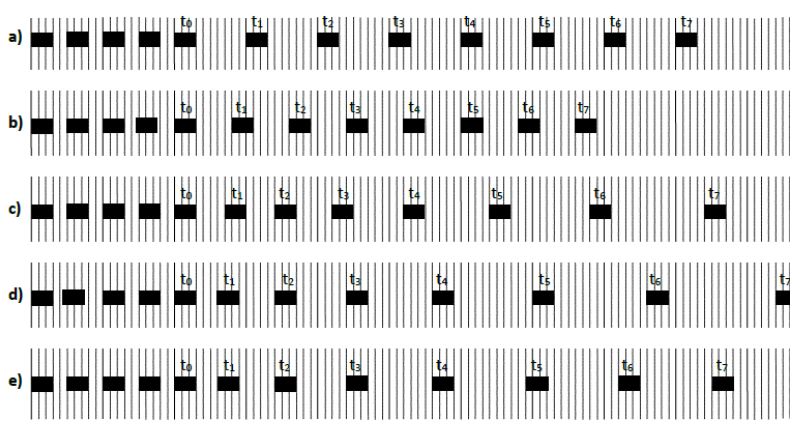
- a) on vakio vähän aikaa ja sen jälkeen pienenee.
- b) kasvaa vähän aikaa ja on sen jälkeen vakio.
- c) pienenee koko ajan.
- d) kasvaa koko ajan.
- e) on vakio.

Nainen työntää laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0 .

Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.

Laatikosta otetaan kuva tasaisin väliajoin aikavälillä $t_0 - t_7$.

Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta aikavälillä?

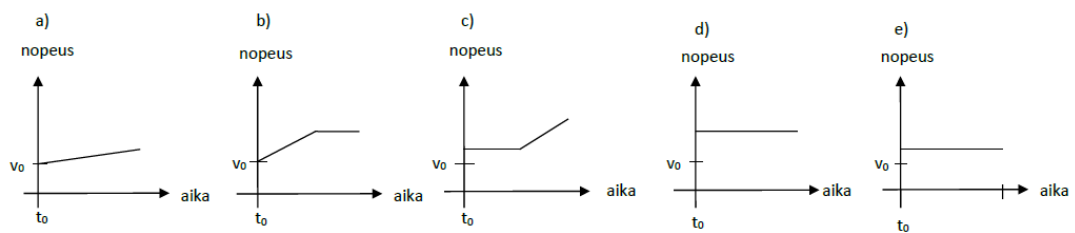


Nainen työntää suurta laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla,

jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0 .

Ajanhetkellä t_0 nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.

Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta?



Nainen työntää suurta laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu vakionopeudella v_0 .

Sitten nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa.

Tällöin laatikko liikkuu

- a) jonkin aikaa vakionopeudella, joka on suurempi kuin alkunopeus v_0 ja sitten kasvavalla nopeudella.
- b) jonkin aikaa kasvavalla nopeudella, sitten vakionopeudella
- c) jatkuvasti kasvavalla nopeudella
- d) vakionopeudella, jonka on suurempi kuin alkunopeus v_0 , mutta ei välttämättä kaksinkertainen
- e) vakionopeudella, joka on kaksinkertainen alkunopeuteen v_0 verrattuna.

Liite B: Koehenkilöiden antamat vastaukset

	Tehtävä								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Koehenkilö	a	e	d	d	e	c	d	a	e
501	a	c	b	d	d	c	a	a	e
502	a	b	b	c	c	c	e	b	a
503	d	d	b	e	b	d	e	d	c
504	a	b	b	c	c	d	b	b	a
505	d	b	e	d	b	d	a	b	e
506	a	b	d	d	e	c	a	a	e
507	d	e	e	c	b	b	c	d	e
508	b	b	d	d	b	c	a	d	e
509	a	b	b	d	e	d	d	d	e
510	c	e	b	d	b	a	a	d	e
511	a	b	d	d	e	c	a	b	e
512	b	b	b	e	e	c	e	b	e
101	a	e	e	e	d	a	e	b	a
102	b	e	d	a	a	c	c	c	d
105	d	d	e	d	c	a	e	b	e
106	a	e	a	c	b	c	b	c	a
110	d	e	e	c	c	a	c	c	c
111	a	e	d	e	a	a	b	d	c
113	d	d	b	d	a	a	a	d	e
114	d	d	e	e	c	a	b	b	c
115	e	b	b	e	e	a	c	b	b
116	b	e	e	e	a	a	b	c	c
117	d	e	e	e	b	a	a	d	e
118	d	e	e	e	b	a	d	a	c
119	b	d	b	c	c	c	b	b	a
120	a	e	d	e	b	b	b	d	c
122	b	d	d	e	b	d	b	d	e
123	d	b	e	e	c	a	e	a	e
124	a	d	d	d	b	c	a	e	e
125	c	d	b	b	b	c	e	e	e
127	a	c	d	d	d	c	a	a	e
Oikea rivi	a	e	d	d	e	c	d	a	e

Tehtävien järjestyksen selitteet:

1. Raketti ennen moottorin sammuttamista, graafinen
2. Laatikkotehtävä, sanallinen
3. Raketti ennen moottorin sammuttamista, sanallinen
4. Raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, graafinen
5. Laatikkotehtävä, liikekartta
6. Raketti ennen moottorin sammuttamista, liikekartta
7. Raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, liikekartta
8. Laatikkotehtävä, graafinen
9. Raketti moottorin sammuttamisen jälkeen, sanallinen