

**Oppilaiden  
ongelmanratkaisutavat kaksi eri  
representaatiota sisältävissä  
mekaniikan tehtävissä**

Pro gradu -tutkielma, 13.9.2019

Tekijä:

JASMIN KILPELÄINEN

Ohjaajat:

JOUNI VIIRI

JARKKO HAUTALA



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
FYSIKAN LAITOS

© 2019 Jasmin Kilpeläinen

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

## Tiivistelmä

Kilpeläinen, Jasmin

Oppilaiden ongelmanratkaisutavat kaksi eri representaatiota sisältävissä mekaniikan tehtävissä

Pro gradu -tutkielma

Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto, 2019, 47 sivua

Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia ongelmanratkaisutapoja oppilaat käyttävät ratkaistessaan mekaniikkaan liittyviä monivalintatehtäviä, joiden vaihtoehdot sisältävät kaksi eri representaatiota. Lisäksi tutkittiin, miten oppilaiden itse kertoma ratkaisustrategia ja representaatiopreferenssi näkyvät katseenseurantalaitteella kerätyssä datassa. Tutkimukseen osallistui kahdeksan lukion ensimmäisen vuoden opiskelijaa, jotka valittiin kahdenkymmenen oppilaan joukosta mekaniikkaan liittyviä käsityksiä kartoittavalla monivalintatestillä. Valitut kahdeksan oppilasta tekivät testin, jonka aikana heidän katsettaan seurattiin, ja heti testin jälkeen oppilaat haastateltiin. Tutkimuksessa todettiin, että yleisesti oppilaiden ongelmanratkaisutapa on pinnallisesti tarkasteltuna järjestelmällinen etenemisjärjestyksen ja eri representaatioihin tukeutumisen osalta, mutta heidän katsomansa alueet vaihtelevat tehtävittäin. Lisäksi havaittiin, että katseentunnistusdatan perusteella voidaan määrittää heidän suosimansa representaatio ja löytää selkeitä viitteitä heidän itse kuvailemasta ratkaisustrategiasta. Tutkimuksessa huomattiin, että katseenseuraamisdatan erilaisten esitysmuotojen ja haastattelun käyttö vahvistaa ja syventää tuloksia.

Avainsanat: fysiikan opetus, ongelmanratkaisu, representaatio, mekaniikka, katseentunnistus

## Abstract

Kilpeläinen, Jasmin

Students' problem solving strategies in mechanics exercises including two representations

Master's thesis

Department of Physics, University of Jyväskylä, 2019, 47 pages.

Students' problem solving strategies in mechanics exercises that include two different representations were examined by using eye-tracking and interview. The second objective was to find out if eye-tracking data contains evidence of the problem solving strategies and representational preferences that were found in the interview. According to the results students' problem solving strategy is superficially systematic when progressing through the exercises and relying on both text and graph representations. Despite of these similarities there was some variation in the areas that students looked at the most during the exercises and at the end of them. Representational preference could be determined by using the eye-tracking data. The evidence of the problem solving strategy that student told in the interview was also found in the eye-tracking test. It was noticed that conclusions made out of eye-tracking data and interviews supported each other and made the results more reliable.

Keywords: physics education, problem solving, representation, mechanics, eye-tracking

## Esipuhe

Haluan kiittää ohjaajaani Jouni Viiriä innostavasta ja kärsivällisestä ohjauksesta sekä tilaisuudesta tarttua tutkimukseen, jonka myötä pääsin tutustumaan melko tuoreeseen aineistonkeruumenetelmään ja tekemään myös kansainvälistä yhteistyötä. Kiitos myös toiselle ohjaajalleni Jarkko Hautalalle, jonka apu katseentunnistuslaitteen käytössä ja datan analysoinnissa oli korvaamatonta. Lisäksi kiitokset kuuluvat tutkimukseen osallistuneen ryhmän opettajalle, jonka tarjoama apu tilavarausten tekemisessä mahdollisti katseenseuraamistestien ja haastatteluiden tekemisen rauhallisessa ympäristössä. Viimeisimpänä haluan kiittää myös tutkimukseen osallistuneita oppilaita, joista suurin osa käytti tähän omaa vapaa-aikaansa.

Jyväskylässä 13.9.2019

Jasmin Kilpeläinen

# Sisältö

<b>Tiivistelmä</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Esipuhe</b>	<b>iv</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2 Mekaniikkaan liittyviä virhekäsityksiä</b>	<b>3</b>
<b>3 Ongelmanratkaisutavoista</b>	<b>6</b>
<b>4 Katseentunnistus</b>	<b>9</b>
4.1 Laitteiston toimintaperiaate . . . . .	9
4.2 Erilaisia analysointitapoja . . . . .	10
4.3 Haastattelun yhdistäminen katseentunnistukseen . . . . .	11
<b>5 Tutkimuskysymykset</b>	<b>13</b>
<b>6 Tutkimusmenetelmät</b>	<b>15</b>
6.1 Aineiston kerääminen . . . . .	15
6.1.1 Alkutesti . . . . .	15
6.1.2 Katseenseuraamistesti . . . . .	16
6.1.3 Kyselylomake . . . . .	17
6.1.4 Haastattelu . . . . .	17
6.2 Aineiston analysointi . . . . .	18
<b>7 Tutkimustulokset</b>	<b>21</b>
7.1 Oppilaiden ongelmanratkaisutavat . . . . .	22
7.1.1 Tehtävänantoon ja vastausvaihtoehtoihin tutustuminen . . . . .	23
7.1.2 Vastauksen valitseminen . . . . .	27
7.2 Haastattelun ja katseenseuraamistestin vastaavuus . . . . .	29

7.2.1	Representaatiopreferenssi . . . . .	30
7.2.2	Ratkaisustrategia . . . . .	32
<b>8</b>	<b>Johtopäätökset ja pohdinta</b>	<b>35</b>
8.1	Millaisia ongelmanratkaisutapoja oppilailla on? . . . . .	35
8.2	Miten oppilaiden itse kertoma ratkaisutapa vastaa katseenseuraamis- testissä havaittua? . . . . .	39
8.3	Pohdinta . . . . .	40
	<b>Lähteet</b>	<b>45</b>
<b>A</b>	<b>Alkutestin tehtävät</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Katseenseuraamistestin tehtävät</b>	<b>IV</b>
<b>C</b>	<b>Kyselylomake</b>	<b>VII</b>
<b>D</b>	<b>Oppilaiden vastaukset alkutestiin</b>	<b>VIII</b>
<b>E</b>	<b>Oppilaiden vastaukset kyselylomakkeeseen</b>	<b>IX</b>
<b>F</b>	<b>Oppilaiden valitsemat, vaihtoehtoiset ja vääräksi nimeämät vaih- toehdot</b>	<b>X</b>
<b>G</b>	<b>Lämpökartat</b>	<b>XI</b>
<b>H</b>	<b>Aika–AOI -kuvaajat</b>	<b>XVI</b>

# 1 Johdanto

Maailmassa on monia ongelmia, jotka odottavat ratkaisijaansa. Kohtaamme arjessamme jatkuvasti erilaisia pieniä ja suuria pulmia, joiden selvittämiseksi on yleensä tehtävä jotain. Luodaksemme ratkaisuja meidän on osattava purkaa ongelma osiin, käyttää luovuutta ja kriittisyyttä, etsiä, jäsenellä ja soveltaa tietoa sekä punnita vaihtoehtoja niiden vaikutuksia miettien. Eräs aikamme puhutuimmista, koko ihmiskuntaan vaikuttavista ongelmista on ilmastonmuutos, jonka hillitsemiseksi eri alojen asiantuntijat ovat tehneet ja tulevat tekemään paljon työtä. Ratkaisujen löytäminen niin ilmastonmuutoksen kaltaisiin kansainvälisiin kuin suppeampiinkin ongelmiin ei välttämättä ole helppoa, vaan sitä varten tarvitaan vahvaa ongelmanratkaisutaitoa ja uusia innovaatioita.

Tulevaisuuden ongelmanratkaisijat kasvatetaan koulussa. Nykyiset opetussuunnitelmat korostavat itsenäisen ajattelun, tiedonhaun ja ongelmanratkaisun taitoja, joita harjoitellaan sekä eri oppiaineiden että laaja-alaisten kokonaisuuksien yhteydessä [1, 2]. Jo peruskoulun ensimmäisiltä luokilta lähtien oppilaita ohjataan itsenäiseen työskentelyyn, vastuun ottamiseen sekä kriittiseen ja loogiseen ajatteluun, ja näiden taitojen kehittymistä pyritään tukemaan koulutien loppuun asti. Ongelmanratkaisu on tavoitteen lisäksi myös oppimisen väline, sillä sen ajatellaan olevan valmiin tiedon vastaanottamista tehokkaampi keino oppia.

Ongelmanratkaisutaito ei synny itsestään, vaan sitä täytyy harjoitella. Loogisen ajattelun kehittymisen suhteen matemaattiset aineet ovat merkittävässä asemassa, sillä niissä erilaisten ongelmien ratkaiseminen on keskiössä. Opettajan tehtävä on ohjata oppilaita sekä ainesisältöjen että niiden ulkopuolisten taitojen oppimisessa. Pystyäkseen tukemaan oppilaita parhaalla mahdollisella tavalla ja kutakin omalla tasollaan, on opettajan tunnettava heidän lähtötilanteensa niin tietojen kuin taitojenkin osalta. Kunkin oppilaan käyttämän ongelmanratkaisutavan selvittäminen veisi aikaa, mutta yleisesti eri osaamistasoilla käytettyjen strategioidenkin tunteminen auttaa opettajaa löytämään ne kohdat, joissa oppilailla todennäköisesti on vaikeuksia ja kehitettävää.

Kyky ratkaista ongelmia voi riippua myös ongelman asettelusta. Esimerkiksi



erilaisten esitysmuotojen eli representaatioiden käytön on todettu vaikuttavan siihen, miten hyvin oppilaat osaavat vastata fysiikan tehtäviin [3, 4]. Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten oppilaat ratkaisevat mekaniikkaan liittyviä monivalintatehtäviä, joiden vastausvaihtoehdoissa on käytetty rinnakkain kahta eri representaatiota. Ongelmanratkaisutapojen lisäksi tutkittiin, miten oppilaiden haastattelussa esille nousseet ratkaisustrategiaan ja jommankumman käytetyn representaation suosimiseen liittyvät seikat näkyvät katseentunnistustestissä. Yhdistämällä katseentunnistus haastatteluun pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolinen ja vakaa käsitys siitä, miten oppilaat etenivät ratkaistessaan tehtäviä. Vastaavasti eri representaatioita yhdistelevää sekä katseentunnistusta ja haastattelua hyödyntävää tutkimusta ei ole ennen tehty.

Luvussa 2 esitellään mekaniikkaan liittyviä virhekäsityksiä, joiden perusteella tutkimuksessa käytetyt tehtävät rakennettiin ja joita tutkimukseen osallistuneilla henkilöillä voitiin olettaa olevan. Luvussa 3 perehdytään aiempien fysiikan ongelmanratkaisutapoja käsittelevien tutkimusten tuloksiin ja siihen, millaisia asioita katseentunnistusteknologialla on saatu selville tehtävien ratkaisemisesta. Luvussa 4 kerrotaan katseentunnistustekniikan toiminnasta ja tavoista analysoida sillä kerättyä aineistoa. Tutkimuskysymykset esitellään luvussa 5 ja menetelmät luvussa 6, minkä jälkeen käsitellään tutkimustuloksia luvussa 7. Luvussa 8 kootaan yhteen tutkimuksen tulokset vastaamalla tutkimuskysymyksiin ja vertaamalla niitä luvussa 2 esiteltyihin aiempien tutkimusten tuloksiin sekä tarkastellaan tulosten luotettavuutta. Tutkimuksessa käytetyt tehtävät ja lomakkeet, koehenkilöiden vastaukset ja aineiston analysoinnissa käytetyt kuvaajat on esitetty liitteissä.

## 2 Mekaniikkaan liittyviä virhekäsityksiä

Ennen fysiikan opiskelun aloittamista jokaisella on maalaisjärkeen perustuvia käsityksiä mekaniikan laeista, ja monella on niitä vielä opiskelun jälkeenkin [5, 6]. Virheelliset käsitykset muodostuvat, kun ilmiöitä tarkastellaan aistinvaraisesti ja tehtyjen havaintojen pohjalta muodostetaan päätelmiä ilmiöistä ja niiden syistä. Käsitykset eivät aina ole johdonmukaisia ja yleistettävissä olevia, vaan ne joustavat tilanteiden mukaan ja ovat melko karkeita. Myöskään näiden käsitysten perusteella muodostetut selitykset eivät läheskään aina ole järjestelmällisiä. [7, 8] Käsitykset kuitenkin vaikuttavat selittävän ilmiöt riittävän hyvin ja yksinkertaisemmin kuin fysiikan lait, joten niistä voi olla todella vaikea päästä eroon [8–11].

Tyypillisesti käsitys voimasta on epämääräinen. Useimmiten voiman ajatellaan jakautuvan kappaleeseen kohdistettuun voimaan ja kappaleen varastoimaan voimaan, josta käytetään termiä *impetus*. Käsityksen taustalla on ajatus siitä, että kappale tarvitsee voimaa liikkuaakseen, jolloin kappaleiden välisestä vuorovaikutuksesta peräisin oleva *impetus* ymmärretään liikettä ylläpitävänä voimana. Kappaleeseen kohdistuva aktiivinen voima, jonka esimerkiksi jokin elollinen olento tuottaa, pystyy luomaan ja siirtämään *impetusta* kappaleeseen. [12] Voiman voidaan myös ajatella olevan kappaleen fyysinen ominaisuus, joka riippuu esimerkiksi sen koosta, massasta tai nopeudesta [13]. Voiman aiheuttajaksi puolestaan saatetaan käsittää vain elolliset olennot, jolloin elottomia kappaleita pidetään vain liikkeen ohjaajina tai pysäyttäjinä, muttei varsinaisesti voiman aiheuttajina [6, 9].

Liikkeeseen liittyvät virhekäsitykset voivat näennäisesti olla mekaniikan lakien mukaisia, mutta usein virheitä muodostuu *impetuksesta* ja muista voimiin liittyvistä virhekäsityksistä. Esimerkiksi kokonaisvoiman vaikutus liikkeen suuntaan ja nopeuteen voidaan ymmärtää oikein, mutta *impetuskäsityksen* takia lopputulos on virheellinen. Toisaalta oppilas saattaa myös ajatella suurimman voiman dominoivan liikkeen suunnan suhteen. [9]

Ilmiöiden ymmärtämisen lisäksi puutteita saattaa olla myös käsitteiden ymmärtämisessä. Hetkellinen nopeus ja keskinopeus sekoittuvat helposti keskenään, kun nopeus määritellään matkan ja ajan osamääränä [9, 11]. Myös nopeuden ja paikan

käsitteiden sekoittuminen on tavallista. Tällöin nopeuden ajatellaan liittyvän tiettyyn ajanhetkeen ja paikkaan, eikä niinkään ajan ja paikan muutokseen. [11]

Nopeuden, paikan, voiman ja muiden keskeisten käsitteiden puutteellinen ymmärrys hankaloittaa mekaniikan lakien soveltamista. Fysiikkaa opiskelleet oppilaat usein tuntevat Newtonin lait, mutta eivät ymmärrä niiden sisältöä eivätkä siten osaa niitä soveltaa [9, 12]. Newtonin lakien sijaan he tukeutuvat arkikokemusten pohjalta muodostuneisiin virheellisiin käsityksiin, jotka ovat ristiriidassa tunnetun mekaniikan kanssa [6, 12].

Newtonin ensimmäisen lain mukaan kappale pysyy levossa tai jatkaa liikettään tasaisella nopeudella, jos siihen vaikuttavan nettovoiman suuruus on nolla [14]. Eräs yleinen tämän lain korvaava virhekäsitys on, että kappaleet pyrkivät kohti lepoa, joka on niiden luonnollinen tila. Tämän käsityksen mukaan kappale siis pysyy levossa, jos se on levossa ja siihen vaikuttavien voimien summa on nolla, mutta kappaleen ollessa liikkeessä ja kokonaisvoiman ollessa nolla kappaleen nopeus hidastuu, kunnes se pysähtyy kokonaan. [6, 7, 9]

Newtonin toisen lain mukaan kappale on kiihtyvässä liikkeessä, jos siihen vaikuttaa nollasta eroava kokonaisvoima. Matemaattisesti laki voidaan esittää muodossa

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

missä  $\sum \vec{F}$  on kappaleeseen vaikuttavien voimien summa,  $m$  kappaleen massa ja  $\vec{a}$  kiihtyvyys. [14, s. 144] Yhtälöstä voidaan päätellä, että kiihtyvyys on suoraan verrannollinen voimaan ja kääntäen verrannollinen massaan. Siispä suurempi voima aiheuttaa suuremman kiihtyvyyden, mutta massan kasvaessa kiihtyvyys pienenee.

Eräs Newtonin toisen lain korvaava virhekäsitys liittyy impetukseen ja siihen, että kappaleen ajatellaan tarvitsevan voimaa voidakseen pysyä liikkeessä [6, 7, 9, 10]. Ajatus impetuksesta onkin syntynyt juuri tämän käsityksen pohjalta, sillä ilman ulkoisten voimien vaikutusta liikkuvan kappaleen liikkeen voi käsityksen mukaan selittää vain kappaleessa itsessään oleva voima. Impetuskäsitys on todella yleinen: Jauhaisen ym. [5] tutkimuksessa peräti 80 % tutkimukseen osallistuneista oppilaista vastasi vähintään yhteen esitettyyn kysymykseen impetuskäsityksen mukaisesti. Samassa tutkimuksessa todettiin, että vain 10 % oppilaista osasi soveltaa Newtonin toista lakia järjestelmällisesti.

Liikkeen ylläpitämisen lisäksi osa ajattelee impetuksen määräävän myös kappaleen suunnan tai liikeradan. Tämän käsityksen mukaan kappale jatkaa liikettään

alkuperäiseen suuntaansa, kun sen toiseen suuntaan liikkumaan saanut hetkellinen voima lakkaa vaikuttamasta. [9, 10] Tämäkään käsitys ei ole harvinainen: Halloun ym. [9] huomasivat tutkimuksessaan, että jopa 28 % tutkimukseen osallistuneista henkilöistä väitti raketin jatkavan liikkumista moottorien käynnistämistä edeltäneeseen suuntaan myös niiden sammuttamisen jälkeen, vaikka moottorien ollessa päällä se liikkui toiseen suuntaan. 13 % tutkimukseen osallistuneista uskoi moottorien antaman impetuksen summautuvan raketilla alun perin olleeseen impetukseen, jolloin moottorien sammuttamisen jälkeen liikkeen suunta olisi jotakin alkuperäisen ja moottorien päällä olemisen aikaisen liikkeen väliltä.

Tavallista on myös ajatella voiman liittyvän kiihtyvyyden sijaan nopeuteen, jolloin Newtonin toisen lain ajatellaan olevan matemaattisesti muotoa

$$\sum \bar{F} = m\bar{v}, \quad (2)$$

missä  $\bar{v}$  on nopeus [6, 9, 10]. Tällöin vakiovoiman ajatellaan aiheuttavan vakionopeuden ja muuttuvan nopeuden puolestaan olevan seurausta muuttuvasta voimasta [6, 7, 9]. Nopeuden ja nopeuden muutoksen käsitteet saattavat siis sekoittua toisiinsa [6].

### 3 Ongelmanratkaisutavoista

Reif ym. [15] kuvailivat artikkelissaan Knowledge Structure and Problem Solving in Physics fysiikan eksperttien käyttämän, loogisesti etenevän ongelmanratkaisumallin, johon sisältyy useita eri askeleita aina tehtävän lähtötilanteen hahmottamisesta ratkaisun järkevyyden tarkasteluun. Tiivistettynä malli etenee seuraavasti: Ensin ekspertti jäsentelee ongelman ja kuvailee sen omin sanoin. Ongelman hahmottamisen jälkeen he käyttävät kvalitatiivisia argumentteja ratkaisun suunnitteluun, minkä jälkeen he muodostavat siitä yksityiskohtaisen matemaattisen esityksen ja tekevät valintoja tutkimalla ensin niiden seurauksia. Ratkaisun keksimisen jälkeen he vielä tarkastelevat sen järkevyyttä ja esityksen riittävyttä. Kyseinen ongelmanratkaisutapa on kehittynyt ja rutinoitunut vuosien harjoittelun tuloksena, eivätkä ekspertit käytä sitä tiedostetusti.

Noviisien käyttämä ratkaisutapa ei yleensä etene edellä esitetyn mallin mukaan sen rutiinomaisuudesta huolimatta, vaan heidän ongelmanratkaisutapansa on paljon kehittymättömämpi. Noviisien kohtaamat vaikeudet johtuvat usein siitä, että he eivät osaa kuvailla ongelmaa itselleen asiaankuuluvasti, jolloin osa ongelmasta jää ymmärtämättä. Heidän perustietonsa muodostuu usein suuresta määrästä heikosti yhteen sidottuja tietoja ja matemaattisia yhtälöitä, eivätkä he siis osaa käsitellä informaatiota kokonaisuutena. Tavallisesti noviisit suunnittelevat ratkaisuaan hieman etukäteen, mutta sen sijaan, että he jalostaisivat ratkaisuaan askel kerrallaan, he yrittävät yhdistää tuntemiaan sekalaisia yhtälöitä heikoin tuloksin. [15]

Ongelmanratkaisutaitojen on todettu kehittyvän hitaasti. Tehokas, eksperttien käyttämä ongelmanratkaisutapa on melko monivaiheinen, ja sen opettelu esimerkkien kautta on haastavaa. Suurimmalla osalla oppilaista on vielä yliopiston alkaessa melko alkeelliset ongelmanratkaisutaidot, mikä vaikuttaa heidän kokemukseensa tehtävien vaikeustasosta. [15]

Myös Chi ym. [16] huomasivat eksperttien ja noviisien ongelmanratkaisutavoissa olevan huomattavia eroja. He selvittivät tutkimuksessaan, millaisten kriteerien mukaan ekspertit ja noviisit jakoivat tehtäviä ryhmiin. Sekä eksperttien että noviisien huomattiin olevan yhtä kykeneväisiä luokittelemaan tehtävät loogisesti ratkaisutavan

mukaan, mutta luokittelun perusteluissa on eroja. Ekspertit kykenevät hahmottamaan tehtävien taustalla olevat samankaltaisuudet, mutta noviisit puolestaan pitävät jopa fysiikan kannalta samanlaisia tehtäviä erilaisina pintapuolisten eroavaisuuksien vuoksi.

Noviisit käyttävät luokittelussa hyödykseen tehtävien pinnallisia ominaisuuksia, kuten avainsanoja, visuaalisia rakenteita ja fyysisten kappaleiden tyyppejä. He aloittavat luokittelun yksittäisistä konkreettisista asioista ja vasta lopussa miettivät tehtävän ratkaisun kannalta oleellisia fysiikan lakeja. Tehtävän ratkaisussa noviisit käyttävät yksittäisiin kappaleisiin liittyviä spesifejä yhtälöitä, ja ongelmanratkaisuprosessi sisältää paljon näiden yhtälöiden tuntemattojien muuttujien ratkaisemista. He siis hahmottavat tehtävän ratkaisun kannalta merkittävät osat, mutta eivät tiedä, mitä niillä kuuluisi tehdä. Edistyneet noviisit käyttävät luokitteluun pinnallisten rakenteiden lisäksi myös fysiikan lakeja. [16]

Ekspertit kykenevät tulkitsemaan tehtävää syvemmin kuin noviisit. He eivät käytä luokittelussa tehtävän pinnallisia ominaisuuksia tai ratkaisussa esiintyviä yhtälöitä, vaan ratkaisun taustalla olevia fysiikan lakeja. Ekspertit miettivät ongelman asettelua jo tehtävää lukiessaan ja löytävät siten ratkaisun kannalta oleelliset fysiikan lait, joiden perusteella he pystyvät valitsemaan tarvittavat yhtälöt. He aloittavat ongelman luokittelun oleellisista fysiikan laeista ja siirtyvät vasta sitten tehtävässä mainittuihin asioihin, joista noviisit lähtevät liikkeelle. Eksperttien käyttämään luokitteluprosessiin sisältyy eksplisiittisiä toimintamalleja tehtävän ratkaisemiseksi, eikä pelkästään yksittäisiä yhtälöitä ja tuntemattomia kuten noviiseilla. [16]

Katseentunnistusteknologian kehittyminen on tuonut uusia mahdollisuuksia ongelmanratkaisuprosessien tutkimiseen. Madsen ym. [17] tutkivat katseentunnistusta hyödyntäen, kiinnostävätkö tehtäviin oikein ja väärin vastaavat huomiota eri asioihin. Tutkimuksessa selvisi, että oikein vastanneet käyttivät enemmän aikaa ratkaisun kannalta relevanttien kohtien katsomiseen, kun taas väärin vastanneet katsoivat enemmän irrelevantteja kohtia. Myös Catrysse ym. [18] huomasivat tutkimuksessaan, että noviisit katsoivat huomiota herättäviä ja irrelevantteja yksityiskohtia enemmän kuin ekspertit. Tutkimuksissa havaittu ilmiö saattaa liittyä siihen, että relevantin ja irrelevantin tiedon tunnistamisen lisäksi ekspertit kykenevät sisäistämään informaatiota myös tarkan näön alueen ulkopuolelta, jolloin heidän ei tarvitse kohdistaa katsettaan kaikkiin tehtävässä annettuihin tietoihin [19].

Nugrahaningsihin ym. [20] tutkimuksessa selvitettiin, mitä tehtävän osia oppilaat

katsovat ratkaistessaan graafisia geometriaan liittyviä monivalintatehtäviä. Tutkimuksessa tuli ilmi, että tehtävänannon katselemiseen käytettiin prosentuaalisesti enemmän aikaa kuin yksittäisten vaihtoehtojen. Kahta todennäköisimpänä pitämäänsä vastausta oppilaat katsoivat vastaavasti prosentuaalisesti kauemmin kuin kahta epätodennäköisintä. Mitä kauemmin oppilaat käyttivät aikaa kahden todennäköisimmän vaihtoehdon katsomiseen, sitä vähemmän he katsoivat tehtävänantoa. Todennäköisimpien vaihtoehtojen tunnistamisen jälkeen oppilaiden katseen havaittiin horjuvan niiden välillä, eli he katsoivat vaihtoehtoja vuorotellen. Ensimmäisellä yrityksellä oikein vastanneiden katse horjui kuitenkin vähemmän kuin muiden.

Smith ym. [21] tutkivat, mihin yliopiston fysiikan johdantokurssin opiskelijat kiinnittävät huomiota katsoessaan valmiiksi ratkaistuja esimerkkitehtäviä. Tutkimuksessa huomattiin, että opiskelijat käyttivät 40 % esimerkkitehtävien katsomiseen yhteensä käytetystä ajasta tekstiosuuksien tarkasteluun. Loput eli 60 % ajasta kului matemaattisten lausekkeiden katsomiseen. Suurin osa eri alueiden välisistä siirtymistä tapahtui toisiaan vastaavien teksti- ja lausekeosuuksien välillä, mistä voidaan päätellä opiskelijoiden prosessoivan niitä samanaikaisesti.

Strobel ym. [22] hyödynsivät katseenseuraamista selvittääkseen, kumpaa kahdesta erilaisesta kuvaajasta koehenkilöt katsoivat enemmän kuvaajiin liittyviä tehtäviä ratkaistessaan. Tutkimuksessa selvisi, että enemmän katsottu kuvaaja riippui jonkin verran kysymyksen tyypistä. Kuitenkin henkilöt, jotka ilmoittivat etukäteen suosivansa toista kuvaajatyyppeä, myös suosivat kyseisenlaisia kuvaajia hieman enemmän tehtävien ratkaisemisen aikana. Osa tutkimukseen osallistuneista kertoi katsoneensa molempia kuvaajia varmistuakseen vastauksestaan.

## 4 Katseentunnistus

Tässä luvussa kerrotaan, miten tutkimuksessa käytetty katseentunnistuslaite toimii ja miten sen avulla saatua aineistoa voidaan analysoida. Lopuksi kerrotaan myös, mitä hyötyjä saavutetaan yhdistämällä haastattelu katseentunnistukseen.

### 4.1 Laitteiston toimintaperiaate

Ihmissilmään tulevan valon määrää säätelee pupilli. Silmän linssi taittaa kohteesta tulevan valon siten, että se osuu verkkokalvolla olevalle tarkan näön alueelle. Tällöin kohteesta nähdään tarkka kuva. Tarkan näön alue eli fovea on laajuudeltaan vain 2 astetta ihmisen horisontaalisen näkökentän ollessa kokonaisuudessaan noin 220 astetta, joten ihminen pystyy siis tarkentamaan katseensa vain yhteen kohteeseen kerrallaan. Fovean ulkopuolella olevalta alueelta ihminen pystyy havaitsemaan liikettä ja kontrasteja, vaikka sieltä saatava informaatio ei olekaan tarkkaa. [23]

Silmän liikkeet voidaan jakaa fiksaatioihin ja sakkadeihin. Fiksaatioksi kutsutaan vaihetta, jossa katse on tarkentunut tiettyyn kohteeseen ja aivot käsittelevät saamaansa informaatiota. Yksittäisen fiksaation kesto vaihtelee 50-600 millisekunnin välillä. Vaikka katse on fiksaation aikana tietyssä kohteessa, eivät silmät kuitenkaan ole täysin paikallaan vaan ne tekevät mikrosakkadeiksi kutsuttua pientä edestakaista liikettä. Sakkadiksi kutsutaan fiksaatioiden välillä tapahtuvaa silmien liikettä kohteesta toiseen. Sakkadin kesto on keskimäärin 20-40 millisekuntia, eikä sen aikana silmien kautta saatu informaatio ole kovin tarkkaa. [24]

Tässä tutkimuksessa käytettiin SMI RED250mobile -katseentunnistuslaitetta, joka perustuu laitteen lähettämän infrapunasäteilyn heijastumiseen silmästä. Laite asetetaan tietokoneen ruudun alapuolelle kuvan 1 mukaisesti. Tietokoneen edessä istuvan henkilön silmien paikka määritetään kalibraation avulla, minkä jälkeen laite pystyy määrittämään katseen suunnan havaitsemalla silmistä heijastuneen infrapunasäteilyn ja yhdistämään sen tietokoneen ruudulla kulloinkin näkyvään kuvaan. Tutkimuksen aikana koehenkilön on pyrittävä olemaan liikuttamatta päätään, jotta laitteisto pystyisi paikantamaan katseen mahdollisimman tarkasti. Laitteistoon





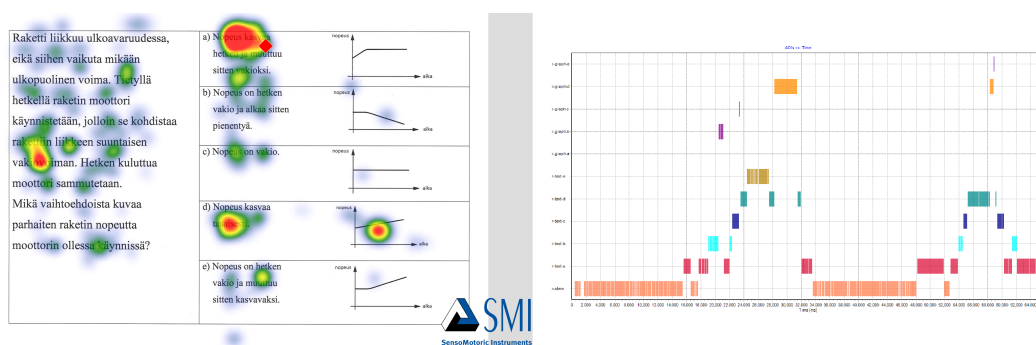
**Kuva 1.** Tutkimuksessa käytetty katseentunnistuslaitteisto. Kannettavan tietokoneen näytön alapuolelle on kiinnitetty infrapunasäteilyä lähettävä ja havaitseva kamera, jonka avulla ohjelmisto pystyy seuraamaan tutkittavan henkilön silmien liikkeitä. (Lähde: <http://e-prime3.com/extensions-for-smi/>)

kuuluvan SMI BeGaze -ohjelmiston avulla voidaan sakkadeja ja fiksaatioita tutkimalla selvittää, mitä kohtaa tietokoneen ruudusta koehenkilö on milläkin ajan hetkellä katsonut. [3]

## 4.2 Erilaisia analysointitapoja

Katseentunnistuslaitteistolla kerättyä dataa voidaan analysoida monella tavalla. Datasta voidaan esimerkiksi muodostaa lämpökartta, joka on helposti ja nopeasti tulkittava visuaalinen esitys koehenkilön katseen kohteista. Lämpökartan taustana on katseltu kuva, jonka päälle itse kartta muodostuu kunkin pikselin kokonaiskatseluajan mukaan seuraavasti: Ne kohdat, joissa fiksaatioita ei ole ollenkaan tai niitä on todella vähän, ovat värittömiä. Kartan väri muuttuu vihreästä keltaisen kautta punaiseksi niissä kohdissa, joita henkilö katsoi. Vihreiden alueiden katselu-aika oli lyhyt, keltaisten hieman pidempi ja punaisten pisin. Esimerkki lämpökartasta on esitetty kuvassa 2.

Lämpökartoista saadaan informaatiota vain silmämääräisesti tulkiten, joten niiden lisäksi on hyvä käyttää myös muita analysointitapoja. Yksi tapa on jakaa katseltava kuva kiinnostusalueisiin (area of interest, AOI). Kiinnostusalueiden avulla dataa voidaan käsitellä myös kvantitatiivisesti esimerkiksi tutkimalla, kuinka monta fiksaatiota kuhunkin AOI:hin kohdistui, kuinka pitkään kutakin kiinnostusaluetta



**Kuva 2.** Lämpökartta ja aika-AOI -kuvaaja samasta tehtävästä. Lämpökartassa katseen paikka näkyy värinä, kun taas aika-AOI -kuvaajassa aikaan suhteutettuna palkkina.

katsottiin ja miten katse siirtyi eri kiinnostusalueiden välillä.

Kuvassa 2 on esitetty lämpökartan lisäksi aika-AOI -kuvaaja, jonka muodostamisessa on hyödynnetty kiinnostusalueita. Kuvaajassa kiinnostusalueet sijaitsevat pystyakselilla ja aika vaakakselilla. Tietyn AOI:n katsominen näkyy kuvaajassa omalla rivillään tietyn värisenä palkkina, jonka leveys vastaa katsomiseen käytettyä aikaa suhteessa kokonaisaikaan. Kuvaajasta on siis helposti nähtävissä, missä järjestyksessä koehenkilö on kiinnostusalueita katsonut. Kiinnostusalueiden välisiä siirtymiä ja katseluajoja on mahdollista tutkia myös tilastollisin menetelmin, sillä sakkadeista ja fiksaatioista on saatavilla myös numeerista dataa.

### 4.3 Haastattelun yhdistäminen katseentunnistukseen

Psykologian tutkimuksissa katseentunnistusteknologiaa on hyödynnetty jo kauan, mutta erityisesti fysiikan opetuksen tutkimisessa se on melko uusi menetelmä. Katseentunnistuksen käyttö tutkimuksessa perustuu siihen, että ihmisen katseen on todettu korreloivan hänen ajatustensa kanssa, sillä katse siirtyy vaistomaisesti huomiota herättävään kohteeseen. Näin ollen katseentunnistuksen avulla esimerkiksi ongelmanratkaisutapoja voidaan tutkia kattavammin kuin käyttämällä pelkkää haastattelua. [25]

Katseentunnistus yksinään ei kuitenkaan välttämättä tarjoa mahdollisimman laajaa informaatiota, joten useissa tutkimuksissa sen tukena on käytetty haastattelua. Eräs tapa on näyttää koehenkilöille haastattelun yhteydessä katseentunnistulaitteiston luoma video, josta näkee, miten henkilön katse on liikkunut kokeen aikana. Videon

katsomisen ohessa tai jälkeen koehenkilöitä pyydetään selostamaan ajatuksiaan esimerkiksi katseen viipyessä pitkään tietyssä kohdassa tai palatessa jo katsottuun kohtaan uudestaan. [17, 18, 26] Kyseisen menetelmän on todettu olevan tavallista haastattelua parempi keino saada tietoa siitä, millainen koehenkilön ajatusprosessi oli tehtävän ratkaisemisen aikana [26]. Haastattelua ja katseentunnistusta voidaan siis käyttää täydentämään toisiaan, jolloin saadaan kerättyä monipuolisempaa informaatiota kuin vain jompaakumpaa käyttämällä. Katseentunnistus mahdollistaa myös sen, ettei koehenkilön tarvitse selostaa ajatuksiaan reaaliaikaisesti tehtävää tehdessään, mikä voisi häiritä keskittymistä ja aiheuttaa tulosten vääristymistä, vaan ratkaisuprosessiin voidaan palata myöhemmin.

## 5 Tutkimuskysymykset

Fysiikassa käytettyjä ongelmanratkaisutapoja on tutkittu aiemminkin, mutta todella harvassa tutkimuksessa on hyödynnetty katseentunnistusta. Kuten luvussa 3 tuli ilmi, ongelmanratkaisuun liittyvissä katseenseuraamistutkimuksissa on selvitetty esimerkiksi eroja eksperttien ja noviisien katsomissa alueissa, alueiden katseluun käytettyjä aikoja sekä tiettyjen alueiden katsomisen runsautta verrattuna muihin alueisiin. Tutkimuksissa on käytetty erilaisia representaatioita, kuten matemaattisia lausekkeita ja kuvia, mutta useimmiten tehtävissä on ollut vain yksi representaatio tehtävää kohden.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on saada käsitys siitä, mitä oppilaat mahdollisesti ajattelevat ratkaistessaan kaksi eri representaatiota sisältäviä mekaniikkaan liittyviä monivalintatehtäviä ja miten heidän ratkaisuprosessinsa etenee. Tutkimuksessa käytetään katseentunnistuksen lisäksi haastattelua, ja yhtenä mielenkiinnonkohteena onkin selvittää, miten hyvin haastattelussa saatu informaatio vastaa katseentunnistusdataa. Varsinaisia tutkimuskysymyksiä on kaksi, mutta kumpikin niistä on jaettu suppeampiin alakysymyksiin tarkastelun helpottamiseksi. Kysymykset ovat seuraavat:

1. Millaisia ongelmanratkaisutapoja oppilailla on?
  - Mitä tehtävänannon sanoja oppilaat katsoivat eniten?
  - Kuinka paljon oppilaat katsoivat valitsemiaan, vaihtoehtoisina pitämiään ja varmasti vääräksi tunnistamiaan vaihtoehtoja?
  - Toimivatko oppilaat järjestelmällisesti tehtäviä ratkaistessaan?
  - Hakivatko oppilaat tukea vähemmän suosimastaan representaatiosta vastausta valitessaan?
  - Horjuiko oppilaiden katse eri kiinnostusalueiden välillä juuri ennen vastauksen lukitsemista?
2. Miten oppilaiden itse kertoma ratkaisutapa vastaa katseenseuraamistestissä havaittua?

- Näkyykö oppilaan ilmoittama representaatiopreferenssi katseentunnistusdatassa?
- Löytyykö katseentunnistusdatasta viitteitä oppilaan kertomasta ratkaisustrategiasta?

## 6 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa esitellään, miten tutkimus toteutettiin. Luvussa 6.1 kerrotaan, miten tutkimusaineisto kerättiin. Luvussa 6.2 puolestaan käydään läpi, miten aineistoa analysoitiin.

### 6.1 Aineiston kerääminen

Tutkimusaineisto kerättiin helmikuussa 2018 eräässä keskisuomalaisissa lukiossa fysiikan toisella kurssilla. Kurssi ei käsitellyt mekaniikkaa, mutta kaikki tutkimukseen osallistuneet oppilaat olivat jo suorittaneet lukion fysiikan ensimmäisen kurssin, joten mekaniikan lait olivat heille jokseenkin tuttuja. Katseentunnistustestin osallistujat valittiin käyttämällä alkutestiä, jonka kaikki kurssin 20 oppilasta tekivät. Katseentunnistustestiin ja haastatteluun osallistui yhdeksän oppilasta, joista yhden osalta katseentunnistus epäonnistui, eikä sitä voitu käyttää tutkimuksessa. Jokaiselle kurssin oppilaalle ja heidän huoltajilleen lähetettiin viesti, jossa kerrottiin tutkimuksesta ja annettiin tutkimuksen tekijän ja hänen ohjaajansa yhteystiedot mahdollisia kysymyksiä varten. Aineiston keräämisen jälkeen alkutestin papereista ja haastattelun yhteydessä täytetyistä kyselylomakkeista hävitettiin kaikki tunnistetiedot siten, että saman oppilaan eri lomakkeet ovat yhdistettävissä toisiinsa, mutta oppilasta ei voi niistä tunnistaa.

#### 6.1.1 Alkutesti

Alkuun oppilaat tekivät yhdeksästä kysymyksestä koostuneen alkutestin, jolla pyrittiin kartoittamaan heidän osaamistaan. Testin tehtävät olivat Newtonin ensimmäiseen ja toiseen lakiin liittyviä monivalintatehtäviä, jotka on esitetty liitteessä A. Vastausvaihtoehdot oli valittu siten, että ne edustivat oikean vastauksen lisäksi yleisimpiä mekaniikkaa koskevia virhekäsityksiä, joita esiteltiin luvussa 2. Alkutestin teki kaiken kaikkiaan 20 oppilasta. Alkutestit pisteytettiin siten, että jokaisesta oikeasta vastauksesta annettiin yksi piste, jolloin maksimipistemäärä oli 9.

### 6.1.2 Katseenseuraamistesti

Alkutestin pisteiden perusteella valittiin yhdeksän oppilasta varsinaiseen tietokoneella tehtävään katseenseuraamistestiin, jonka aikana oppilaiden silmien liikkeitä seurattiin. Oppilaat valittiin siten, että he olivat mahdollisimman eritasoisia: kaksi valituista sai alkutestistä alle neljä pistettä, kolme neljästä viiteen pistettä, kaksi kuudesta seitsemään pistettä ja yksi kahdeksasta yhdeksään pistettä. Kunkin oppilaan kanssa sovittiin aika, jolloin katseenseuraamistesti ja haastattelu tehtiin. Aikaa varattiin kullekin oppilaalle noin puoli tuntia. Osa oppilaista halusi osallistua testiin vapaaajallaan ja osa fysiikan tunnin aikana.

Katseenseuraamistestissä oli neljä tehtävää (liite B), jotka liittyivät Newtonin toiseen lakiin. Kaikki tehtävät liittyivät eri tilanteisiin, mutta ensimmäinen ja kolmas sekä toinen ja neljäs olivat fysiikan suhteen samanlaisia. Kussakin tehtävässä oli viisi vastausvaihtoehtoa, jotka oli esitetty sekä tekstinä että kuvaajana. Vaihtoehdot oli valittu alkutestin tavoin siten, että oikean vastauksen lisäksi joukossa oli luvussa 2 esiteltyjä yleisimpiä virhekäsityksiä vastaavia vaihtoehtoja. Tehtävät oli aseteltu siten, että vasemmalla puolella tietokoneen ruutua oli kysymys ja oikealla allekkain vastausvaihtoehdot, joista jokaisessa oli rinnakkain teksti- ja kuvaajaversio. Kahdessa ensimmäisessä tehtävässä vastausvaihtoehtojen tekstiversio oli lähempänä tehtävänantoa ja kuvaajaversio kauempana (liitteen B kuvat 1 ja 2), mutta kahdessa jälkimmäisessä tehtävässä puolestaan päinvastoin (liitteen B kuvat 3 ja 4).

Katseenseuraamistestin tehtävät 1 ja 3 käsittelivät tilannetta, jossa jotakin kappaletta työnnettiin vaakasuoraa pintaa pitkin vakionopeudella, ja tietyllä ajanhetkellä työntävä voima kaksinkertaistettiin. Näissä tehtävissä liikettä vastustavia voimia ei saanut olettaa pieniksi, ja tehtävänä oli valita vaihtoehdoista parhaiten kappaleen nopeutta voiman kaksinkertaistamisen jälkeen kuvaava tilanne. Tehtävät 2 ja 4 puolestaan liittyivät tilanteeseen, jossa aluksi vakionopeudella liikkuvaa kappaletta työnnetään hetken aikaa liikkeen suuntaisella vakionopeudella. Tehtävissä mainittiin, ettei kappaleeseen vaikuta liikettä vastustavia voimia. Näissä tehtävissä oli valittava sellainen vaihtoehto, joka parhaiten kuvaa kappaleen nopeutta työntämisen aikana.

Aineiston keruuta varten katseentunnistuslaitteiston taajuudeksi valittiin 250 Hz eli se mittasi koehenkilön katseen sijaintia 4 ms välein, jolloin silmien liikkeitä pystyttiin seuraamaan mahdollisimman tarkasti. Ennen jokaista tehtävää laitteisto kalibroitiin, jotta esimerkiksi tehtävien välissä muuttunut koehenkilön pään asento ei vaikuttaisi tulosten tarkkuuteen. Kalibraatioksi valittiin tarkin eli 13 kalibraatio-

pistettä sisältävä versio ja fiksaation minimikestoksi 50 millisekuntia. Tutkimuksessa käytetyn tietokoneen näytön resoluutio oli 1920x1080 pikseliä ja koko 344x193 mm. Laitteiston edellyttämä katseluetäisyys oli noin 70 cm.

Oppilaat tekivät katseenseuraamistestin rauhallisessa huoneessa yksi kerrallaan. Ennen testin aloittamista oppilas ohjattiin istumaan siten, että hän oli laitteiston ilmoittaman sopivan etäisyyden päässä laitteesta ja sellaisessa asennossa, jossa hän pystyi luontevasti katsomaan tietokoneen ruutua sekä liikuttamaan hiirtä. Kullekin oppilaalle kerrottiin, miten heidän tulee toimia testin aikana sekä kalibraatioiden että tehtävien osalta. Heitä neuvottiin olemaan testin aikana mahdollisimman paikkoillaan ja liikuttamatta päätään, jotta katseentunnistus onnistuisi. Testin aikana ei saanut käyttää apuvälineitä, kuten kynää ja paperia, laskinta tai oppikirjaa. Tehtäviin vastaaminen tapahtui klikkaamalla haluttua vaihtoehtoa. Oppilaiden ei ollut mahdollista palata tarkastelemaan tehtäviä enää vastaamisen jälkeen.

### 6.1.3 Kyselylomake

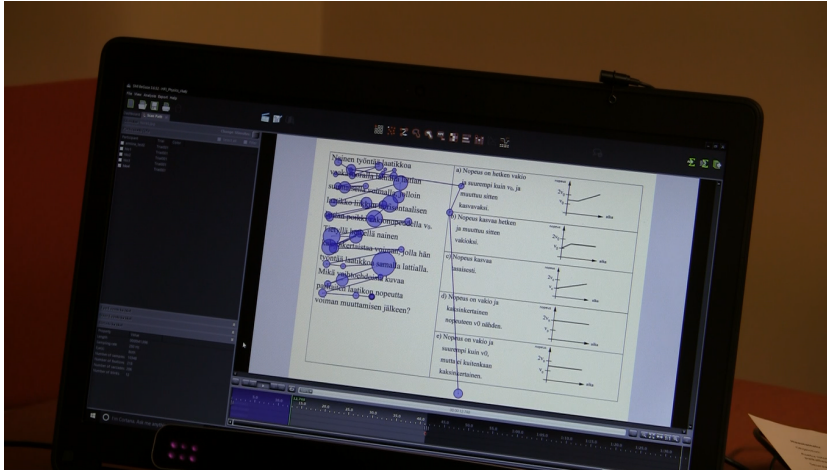
Tietokoneella tehtävän testin jälkeen oppilaat täyttivät lomakkeen, jossa kysyttiin heidän kokemuksiaan tekstien ja kuvaajien käyttämisestä. Lomakkeessa kysyttiin myös, mitä fysiikan kursseja oppilas on lukiossa suorittanut. Lomake on esitetty liitteessä C.

### 6.1.4 Haastattelu

Lomakkeen täyttämisen jälkeen siirryttiin haastatteluvaiheeseen, joka kuvattiin videolle. Videolle tallentui haastattelijan ja haastateltavan puheen lisäksi kuvaa tietokoneen ruudusta, jotta haastattelun vaiheet voitaisiin yhdistää ruudun tapahtumiin. Oppilasta tai hänen kasvojaan ei kuvattu. Ruutukaappaus eräästä haastattelutilanteesta kuvatusta videosta on esitetty kuvassa 3.

Haastattelussa käytiin läpi kaikki neljä tehtävää yksi kerrallaan. Ensin oppilaalle näytettiin pelkästään kuva tehtävästä ja häneltä kysyttiin, miksi hän valitsi vastaukseen tietyn vaihtoehdon, oliko hänellä muita vaihtoehtoja vastaukseksi ja huomasiiko hän jotkut vaihtoehdot heti varmasti vääriksi. Tämän osuuden jälkeen oppilaalle näytettiin video hänen katseensa liikkeistä. Videolla katseen paikkaa merkitsi piste, joka liikkui ruudulla ja pysähtyi fiksaatioiden kohdalle. Mitä suuremmaksi ympyräksi piste kasvoi, sitä kauemmin oppilas oli kohtaa katsonut. Videon katsomisen jälkeen oppilaalta kysyttiin, miksi hän katsoi tiettyjä kohtia kauan tai useasti





**Kuva 3.** Ruutukaappaus haastatteluvideosta.

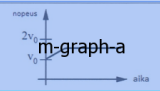
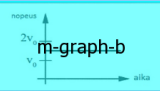
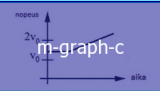
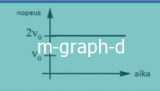
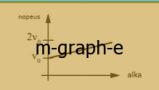
ja miksi joitakin kohtia ei ollenkaan tai vain vähän. Häneltä kysyttiin myös, mikä oli hänen strategiansa tehtävää ratkaistaessa ja yllättikö joku nauhoitteella näkyneet asia hänet. Kukin tehtävä käytiin läpi edellä mainitun kaavan mukaan.

## 6.2 Aineiston analysointi

Yhdeksästä katseenseuraamistettiin osallistuneesta oppilaasta vain kahdeksan data oli analysoitavaksi kelpavaa, sillä yksi oppilas jouduttiin hylkäämään katseentunnistuksen kalibraation epäonnistumisen vuoksi. Jatkossa viitattessani ”jokaiseen oppilaaseen” tarkoitan siis niitä kahdeksaa oppilasta, joiden katseentunnistusdata oli kelvollista analysoitavaksi.

Jokaisen oppilaan haastattelu litteroitiin. Haastattelun perusteella taulukoitiin oppilaiden vaihtoehtoisiksi ja vääriksi nimeämät vastausvaihtoehdot kunkin tehtävän osalta. Yhdistelemällä alkutestien, katseenseuraamistestien ja haastattelun vastauksia muodostettiin käsitys kunkin oppilaan mekaniikkaan liittyvistä käsityksistä. Haastattelun yhteydessä täytetyn kyselylomakkeen perusteella oppilaat luokiteltiin joko teksti- tai kuvaajaorientoituneiksi, tosin kaikki oppilaat eivät osanneet vastata olevansa selkeästi kumpaakaan.

Katseenseuraamisdatan analysointia varten jokaisen oppilaan jokaisesta tehtävästä luotiin SMI BeGaze -ohjelmalla oma lämpökarttansa. Lämpökartoista katsottiin, mitä vaihtoehtoja ja representaatioita kukin oppilas oli katsonut eniten ja mitä vähiten ratkaistessaan tehtäviä. Näitä tietoja verrattiin oppilaan valitsemaan vastaukseen sekä haastattelussa mainitsemaan vaihtoehtoisina pitämiinsä ja vääräksi huomaamiin-

<p>Mies työntää ostoskärryjä vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella vakiovoimalla, jolloin ostoskärryt liikkuvat horisontaalisen lattian poikki vakionopeudella <math>v_0</math>. Tietyllä hetkellä mies kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää ostoskärryjä samalla lattialla. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten ostoskärryjen nopeutta voiman muuttamisen jälkeen?</p>	a)	 <p>m-graph-a</p>	Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioiksi. m-text-a
	b)	 <p>m-graph-b</p>	Nopeus on vakio ja suurempi kuin $v_0$ , mutta ei kuitenkaan kaksinkertainen. m-text-b
	c)	 <p>m-graph-c</p>	Nopeus on hetken vakio ja suurempi kuin $v_0$ , ja muuttuu sitten kasvavaksi. m-text-c
	d)	 <p>m-graph-d</p>	Nopeus on vakio ja kaksinkertainen nopeuteen $v_0$ nähden. m-text-d
	e)	 <p>m-graph-e</p>	Nopeus kasvaa tasaisesti. m-text-e

**Kuva 4.** Jokainen tehtävä jaettiin kiinnostusalueisiin. Tehtävänannon lisäksi kunkin vastausvaihtoehdon kuvaaja- ja tekstiosa muodosti oman AOI:nsa.

sa vaihtoehtoihin. Lämpökarttojen perusteella selvitettiin myös, katsoivatko oppilaat joitakin yksittäisiä tehtävänannon sanoja enemmän kuin muita, ja kuinka paljon he kiinnittivät huomiota niihin riveihin, joilla varsinainen kysymys esitettiin. Tässä tutkimuksessa sanan katsottiin saaneen erityistä huomiota, jos lämpökartta oli sen kohdalla keltainen tai punainen.

Lämpökarttojen perusteella vertailtiin, oliko vastausvaihtoehtojen teksti- ja kuvaajaversioiden katsomisen määrässä eroja. Mahdollisten erojen perusteella oppilaat luokiteltiin joko teksti- tai kuvaajaorientoituneiksi, ja tätä luokittelua verrattiin oppilaan kyselylomakkeessa ilmoittamaan preferenssiin. Myös niiden oppilaiden, jotka eivät kyselylomakkeessa osanneet sanoa kumpaan ryhmään kuuluvat, orientoituneisuus selvitettiin lämpökarttojen perusteella.

Jokainen tehtävä jaettiin samalla tavalla kiinnostusalueisiin (AOI, eng. area of interest), jotka luotiin SMI BeGaze -ohjelmalla. Kiinnostusalueiksi valittiin tehtävänanto sekä jokaisen vastausvaihtoehdon teksti- ja kuvaajaversiot, jolloin yhdessä tehtävässä oli yhteensä 11 AOI:ta. Esimerkki kiinnostusaluejaosta on esitetty kuvassa 4.

Lämpökarttojen lisäksi kaikista tehtävistä luotiin aika-AOI -kuvaajat kullekin oppilaalle erikseen. Aika-AOI -kuvaajassa on esitetty aikajanalla, mitä AOI:ta oppilas on katsonut kullakin ajanhetkellä. Kuvaajien perusteella muodostettiin käsitys kunkin oppilaan tavasta edetä tehtävän ratkaisemisessa. Lisäksi kiinnitettiin huomiota siihen, oliko oppilaan katse horjunut kahden tai useamman AOI:n välillä ennen kuin hän klikkasi valitsemaansa vaihtoehtoa. Aika-AOI -kuvaajista nähtiin myös

vastausvaihtoehtojen teksti- ja kuvaajaversioiden katsomisjärjestys. Katsomisjärjestystä verrattiin sekä oppilaan kyselylomakkeessa ilmoittamaan että lämpökarttojen perusteella päätelyyn representaatiopreferenssiin.

Pienen otokset vuoksi aineiston analysoinnissa ei käytetty tilastollisia menetelmiä, vaan analyysi tehtiin täysin kvalitatiivisesti. Aineistoa tulkitsemalla pyrittiin löytämään vastaukset tutkimuskysymyksiin, jotka on esitetty luvussa 5. Taulukossa 1 on eritelty, miten ja mitä aineiston osaa käyttämällä kutakin kysymystä käsiteltiin.

**Taulukko 1.** Taulukossa on esitetty, millä keinoin aineistoa analysoitiin tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi.

Tutkimuskysymys	Aineisto	Analyysi
Millaisia ongelmanratkaisutapoja oppilailla on?	Aika-AOI -kuvaajat	AOI:den katsomisjärjestys, horjunta
	Lämpökartat	Eniten ja vähiten katsotut kohdat
	Haastattelut	Vaihtoehtojen luokittelu
Miten oppilaiden itse kertoma ratkaisutapa vastaa katseenseuraamistestissä havaittua?	Lämpökartat	Eniten ja vähiten katsotut kohdat
	Haastattelut	Representaatiopreferenssi, vaihtoehtojen luokittelu

## 7 Tutkimustulokset

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen tulokset. Aluksi tarkastellaan katseenseuraamistestien tuloksia ja niiden perusteella oppilailla olevia virhekäsityksiä. Luvussa 7.1 keskitytään ensimmäiseen tutkimuskysymykseen ja luvussa 7.2 toiseen tutkimuskysymykseen. Oppilaiden antamat vastaukset alkutestiin on esitetty liitteessä D, katseenseuraamistestiin liitteessä F ja kyselylomakkeeseen liitteessä E.

Taulukkoon 2 on koottu katseenseuraamistestien tehtävien oppilaiden alkutestien pisteet, vastaukset katseenseuraamistestien kysymyksiin sekä heidän kyselylomakkeeseen merkitsemänsä preferenssi kuvaajien ja tekstin suhteen. Oikea vastaus kaikkiin katseenseuraamistestien tehtäviin oli ”Nopeus kasvaa tasaisesti”. Lisäksi lähes oikeaksi vastaukseksi tehtävissä 1 ja 3 katsottiin ”Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi”, sillä vastaus ei fysiikan kannalta ole täysin väärä, vaikka sitä ei kyseisissä tehtävissä haettukaan. Vääräksi näissä tehtävissä kyseisen vaihtoehdon tekee kuvaajarepresentaatio, jossa nopeuden on määritetty tasoittuvan ennen kuin se on kaksinkertaistunut alkuperäiseen nopeuteen nähden, mutta tekstirepresentaatiosta kyseistä asiaa ei voi päätellä.

Katseenseuraamistestien ja alkutestien perusteella jokaisella oppilaalla oli jonkinlaisia virheellisiä mekaniikkaan liittyviä käsityksiä. Yksi yleisimpiä käsityksiä oli se, että vakiovoimasta seuraa vakionopeus. Moni oppilas myös uskoi nopeuden olevan suoraan verrannollinen voimaan, eli voiman kaksinkertaistaminen aiheuttaisi nopeudenkin kaksinkertaistumisen. Osalla oppilaista oli lähes Newtonin mekaniikan mukainen käsitys, mutta se oli kuitenkin hieman epävarma ja ottanut vaikutteita vakionopeuden ja vakiovoiman riippuvuuteen liittyvästä käsityksestä. Esimerkiksi oppilaiden 4 ja 5 kohdalla haastattelussa paljastui, että heidän lähes oikeiden vastaustensa perustelut olivat väärät eivätkä lainkaan mekaniikan lakien mukaiset.

**Taulukko 2.** Oppilaiden alkutestin pisteet sekä vastaukset katseenseuraamistestin tehtäviin ja haastetteluun. Oikeat vastaukset on tummennettu ja lähes oikeat kursivoitu. Lyhenteiden selitykset:  $i$  = tasaisesti nouseva,  $c$  = vakio,  $c+i$  = ensin vakio ja sitten nouseva,  $i+c$  = ensin nouseva ja sitten vakio,  $2v_0$  = vakio ja kaksinkertainen alkuperäiseen nopeuteen nähden,  $<2v_0$  = vakio ja enemmän kun alkuperäinen, mutta vähemmän kuin kaksinkertainen alkuperäinen nopeus.

Oppilas	AT	T1	T2	T3	T4	Preferenssi
1	4	$2v_0$	<b><math>i</math></b>	$2v_0$	<b><math>i</math></b>	Teksti
2	5	$<2v_0$	$i-c$	$<2v_0$	$i-c$	Teksti
3	7	$i-c$	<b><math>i</math></b>	$i-c$	<b><math>i</math></b>	Teksti
4	3	$2v_0$	$i-c$	$i-c$	$c$	Kuvaaja
5	6	$2v_0$	<b><math>i</math></b>	<b><math>i</math></b>	<b><math>i</math></b>	Ei osaa sanoa
6	5	$i-c$	$c$	$i-c$	$c$	Ei osaa sanoa
7	1	$2v_0$	$c$	$2v_0$	$c$	Ei osaa sanoa
8	8	$2v_0$	$c-d$	$i-c$	$c-d$	Ei osaa sanoa

## 7.1 Oppilaiden ongelmanratkaisutavat

Tässä luvussa käsitellään ensimmäistä tutkimuskysymystä. Kysymyksen tarkastelu on jaettu kahteen vaiheeseen: tehtävänantoon ja vastausvaihtoehtoihin tutustumiseen (luku 7.1.1) ja vastauksen valitsemiseen (luku 7.1.2). Luvussa 7.1.1 käsitellään tehtävän ratkaisemisen alkuvaihetta eli sitä, mihin oppilas kiinnittää huomiota sekä tehtävänannossa että vastausvaihtoehdoissa, kuinka paljon hän katsoo lopulta valitsemaansa vastausta, vaihtoehtoista vastaustaan ja varmasti vääräksi tunnistamiaan vaihtoehtoja sekä kuinka järjestelmällisesti oppilas tehtävää ratkaistessaan etenee. Luvussa 7.1.2 keskitytään ratkaisun loppuvaiheeseen eli niihin hetkiin, kun oppilas valitsee vastauksensa. Tarkastelun kohteena ovat juuri ennen vastauksen lukitsemista tapahtuva kiinnostusalueiden välinen horjunta ja tuen hakeminen vähemmän suositusta representaatiosta.

### 7.1.1 Tehtävänantoon ja vastausvaihtoehtoihin tutustuminen

Liitteessä H esitetystä aika-AOI -kuvaajista nähdään, että jokainen oppilas aloitti lähes jokaisen tehtävän tehtävänannon lukemisella. Kaikki muut paitsi oppilas 4 kävivät tehtävänannon lukemisen jälkeen vaihtoehdot läpi järjestyksessä suurimmassa osassa tehtäviä. Neljä heistä (1, 2, 6 ja 7) katsoi vaihtoehdoista ensin tekstirepresentaatiota ja vasta sitten kuvaajia joko siten, että he kävivät ensin läpi kaikkien vaihtoehtojen tekstit tai siten, että he katsoivat heti tekstin perään saman vaihtoehdon kuvaajaa. Kaikkien vaihtoehtojen kuvaajia ei kuitenkaan välttämättä katsottu. Oppilas 3 katsoi kolmessa ensimmäisessä tehtävässä ensin vaihtoehtojen tekstejä, mutta neljännessä tehtävässä hän aloitti kuvaajista. Oppilas 8 puolestaan katsoi vaihtoehdoista aina ensin ne representaatiot, jotka olivat lähempänä tehtävänantoa.

Lämpökartoista voidaan selvittää, katsoivatko oppilaat joitakin yksittäisiä tehtävänannon sanoja enemmän kuin muita. Joissakin lämpökartoissa erot sanojen katsomismäärissä ovat selkeämpiä kuin toisissa, eikä joistakin pysty sanomaan, onko joitakin sanoja katsottu muita enemmän. Taulukkoon 3 on koottu kunkin tehtävän eniten katsotut tehtävänannon sanat sillä edellytyksellä, että useampi kuin yksi oppilas katsoi sanaa erityisen paljon. Ainoa poikkeus tähän on tehtävän 3 kohdalla sanat *vakionopeudella* ja *v0*, jotka katsottiin paljon tehtävässä 1 ja otettiin siksi mukaan taulukkoon myös kolmannen tehtävän kohdalla. Kaikki oppilaiden eniten katsomat sanat löytyvät taulukosta 4, jota käsitellään tarkemmin myöhemmin.

Kun tehtäviä verrataan toisiinsa, löydetään oppilaiden eniten katsomista sanoista yhtäläisyyksiä. Tehtävät 1 ja 3 olivat fysiikan kannalta samanlaisia, ja niissä on myös kiinnitetty huomiota pitkälti samoihin sanoihin. Molemmissa tehtävissä suosituimpia sanoja olivat *kaksinkertaistaa (voiman)* ja *horisontaalisen*. Tehtävässä 1 kaksi oppilasta katsoi runsaasti sanaa *vakionopeudella* ja kaksi siihen liittyvää lyhennettä *v0*, mutta tehtävässä 3 kumpikin sana nousi esille vain kerran kahden eri oppilaan lämpökartoissa. Sen sijaan tehtävässä 3 kiinnitettiin enemmän huomiota sanaan *vakiovoimalla*.

Sama ilmiö on huomattavissa myös tehtävien 2 ja 4 kohdalla. Kummassakin tehtävässä kaksi suosituinta sanaa olivat *vakiovoiman* ja *(moottori) sammutetaan*. Tehtävässä 2 kolme oppilasta kiinnitti erityisen paljon huomiota vastusvoimien olemassaolon kumoavaan sanapariin *(mikään) ulkopuolinen*, jota tehtävässä 4 vastasivat sanat *kitka* ja *ilmanvastusvoimia*, joita myös katsottiin paljon. Kummassakin tehtävässä kahden oppilaan osalta paljon katselua saivat osakseen myös sanat *moottorin*

**Taulukko 3.** Tehtävänantojen eniten katsotut sanat. Sulkeet sanan ympärillä tarkoittavat, että kaikki eivät katsoneet kyseistä sanaa, mutta katselukerrat laskettiin yhteen sanaparin tiiviin yhteenkuulumisen vuoksi. Kutakin sanaa tai sanaparia paljon katsoneiden oppilaiden lukumäärä on sanan perässä sulkeissa.

Tehtävä	Sanat
1	<i>kaksinkertaistaa (voiman)</i> (4), <i>samalla</i> (4), <i>horisontaalisen</i> (3), <i>suuntaisella vakionopeudella</i> (2), <i>v0</i> (2), <i>tietyllä hetkellä nainen</i> (2), <i>muuttamisen (jälkeen)</i> (2)
2	<i>vakiovoiman</i> (4), <i>(moottori) sammutetaan</i> (3), <i>(mikään) ulkopuolinen</i> (3), <i>rakettiin</i> (2), <i>suuntaisen raketti</i> (2), <i>(moottorin ollessa) käynnissä</i> (2)
3	<i>kaksinkertaistaa (voiman)</i> (5), <i>ostokärkyjä [rivillä 9]</i> (4), <i>horisontaalisen</i> (3), <i>vakiovoimalla</i> (3), <i>(voiman) muuttamisen</i> (3), <i>vakionopeudella</i> (1), <i>v0</i> (1)
4	<i>(moottori) sammutetaan</i> (4), <i>voit ajatella</i> (3), <i>vakiovoiman</i> (3), <i>ilmanvastusvoimia</i> (3), <i>nopeutta</i> (3), <i>kitka</i> (2), <i>vakionopeudella</i> (2), <i>ollessa käynnissä</i> (2)

*ollessa käynnissä* tai vähintään osa niistä.

Osa eniten katsotuista sanoista on tehtävän ratkaisun kannalta relevantteja, kuten *kaksinkertaistaa voiman*, *horisontaalisen*, *vakionopeudella* ja *vakiovoimalla* tehtävissä 1 ja 3 sekä *vakiovoiman*, *(mikään) ulkopuolinen*, *kitka-* ja *ilmanvastusvoimia* ja *nopeutta* tehtävissä 2 ja 4. Joukossa on kuitenkin paljon sanoja, joiden merkitys ratkaisulle on lähes olematon, kuten *samalla*, *tietyllä hetkellä nainen*, *ostokärkyjä* ja *voit ajatella*. Tästä voidaan päätellä, että oppilaat eivät ole vielä harjaantuneita erottamaan tekstistä vain merkitykselliset sanat, vaan he kiinnittävät huomiota myös irrelevantteihin yksityiskohtiin.

Jokaisessa tehtävässä tehtävänannon viimeisillä riveillä oli merkitystä, sillä yleisen kuvauksen jälkeen tarkasteltava tilanne rajattiin vasta niillä sijaitsevassa kysymyksessä. Vaikka tilannetta rajaavat kysymyksen sanat *voiman muuttamisen jälkeen* tehtävissä 1 ja 3 sekä *moottorin ollessa käynnissä* tehtävissä 2 ja 4 olivat eniten katsottujen sanojen joukossa kaikissa tehtävissä, vain pari oppilasta kiinnitti niihin

erityisen paljon huomiota. Näiden merkittävien sanojen huomioimattomuus saattoi erityisesti tehtävissä 2 ja 4 vaikuttaa siihen, miten oppilaat ymmärsivät tehtävän ja miten he siihen vastasivat. Toisaalta esimerkiksi oppilas 8 kiinnitti sanoihin huomiota sekä tehtävässä 2 että 4, mutta tajusi silti haastattelun aikana ymmärtäneensä tehtävän väärin.

Katsomalla lämpökarttojen yleiskuvaa kiinnittämättä huomiota yksittäisiin sanoihin huomataan, että useimmiten tehtävänannon alimpia rivejä katsottiin vähän. Kysymystä katsottiin paljon vain yhdessä tehtävässä neljästä, jos tarkastellaan tehtyjen tehtävien kokonaismäärää (32). Muissa tehtävissä kysymystä katsottiin vain vähän (16) tai melko vähän (8). Kysymyksen katselumäärät on esitetty taulukossa 4. Kysymyksen katsominen näyttäisi lisääntyneen katseenseuraamistestin edetessä: tehtävissä 1 ja 2 kysymystä katsoi paljon vain yksi oppilas, tehtävässä 3 kaksi oppilasta ja tehtävässä 4 neljä oppilasta. Kysymyksen katsomattomuus voi kertoa siitä, että oppilas ymmärsi sen sujuvasti ensimmäisellä lukukerralla eikä kokenut tarvetta palata siihen, tai hän ei harjaantumattomuudestaan johtuen osannut kiinnittää huomiota tehtävänannon merkityksellisiin alueisiin.

Taulukkoon 4 kysymyksen katsomismäärän lisäksi ryhmitelty eniten katsotut sanat oppilaittain. Taulukosta nähdään, että yksittäinen oppilas kiinnitti samankaltaisissa tehtävissä melko vähän systemaattisesti huomiota samoihin sanoihin huolimatta tehtävien välillä ilmenneestä yhtäläisyydestä eniten katsottujen sanojen suhteen. Oppilasta 3 lukuun ottamatta jokaisella oppilaalla oli pääasiassa yksi sana tai sanajoukko, jota hän katsoi molemmissa tehtävissä jommastakummasta samankaltaisesta tehtäväparista. Poikkeuksen tekee oppilas 8, joka katsoi tehtävissä 2 ja 4 peräti kolmea samaa sanaa tai sanaparia, sekä oppilas 7, joka kiinnitti huomiota samoihin sanoihin sekä tehtävissä 1 ja 3 että 2 ja 4. Se, etteivät oppilaat katsoneet samoja sanoja samankaltaisissa tehtävissä systemaattisemmin, voi olla jälleen merkki heidän harjaantumattomuudestaan erottaa relevantit sanat irrelevanteista.

Aika-AOI -kuvaajista nähdään, että vaihtoehtojen katsomisen jälkeen oppilaat useimmiten palasivat katsomaan tehtävänantoa, mutta joitakin poikkeuksiakin löytyy. Esimerkiksi tehtävässä 4 oppilas 2 ei enää vastausvaihtoehtojen katsomisen aloittamisen jälkeen katsonut tehtävänantoa, kuten ei myöskään oppilas 6 tehtävissä 2 ja 4. Tehtävänantoon palaamaton oppilas ei todennäköisesti kokenut tarvetta hakea varmistusta vastaukselleen, vaan hän tunsi ymmärtäneensä tehtävän asettelun heti ensimmäisellä lukukerralla. Oppilas oli mahdollisesti jo tehtävänannon lukemisen



**Taulukko 4.** Eniten katsotut sanat jaoteltuna oppilaittain ja tehtävittäin. Kunkin tehtävän kohdalle on merkitty myös se, kuinka paljon oppilas katsoi tehtävänannon viimeisiä rivejä eli itse kysymystä (K1-4). Oppilaan useammassa tehtävässä katsomat sanat on tummennettu.

	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>T1</b>	vaakasuoralla lattian suuntaisella voimalla, horisontaalisen, vakionopeudella, samalla	laatikon, muuttamisen	kaksinkertaistaa voiman, samalla, nopeutta, muuttamisen jälkeen	kaksinkertaistaa, samalla	vaakasuoralla lattialla, horisontaalisen, tietyllä hetkellä nainen <b>kaksinkertaistaa voiman</b> , jolla hän työntää laatikkoa, laatikon	<b>vakionopeudella</b> , tietyllä hetkellä nainen kaksinkertaistaa	suuntaisella, <b>v0</b>	horisontaalisen lattian, <b>v0</b> , tietyllä, samalla lattialla
<b>K1</b>	Vähän	<b>Paljon</b>	Melko vähän	Vähän	Vähän	Vähän	Vähän	Vähän
<b>T2</b>	rakettiin, suuntaisen, hetken kuluttua <b>moottori sammutetaan</b>	rakettiin liikkeen suuntaisen <b>vakiovoiman</b>	-	ulkopuolinen, käynnistetään, vakiovoiman, sammutetaan, mikä, parhaiten, <b>moottorin ollessa käynnissä</b>	raketti, ulkopuolinen	-	mikään ulkopuolinen, tietyllä, moottori, <b>vakiovoiman</b>	raketti, <b>vakiovoiman</b> , <b>moottori sammutetaan</b> , käynnissä
<b>K2</b>	Melko vähän	Vähän	Vähän	<b>Paljon</b>	Melko vähän	Vähän	Melko vähän	Melko vähän
<b>T3</b>	kaksinkertaistaa, jolla, ostoskärryjä, muuttamisen	suuntaisella, <b>vakiovoimalla</b> , horisontaalisen, kaksinkertaistaa voiman	-	voiman muuttamisen	ostoskärryjä, vaakasuoralla, horisontaalisen, <b>kaksinkertaistaa</b>	vakiovoimalla, horisontaalisen lattian poikki <b>vakionopeudella</b> , ostoskärryjä samalla	suuntaisella <b>vakiovoimalla</b> , ostoskärryt, horisontaalisen, <b>v0</b> , kaksinkertaistaa voiman, ostoskärryjä	tietyllä, kaksinkertaistaa voiman, ostoskärryjä
<b>K3</b>	<b>Paljon</b>	Vähän	Vähän	Melko vähän	<b>Paljon</b>	Melko vähän	Vähän	Vähän
<b>T4</b>	voit ajatella, <b>moottori sammutetaan</b> , kuvaa, nopeutta	<b>vakiovoiman</b>	maglev-juna, vakionopeudella pitkällä, suoralla, voit ajatella, ilmanvastusvoimia, käynnistetään, sammutetaan	vakionopeudella, koska juna, junan, suuntaisen, junan nopeutta, <b>käynnissä</b>	kellua, voit ajatella, kitka, moottori sammutetaan	suoralla, magneettien, kitka- eikä ilmanvastusvoimia	ilmanvastusvoimia, moottori, kohdistaa, <b>vakiovoiman</b>	<b>vakiovoiman</b> , kuluttua <b>moottori sammutetaan</b> , nopeutta, <b>ollessa käynnissä</b>
<b>K4</b>	<b>Paljon</b>	Vähän	Vähän	<b>Paljon</b>	<b>Paljon</b>	Vähän	Melko vähän	<b>Paljon</b>

aikana hahmottanut, millainen ratkaisun pitäisi olla.

Lämpökarttojen perusteella kolme oppilasta (3, 4 ja 8) katsoi jokaisessa tehtävässä selkeästi eniten mielestään oikeaa vaihtoehtoa. Kolmessa tehtävässä samoin teki kolme oppilasta (1, 2 ja 5) ja kahdessa yksi (6). Oppilas 7 sen sijaan ei yhdessäkään tehtävässä katsonut valitsemaansa vaihtoehtoa eniten.

Katseenseuraamistestien vastausten lisäksi liitteessä F esitettyssä taulussa on nähtävillä oppilaiden vaihtoehtoisiksi ja varmasti vääriksi nimeämät vaihtoehdot. Väärrien ja vaihtoehtoisina pidettyjen vaihtoehtojen katsomismäärät vaihtelivat oppilaiden kesken ja jopa saman oppilaan eri tehtävissä. Neljä oppilasta (1, 2, 3 ja 5) kiinnitti huomattavan paljon huomiota varmasti vääräksi nimeämiinsä vaihtoehtoihin useammassa tehtävässä, mutta muut katsoivat vääräksi tunnistamiaan vaihtoehtoja pääsääntöisesti vähemmän tai yhtä paljon kuin muita paitsi valitsemaansa vaihtoehtoa. Vaihtoehtoiset vastaukset saivat paljon katselua osakseen osassa oppilaiden 2, 5, 6 ja 8 tehtäviä, mutta ei kaikissa. Muut oppilaat katsoivat vaihtoehtoisia vastauksiaan

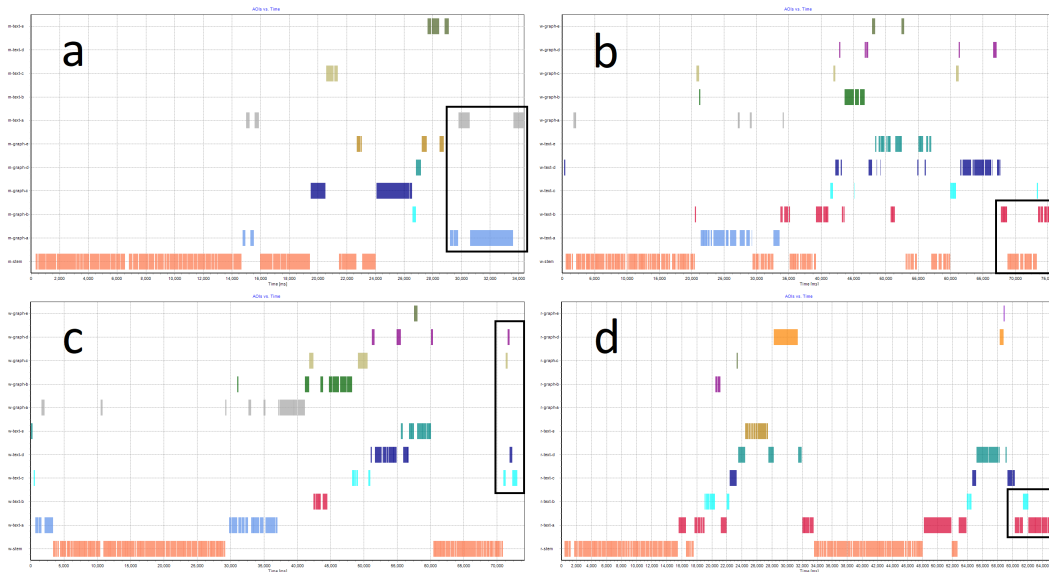
vaihtelevasti, ja oppilas 2 tehtävässä 3 jopa vähiten.

Selkeää trendiä vaihtoehtoisten ja varmasti väärin vaihtoehtojen katsomiselle ei siis löydy, mutta niiden saamasta tai saamatta jääneestä huomiosta voi kuitenkin päätellä jotain. Jos oppilas katsoi vääräksi nimeämänsä vaihtoehtoa runsaasti, hän ei todennäköisesti tajunnut heti sen olevan väärin, vaan joutui miettimään enemmän. Hän saattoi siis pitää niitä tehtävän ratkaisemisen aikana jossain määrin potentiaalisina vastauksinakin, ennen kuin vakuuttui siitä, miksi ne eivät voi olla oikein. Vaihtoehtoiksi vastauksiksi nimettyjen vaihtoehtojen runsas katsominen vastaavasti vahvistaa sitä, että oppilas todella ajatteli niiden olevan mahdollisesti oikein.

### 7.1.2 Vastauksen valitseminen

Lämpökartoista nähdään, että teksti- tai kuvaajaorientoituneisuudesta riippumatta jokainen oppilas katsoi lähes jokaisessa tehtävässä valitsemastaan vaihtoehdosta sekä teksti- että kuvaajaversiota, vaikka muiden vaihtoehtojen kohdalla olisi jättänyt toisen representaation katsomatta. Sen sijaan muiden vaihtoehtojen kohdalla oppilaat eivät välttämättä katsoneet molempia representaatioita riippumatta siitä, pitivätkö he niitä vaihtoehtoisina vastauksinaan tai olivatko he tunnistaneet ne varmasti vääriksi. Poikkeuksen tähän teki oppilas 2, joka katsoi yhdessä tehtävässä valitsemastaan vaihtoehdosta ainoastaan tekstiä, mutta kolmessa muussa tehtävässä käyttäytyi enemmistön tavoin. Valitun vaihtoehdon molempien representaatioiden katsominen on merkki siitä, että oppilaat hakivat tukea ja varmistusta ratkaisulleen myös vähemmän suosimastaan representaatiosta. Lämpökartat on esitetty liitteessä G.

Aika-AOI -kuvaajien perusteella vastauksen lukitsemista edeltävää eri kiinnostusalueiden välistä horjuntaa on havaittavissa jokaisella oppilaalla vähintään kahdessa tehtävässä. Horjuntaa tapahtui pääsääntöisesti oppilaan valitseman vaihtoehdon representaatioiden välillä, valitun vaihtoehdon ja tehtävänannon välillä, valitun ja vaihtoehtoisen vaihtoehdon välillä sekä valitun ja varmasti vääräksi nimetyn vaihtoehdon välillä. Esimerkkejä erilaisista horjunnoista on esitetty kuvassa 5. Valitun vaihtoehdon eri representaatioiden välinen horjunta oli selkeästi yleisintä, sillä sitä havaittiin jokaisella oppilaalla vähintään yhdessä tehtävässä, monella useammassakin. Oppilas 4 oli ainoa, jonka katse horjui valitun vaihtoehdon tekstin ja kuvaajan välillä kaikissa tehtävissä. Saman vaihtoehdon eri representaatioiden välillä horjumisen vahvistaa lämpökarttojen perusteella tehtyä havaintoa siitä, että oppilaat tukeu-



**Kuva 5.** Esimerkkejä horjunnasta (a) valitun vaihtoehdon eri representaatioiden välillä, (b) valitun vaihtoehdon ja tehtävänannon välillä, (c) valitun ja vaihtoehdoisen vaihtoehdon välillä sekä (d) valitun ja varmasti vääräksi tunnistetun vaihtoehdon välillä.

tuvat myös vähemmän suosimaansa representaatioon varmistuakseen vastauksensa oikeellisuudesta.

Oppilasta 4 lukuun ottamatta oppilailla esiintyi useampaa kuin yhtä edellä mainittua horjuntatyyppiä. Representaation välisen horjunnan jälkeen yleisintä oli horjunta valitun vaihtoehdon ja tehtävänannon välillä, jota ilmeni neljällä oppilaalla (3, 5, 6 ja 8) vähintään yhdessä tehtävässä. Palaamalla tehtävänantoon ennen vastauksen lukitsemista oppilaat halusivat todennäköisesti varmistua siitä, että he olivat ymmärtäneet kysymyksen oikein.

Kahden oppilaan (1 ja 2) katse horjui loppuvaiheessa heidän valitsemansa ja varmasti vääräksi nimeämänsä vaihtoehdon välillä. Tällaista horjuntaa havaittiin oppilaalla 1 yhdessä ja oppilaalla 2 kahdessa tehtävässä. Väärän ja valitun vaihtoehdon lisäksi oppilaan 2 katse horjui ensimmäisessä tehtävässä myös sellaisessa vaihtoehdossa, jota hän ei nostanut haastattelussa esille vaihtoehdoisena tai vääränä. Varmasti vääräksi nimetyn vaihtoehdon katsominen juuri ennen vastauksen lukitsemista saattaa viestiä, että oppilaat eivät kuitenkaan tunnistanee vaihtoehtoa vääräksi heti, vaan pitivät sitä jossain määrin mahdollisena ratkaisuna loppuun asti.

Valitun ja vaihtoehdoisen vastauksen välillä horjumisen oli harvinaista, sillä

sitä havaittiin vain yhdellä oppilaalla (7) kahdessa tehtävässä. Vaihtoehtoisena vastauksena pidetyn ja lopulta valitun vaihtoehdon välinen horjunta on osoitus siitä, että oppilas todella joutui punnitsemaan ratkaisuaan kahden eri vaihtoehdon välillä. Tässä tapauksessa oppilas katsoi horjunnan aikana kumpaakin representaatiota sekä vaihtoehtoisesta että valitsemastaan vaihtoehdosta, mikä kertoo siitä, että hän on tukeutunut myös vähemmän suosimaansa representaatioon ratkaisua tehdessään.

Kaikilla oppilailla selkeää horjuntaa kahden eri kiinnostusalueen välillä ei esiintynyt jokaisessa tehtävässä. Oppilas 1 ratkaisi horjumatta kaksi tehtävää ja oppilaat 3, 7 ja 8 yhden tehtävän. Horjumattomuus voi olla merkki siitä, että oppilas oli täysin vakuuttunut ratkaisustaan, tai toisaalta niin epävarma, että katseli vastauksen lukitsemiseen asti useampaa eri vaihtoehtoa sekä mahdollisesti myös tehtävänantoa.

Yhdenkään oppilaan vastaukset eivät olleet johdonmukaisia koko katseenseuraamistestin läpi. Säännönmukaisuutta on kuitenkin havaittavissa, kun tilanteeltaan samankaltaisia tehtäviä 1 ja 3 sekä 2 ja 4 verrataan keskenään, sillä viisi oppilasta (1, 2, 3, 6, 7) vastasi samalla tavalla samankaltaisiin tehtäviin. Näiden viiden lisäksi kaksi oppilasta (5 ja 8) antoi saman vastauksen tehtäviin 2 ja 4. Erot samantyylisten tehtävien vastauksissa selittyvät tehtävien asettelulla. Tehtävät 1 ja 3 koskivat ostokärryn ja laatikon työntämistä eli todella arkisia tilanteita, joissa kukin oppilas on varmasti joskus ollut osallisena. Tehtävien 2 ja 4 tilanteet puolestaan eivät olleet yhtä lähellä arkea, sillä niissä käsitellyt raketti ja Maglev-juna eivät todennäköisesti olleet oppilaille yhtä konkreettisesti tuttuja. Tehtävien 2 ja 4 teoreettinen käsittely saattoi siis olla helpompaa kuin tehtävien 1 ja 3, joista oppilailla oli omakohtaista kokemusta.

## 7.2 Haastattelun ja katseenseuraamistestin vastaavuus

Tässä luvussa käsitellään toista tutkimuskysymystä. Vastausta kysymykseen haetaan yhdistelemällä kysymyslomakkeen ja haastattelun kautta saatua informaatiota lämpökarttoihin ja aika-AOI -kuvaajiin. Kysymyslomakkeen perusteella muodostettua käsitystä kunkin oppilaan itsearvioidusta kuvaajanlukutaidosta ja representaatioprefferenssistä verrataan siihen, katsoivatko oppilaat lämpökarttojen perusteella enemmän tekstiä vai kuvaajia. Lämpökartoista nähdään myös, minkä verran oppilaat katsoivat haastattelussa vaihtoehtoisiksi vastauksiksi ja varmasti vääriksi nimeämiään vaihtoehtoja. Aika-AOI -kuvaajista puolestaan tutkitaan, löytyykö niistä tukea oppilaiden kertomille ongelmanratkaisustrategioille.

### 7.2.1 Representaatiopreferenssi

Neljä kahdeksasta oppilaasta vastasi haastattelun yhteydessä täyttämänsä kyselylomakkeeseen tulkitsevan mieluummin joko teksti- tai kuvaajarepresentaatiota. Näistä kolme oppilasta (1, 2 ja 3) kertoi suosivansa tekstiä ja yksi oppilas (4) kuvaajia. Neljä oppilasta (5, 6, 7 ja 8) eivät osanneet sanoa, pitävätkö enemmän tekstin vai kuvaajan lukemisesta. Näistä kuitenkin jokainen koki olevansa melko hyvä lukemaan kuvaajia, kuten myös tekstirepresentaatiota suosinut oppilas 3. Oppilas 2 koki olevansa huono kuvaajien lukemisessa, kun taas oppilas 1 ei osannut sanoa olevansa hyvä tai huono.

Seitsemän oppilaan teksti- tai kuvaajaorientoituneisuuden pystyi näkemään lämpökartoista, jotka on esitetty liitteessä G. Niiden oppilaiden kohdalla, jotka kyselylomakkeen perusteella suosivat selkeästi jompaakumpaa representaatiota, lämpökartoista havaittu orientoituneisuus vastasi kyselylomakkeessa ilmoitettua. Kolmen oppilaan, jotka eivät osanneet sanoa pitävänsä enemmän toisesta representaatiosta, orientoituneisuus pystyttiin kuitenkin päättelemään lämpökarttojen perusteella. Heistä oppilas 6 oli selkeästi tekstiorientoitunut ja oppilas 8 kuvaajaorientoitunut. Oppilas 7 vaikutti hyödyntävät molempia representaatioita melko tasaisesti, mutta kallistui hieman tekstiorientoituneen puolelle. Oppilas 5 sen sijaan katsoi vaihtoehdoista yhtä paljon sekä teksti- että kuvaajaversioita, joten hänen kohdallaan orientoituneisuutta ei ole mahdollista määrittää.

Kuvassa 6 on esitetty erään tekstirepresentaatiota suosineen oppilaan lämpökartat. Tekstirepresentaation suosiminen voidaan päätellä siitä, että vaikka oppilas katsoi jokaisessa tehtävässä myös vaihtoehtojen kuvaajaesityksiä, hän ei katsonut niitä yhtä paljon kuin tekstirepresentaatioita. Jokaisen tekstirepresentaation katsoimisesta huolimatta hän ei myöskään kiinnittänyt huomiota kaikkien vaihtoehtojen kuvaajaversioihin. Vastaavasti kuvassa 7 esitetyistä, kuvaajarepresentaatiota suosineen oppilaan lämpökartoista voidaan havaita samoja representaatiopreferenssin paljastavia piirteitä.



**Kuva 6.** Tekstirepresentaatiota suosineen oppilaan 6 lämpökartat. Lämpökartoista näkee, että oppilas katsoi myös kuvaajia, mutta ei jokaisen vaihtoehdon osalta ja huomattavasti vähemmän kuin tekstejä.



**Kuva 7.** Kuvaajarepresentaatiota suosineen oppilaan 4 lämpökartat. Oppilas katsoi myös tekstirepresentaatioita, mutta ei jokaisen vaihtoehdon kohdalla. Kuvaajia hän sen sijaan tarkasteli enemmän.

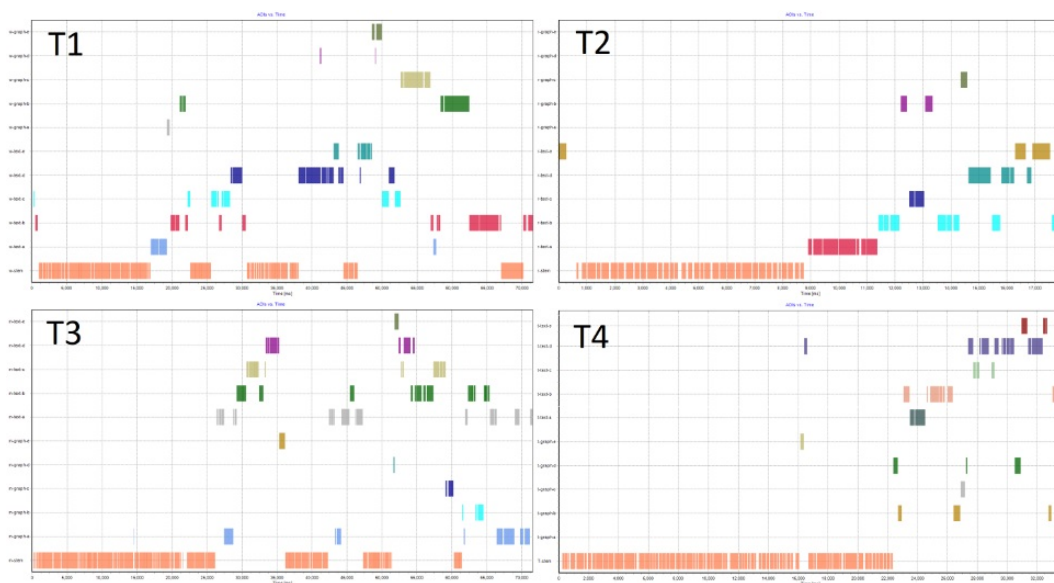
### 7.2.2 Ratkaisustrategia

Oppilasta 1 lukuun ottamatta kaikki osasivat sanallistaa ongelmanratkaisustrategiansa haastattelussa. Kuusi oppilasta (2, 3, 4, 5, 7 ja 8) kertoivat noudattaneensa samaa strategiaa kaikissa tehtävissä, mutta yhden oppilaan (6) strategia vaihteli tehtävittäin ollen kuitenkin samanlainen keskenään samankaltaisissa tehtävissä 1 ja 3 sekä 2 ja 4. Oppilaista neljä (2, 3, 5 ja 7) kertoi aloittaneensa tehtävän ratkaisemisen tehtävänannon lukemisesta ja pohtineensa jo lukemisen aikana, millainen oikea ratkaisu voisi olla. Myös oppilas 6 noudatti samanlaista lähestymistapaa tehtävissä 2 ja 4. Tehtävänannon lukemisen jälkeen oppilaat kertoivat siirtyneensä tarkastelemaan vastausvaihtoehtoja, joita he saattoivat verrata kokemuinsa käytännön tilanteisiin (oppilas 3) tai tehtävänannon lukemisen aikana miettimäänsä vastaukseen (oppilaat 5, 6 ja 7). Kolme oppilasta (2, 5 ja 8) kertoi palanneensa tehtävänantoon vielä vastausvaihtoehtojen tarkastelun yhteydessä.

Oppilaiden 4 ja 8 sekä kahden tehtävän osalta myös oppilaan 6 strategia oli erilainen kuin edellä esitelty, suurimman osan noudattama strategia. Oppilas 4 kertoi yksinkertaisesti lukeneensa tehtävänannon ja käyneensä sen jälkeen vastausvaihtoehtot läpi. Myös oppilas 8 kertoi lukeneensa ensin tehtävänannon ja siirtyneensä sitten tarkastelemaan vaihtoehtoja, mutta lisäksi myös palanneensa tehtävänantoon usein vaihtoehtojen lukemisen välissä, sillä ei muista lukemaansa kauaa. Tehtävien 1 ja 3 kohdalla oppilas 6 kertoi noudattaneensa eliminointitaktiikkaa, eli tehtävänannon lukemisen jälkeen vastausvaihtoehtoja tarkastellessaan karsinut varmasti vääriä vaihtoehtoja ja valinneensa vastauksekseen sen, joka karsimisen jälkeen jäi jäljelle.

Kuuden oppilaan (2, 4, 5, 6, 7 ja 8) tapauksessa aika-AOI-kuvaajat tukevat heidän kertomaansa strategiaa. Oppilaiden 2, 5 ja 8 kuvaajista on selkeästi nähtävissä, että he palasivat tehtävänantoon vielä siirryttyään tarkastelemaan vastausvaihtoehtoja, aivan kuten he kertoivatkin tehneensä. Myös oppilaat 3, 4, ja 7 katsoivat tehtävänantoa vähintään kolmessa tehtävässä vielä vaihtoehtojen tarkastelun välissäkin. Näin teki myös oppilas 6 niissä kahdessa tehtävässä, joiden vastausta hän kertoi pohtineensa jo tehtävänannon lukemisen aikana.

Erityisen mielenkiintoisia strategian näkymisen kannalta ovat oppilaat 6, 7 ja 8, sillä he avasivat strategiaansa haastattelussa enemmän kuin muut ja heidän kertomansa tueksi on havaittavissa selkeitä viitteitä myös aika-AOI-kuvaajissa. Oppilas 6 kertoi, että hänen strategiansa tehtävissä 1 ja 3 oli erilainen kuin tehtävissä 2 ja 4: Ensiksi mainituissa hän ei pystynyt tehtävänannon lukemisen aikana hahmottamaan,



**Kuva 8.** Oppilaan 6 aika-AOI -kuvaajat: ylärivissä vasemmalla tehtävä 1 ja oikealla tehtävä 2 sekä alarivissä vasemmalla tehtävä 3 ja oikealla tehtävä 4.

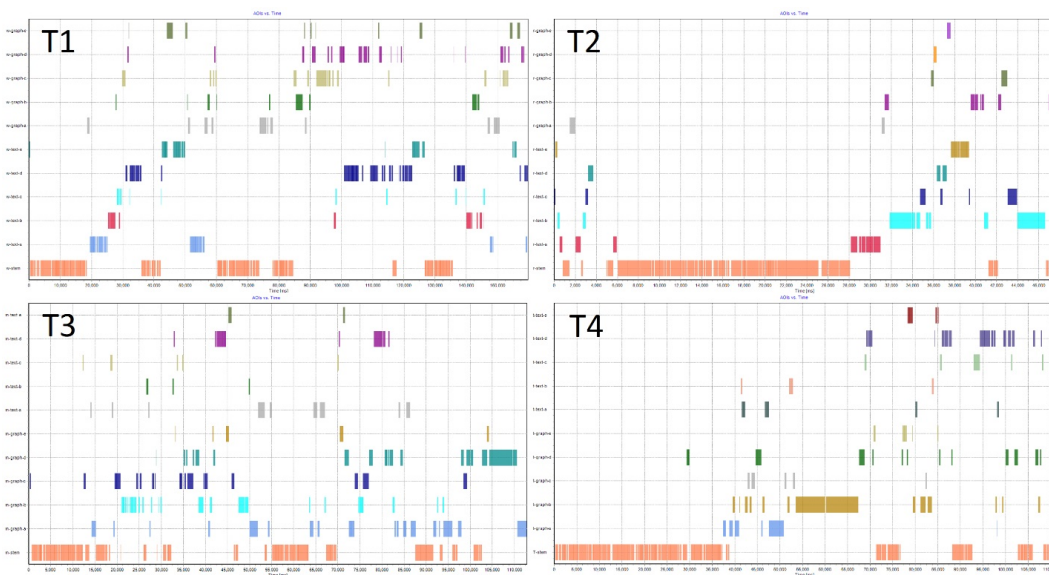
millainen oikea ratkaisu voisi olla, joten hän eteni karsimalla mielestään varmasti väärää vastauksia ja valitsemalla sen, joka jäi jäljelle. Tehtävissä 2 ja 4 hän sen sijaan kertoi onnistuneensa muodostamaan ratkaisusta mielikuvan jo tehtävänantoa lukiesseen, ja luettuaan tehtävänannon vain etsineensä ajatustaan vastaavan vaihtoehdon. Tehtävittäin vaihteleva strategia on havaittavissa myös kuvassa 8 esitetyistä aika-AOI -kuvaajista: tehtävissä 2 ja 4 oppilas ei enää katsonut tehtävänantoa siirryttyään vastausvaihtoehtojen tarkasteluun, kun taas tehtävissä 1 ja 3 hän palasi siihen myös ensimmäisen lukukerran jälkeen vaihtoehtojen tarkastelun lomassa. Tehtävänantoon palaamattomuus tehtävissä 2 ja 4 kertoo siitä, että oppilas todella oli hahmottanut vastauksen jo lukemisen aikana, eikä hän kokenut tarvetta varmistua kysymyksen asettelusta enää myöhemmin. Tehtävien 3 ja 4 tapauksessa oppilas oli kuitenkin epävarmempi, joten vastauksia karsiessaan hän haki tukea tehtävänannosta.

Oppilas 7 kertoi haastattelussa ratkaisevansa tehtävät hieman kiireisesti ja huolimattomasti. Hän kertoi yleensä koetilanteissa vastaavansa tehtäviin aluksi ensimmäisen intuition mukaan, siirtyvänsä seuraavaan tehtävään ja palaavansa myöhemmin tarkistamaan vastauksiaan. Aika-AOI -kuvaajista nähdään, että oppilas kävi vaihtoehtot läpi tehtävänannon lukemisen jälkeen pääsääntöisesti vain kerran, palasi kolmessa katsomaan tehtävänantoa (pl. tehtävä 2) ja teki ratkaisun sen jälkeen melko nopeasti. Tehtävässä 3 tehtävänantoon palaaminen oli melko lyhyt ja tapahtui jo



ennen kuin oppilas oli katsonut kaikkia vaihtoehtoja. Intuitiivinen vastaustapa näkyy vaihtoehtojen läpikäymisen jälkeisessä nopeassa päätöksenteossa. Katseenseuraamistestissä tehtäviin ei ollut mahdollista palata enää vastauksen lukitsemisen jälkeen, joten oppilaalle tyypillinen tehtävien tarkistaminen oli mahdotonta. Haastattelun aikana hän kuitenkin tajusi jokaisen tehtävän kohdalla tehneensä virheitä ja osasi kertoa tehtäviin oikeat vastaukset, vaikka alun perin oli vastannut väärin. Intuitiivisuutta ja huolimattomuutta tukevat myös alkutestin ja katseenseuraamistestin tulokset: alkutestissä oppilas menestyi hyvin Newtonin ensimmäistä ja toista lakia käsittelevissä kysymyksissä, mutta katseenseuraamistestissä hän vastasi tehtäviin yleisten virhekesitysten mukaisesti.

Oppilaan 8 aika-AOI -kuvaajat olivat tehtävää 2 lukuun ottamatta melko pirstaleisia verrattuna muiden oppilaiden kuvaajiin. Kuvaajat on esitetty kuvassa 9. Oppilas kertoi haastattelussa, että hänen on vaikea muistaa lukemansa tekstin sisältöä pitkään, joten hän joutui palaamaan tehtävänantoon useita kertoja vaihtoehtojen tarkastelemisen yhteydessä. Vaikeus luetun muistamisessa näkyy myös siinä, että hän katsoi vaihtoehtoja useita kertoja ennen kuin päätyi tiettyyn ratkaisuun.



**Kuva 9.** Oppilaan 8 aika-AOI -kuvaajat: ylärivissä vasemmalla tehtävä 1 ja oikealla tehtävä 2 sekä alarivissä vasemmalla tehtävä 3 ja oikealla tehtävä 4.

## 8 Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin luvussa 7 esiteltyjen tulosten perusteella ja verrataan niitä aiempien, luvussa 3 esiteltyjen tutkimusten tuloksiin siltä osin kuin aiempia tutkimuksia on olemassa. Yhteenvedon tekemisen lisäksi luvussa pohditaan tutkimuksen eettisyyttä, tulosten luotettavuutta ja tutkimuksen kehitysmahdollisuuksia.

### 8.1 Millaisia ongelmanratkaisutapoja oppilailla on?

Katseenseuraamistestin vastausten perusteella jokaisella oppilaalla oli jonkinlaisia virhekäsityksiä mekaniikkaan liittyen. Yleisimmän käsityksen mukaan vakiovoimasta seuraa vakionopeus, ja osa oppilaista ajatteli lisäksi voiman olevan suoraan verrannollinen nopeuteen. Nämä käsitykset vastaavat luvussa 2 esiteltyjä virhekäsityksiä [6, 7, 9, 10]. Joidenkin oppilaiden käsitys oli jokseenkin Newtonin lakeja vastaava, mutta osittain heidänkin ajatuksiaan ohjasivat tyypilliset virheelliset käsitykset. Käsitysten perusteella oppilaat eivät ole kovinkaan harjaantuneita mekaniikan suhteen, mikä on lukion ensimmäisen vuoden opiskelijoiden tapauksessa täysin oletettavaakin. Epämääräistä käsitystä vahvistavaa myös se, että joidenkin oppilaiden haastattelussa paljastui fysiikan kannalta lähes oikeiden vastausten takana olevan täysin väärät perustelut.

Aika-AOI -kuvaajien perusteella oppilaat lähestyivät tehtävää lähes aina aloittaen tehtävänannon lukemisesta. Lämpökartoista nähtiin, että oppilaat katsoivat pääasiassa joitakin tehtävänannossa olevia sanoja enemmän kuin muita. Verratessa eniten katsottuja sanoja toisiinsa tehtävittäin huomattiin, että samankaltaisissa tehtävissä oli katsottu eniten samoja sanoja. Eniten katsottujen sanojen joukossa oli sekä tehtävän ratkaisun kannalta relevantteja että täysin irrelevanttejakin sanoja. Kokemattomien oppilaiden on tutkittu kiinnittävän huomiota enemmän irrelevantteihin sanoihin [17, 18], joten havaittu vaihtelu huomiota kiinnittäneiden sanojen merkityksellisyydessä tukee vastausten perusteella tehtyä päätelmää siitä, että oppilaat ovat vielä melko harjaantumattomia.

Oppilaat kiinnittivät melko vähän systemaattisesti huomiota samoihin sanoihin samankaltaisissa tehtävissä. Yksi oppilas ei katsonut runsaasti samoja sanoja missään tehtävässä, mutta häntä lukuun ottamatta jokaisella oppilaalla oli pääasiassa yksi sana tai sanajoukko, jota hän katsoi jommankumman samankaltaisen tehtäväparin molemmissa tehtävissä. Yksi oppilas katsoi kahdessa samankaltaisessa tehtävässä paljon kolmea samaa sanaa tai sanaparia, ja yksi oppilas katsoi paljon tiettyä sanaa kummassakin tehtäväparissa. Samojen sanojen katsomisen vähäisyys johtunee siitä, että oppilaiden ongelmanratkaisutapa ei ole vielä eksperttien tasolla.

Tehtävänannon alimpia rivejä, joilla varsinainen kysymys sijaitsi, katsottiin kohdalaisen vähän. Kysymys kuitenkin sisälsi tehtävän ratkaisun kannalta relevantteja rajoituksia, joten sen vähäinen katsominen saattaa selittää osan vääristä vastauksista. Toisaalta yksi tehtävissä 2 ja 4 kysymystä ja erityisesti sen merkittävimpiä sanoja katsonut oppilas vastasi kumpaankin tehtävään väärin, ja tajusi virheensä vasta haastattelussa. Yleisesti se, ettei kysymystä katsottu paljon, voi johtua esimerkiksi siitä, ettei oppilas tunsi ymmärtäneensä sen riittävän hyvin jo ensimmäisellä katselukerralla, tai hän ei harjaantumattomuudestaan johtuen osannut kiinnittää huomiota tehtävän relevantteihin kohtiin.

Yhtä oppilasta lukuun ottamatta kaikki siirtyivät tehtävänannon lukemisen jälkeen tarkastelemaan vastausvaihtoehtoja ja suurimmassa osassa tehtäviä kävivät ne läpi järjestyksessä aloittaen ylimmästä. Puolet oppilaista katsoi vaihtoehtoista ensin tekstirepresentaatiota. Kuvaajarepresentaatiota he katsoivat joko heti saman vaihtoehdon tekstirepresentaation jälkeen tai vasta käytyään läpi kaikki tekstirepresentaatiot, mutta eivät kuitenkaan aina katsoneet kaikkia kuvaajia. Yksi oppilas noudatti kolmessa ensimmäisessä tehtävässä edellä mainittua etenemistapaa, mutta viimeisessä katsoi vaihtoehtojen tekstirepresentaatioiden sijaan ensin kuvaajia. Yksi oppilas puolestaan aloitti vaihtoehtojen katsomisen aina siitä representaatiosta, joka oli lähempänä tehtävänantoa.

Lämpökarttoja katsomalla selvitettiin, että pääosin oppilaat katsoivat eniten sitä vaihtoehtoa, jonka he lopulta valitsivat vastaukseksi. Vain yksi oppilas ei katsonut kyseistä vaihtoehtoa selkeästi eniten yhdessäkään tehtävässä. Vaihtoehtoisiksi ja varmasti vääriksi nimettyjen vaihtoehtojen katsomismäärä sen sijaan vaihteli sekä oppilaittain että tehtävittäin. Puolet oppilaista kiinnitti erityisen paljon huomiota vääräksi nimeämiinsä vaihtoehtoihin useammassa tehtävässä, mutta ei kaikissa. Vastaavasti puolet oppilaista katsoi paljon vaihtoehtoisina pitämiään vaihtoehtoja osassa

tehtäviä, mutta ei taaskaan kaikissa. Tämä tulos on erilainen kuin aiemmassa tutkimuksessa, jossa oppilaiden todettiin katsoneen kahta todennäköisintä vaihtoehtoa enemmän kuin kahta epätodennäköisintä [20]. Toisaalta tässä tutkimuksessa otos on pieni ja katsomismäärät määritetty silmämääräisesti lämpökarttojen perusteella, mikä saattaa selittää eroa aiemman tutkimuksen tuloksiin. Väärän vaihtoehdon runsas katsominen voi olla merkki siitä, että oppilas piti vaihtoehtoa potentiaalisena vastauksena ennen kuin vakuuttui sen vääryydestä. Vastaavasti vaihtoehtoihin vastauksiin kiinnitetty huomio vahvistaa sitä, että oppilas todella ajatteli niiden olevan mahdollisesti oikein.

Aika-AOI -kuvaajien perusteella useimmiten vastausvaihtoehtojen läpikäymisen jälkeen oppilaat siirtyivät katsomaan jälleen tehtävänantoa. Niissä tehtävissä, joissa oppilas ei enää palannut tehtävänantoon, hän myös katsoi tehtävänannon alimpia rivejä vähän. Tehtävänantoon palaamattomuus tukee aiemmin lämpökarttojen perusteella tehtyä päätelmää siitä, että oppilas todennäköisesti hahmotti ratkaisun jo tehtävänantoa lukiessaan, jos hän ei kiinnittänyt erityistä huomiota itse kysymykseen. Tehtävänannon alimpia rivejä katsottiin kuitenkin vähän myös sellaisissa tapauksissa, joissa tehtävänantoon palattiin vaihtoehtojen tarkastelemisen jälkeenkin. Kysymyksen vähäinen katseleminen ei siis välttämättä aina tarkoita sitä, että oppilas ymmärsi kysymyksen ensimmäisellä lukukerralla.

Lämpökartoista nähtiin myös, että representaatiopreferenssistä riippumatta jokainen oppilas katsoi lähes jokaisessa tehtävässä valitsemansa vaihtoehdon molempia representaatioita. Poikkeuksen teki vain yksi oppilas yhdessä tehtävässä katsomalla valitsemastaan vaihtoehdosta pelkästään kuvaajaa. Muiden vaihtoehtojen kohdalla oppilaat eivät välttämättä katsoneet sekä teksti- että kuvaajaesitystä. Valitun vaihtoehdon molempien representaatioiden katsominen viittaa siihen, että oppilaat hakivat vähemmän suosimastaan representaatiosta tukea ratkaisulle. Myös aiemmassa tutkimuksessa on havaittu samanlaista tukeutumista vähemmän suosittuun esitysmuotoon [22].

Eri kiinnostusalueiden välistä, juuri ennen vastauksen lukitsemista tapahtuvaa horjuntaa oli havaittavissa jokaisella oppilaalla vähintään kahdessa tehtävässä. Horjunta tapahtui joko oppilaan valitseman vaihtoehdon eri representaatioiden välillä, valitun vaihtoehdon ja tehtävänannon välillä, valitun ja vaihtoehtoisen vaihtoehdon välillä tai valitun ja varmasti vääräksi nimetyn vaihtoehdon välillä. Valitun vaihtoehdon eri representaatioiden välillä horjumista havaittiin kaikilla oppilailla vähintään

yhdessä tehtävässä ja yhdellä jopa kaikissa, joten se oli selkeästi yleisintä. Tämä havainto tukee lämpökarttojen perusteella tehtyä päätelmää vähemmän suosittuun representaatioon tukeutumisesta. Myös aiemmassa tutkimuksessa on havaittu katseen siirtymisen asiasisällöltään toisiaan vastaavien representaatioiden välillä olevan suosituinta, mikä kertoo eri esitysmuotojen samanaikaisesta prosessoimisesta [21].

Toiseksi eniten havaittiin valitun vaihtoehdon ja tehtävänannon välistä horjuntaa, jota tapahtui neljällä oppilaalla vähintään yhdessä tehtävässä. Katseen siirtyminen tehtävänantoon vielä juuri ennen vastauksen lukitsemista on merkki siitä, että oppilas halusi varmistua ymmärtäneensä tehtävän oikein. Yhteensä kolmessa tapauksessa havaittu valitun ja vääräksi nimetyn vaihtoehdon välinen horjunta puolestaan kertoo mahdollisesti siitä, että varmasti vääräksi nimettyä vaihtoehtoa on kuitenkin pidetty mahdollisena vastauksena viime hetkille saakka, eikä sitä tunnistettu vääräksi heti. Joissakin tapauksissa horjuntaa ei taas havaittu lainkaan, mikä on merkki oppilaan itsevarmuudesta ratkaisun suhteen.

Aiemmassa tutkimuksessa havaittiin horjuntaa tapahtuvan eniten kahden todennäköisimmän vaihtoehdon välillä [20]. Tässä tutkimuksessa kyseisenlaista horjuntaa havaittiin kuitenkin vain yhdellä oppilaalla kahdessa tehtävässä. Eron aiempaan tutkimukseen voi selittää se, että tutkimusasetelmat olivat erilaiset: tässä tutkimuksessa jokainen vaihtoehto esitettiin kahden eri representaation avulla, joten eri mahdollisuuksia eri kiinnostusalueiden väliselle horjunnalle vaihtoehtojen sisällä oli enemmän. Aiempi tutkimus myös käsitteli nimenomaan geometrian graafisia tehtäviä, joiden suhteen ongelmanratkaisustrategia voi muutenkin olla erilainen. Joka tapauksessa valitun ja vaihtoehtoisena pidetyn vaihtoehdon välinen horjunta selittyy sillä, että oppilas todella piti mainitsemaansa vaihtoehtoa potentiaalisena vastauksena lopulliseen päätökseen asti.

Edellä esiteltyjen tulosten perusteella oppilaiden ongelmanratkaisutapojen voidaan yleisesti ottaen sanoa olevan päällisin puolin tarkasteltuna järjestelmällisiä. Suurimmaksi osaksi he etenivät tehtäviä ratkaistessaan loogisesti aloittaen tehtävänannosta, siirtyen sen jälkeen tarkastelemaan vaihtoehtoja järjestyksessä ylhäältä alaspäin ja niiden läpikäymisen jälkeen siirtyvän katsomaan jälleen tehtävänantoa ennen karsittujen vaihtoehtojen katsomista ja päätöksen tekemistä. He katsoivat systemaattisesti eniten sitä vaihtoehtoa, jonka valitsivat vastaukseksi, ja hyödynsivät sen molempia representaatioita. Ennen lopullisen vastauspäätöksen tekemistä lähes kaikki horjuivat joidenkin vaihtoehtojen tai valitseman vaihtoehdon ja tehtävänan-

non välillä, mikä viittaa siihen, että he hakivat lopussa tukea päätökselleen jostakin muusta tehtävän alueesta.

Katseenseuraamistesti paljasti kuitenkin myös jonkin verran epäjärjestelmällisyyttä esimerkiksi eniten katsottujen tehtävänannon sanojen ja muiden kuin valitun vaihtoehdon katsomisen suhteen. Suurin osa oppilaista katsoi vain yhtä samaa sanaa tai sanaparia samankaltaisissa tehtävissä, mutta vain jommassakummassa samankaltaisessa tehtäväparissa. Vain yksi oppilas katsoi samoja sanoja molemmissa tehtäväpareissa, ja toinen yhdessä tehtäväparissa useampaa kuin yhtä samaa sanaa. Vaihtoehtoisten ja varmasti vääräksi nimettyjen vaihtoehtojen katsomisessakaan ei ollut selkeää systematiikkaa. Vaikka eri kiinnostusalueiden välistä horjuntaa tapahtui jokaisella oppilaalla vähintään kahdessa tehtävässä, eivät horjunnan kohteena olleet kiinnostusalueet olleet useinkaan samoja kaikissa tehtävissä.

Fysiikan eksperttien ongelmanratkaisutavan on todettu olevan todella järjestelmällinen ja rutiininomainen, kun taas noviisit ratkaisevat tehtävät vähemmän systemaattisesti ja pinnallisemmin tulkiten [15]. Jokaisella tähän tutkimukseen osallistuneella henkilöllä todettiin olevan jonkinlaisia virheellisiä mekaniikkaan liittyviä käsityksiä, joten heitä voidaan pitää noviiseina. Oppilaiden kokemattomuus fysiikan tehtävien ratkaisemisessa näkyi myös esimerkiksi siinä, että he katsoivat ratkaisun kannalta relevantteja sanoja hyvin vaihtelevasti, ja eniten katsottujen sanojen joukossa oli paljon myös täysin merkityksettömiä sanoja. Noviisimainen, hieman epäjärjestelmällinen ja harjaantumaton ratkaisutapa on siis aivan odotettava tulos. Tutkimukseen osallistuneet oppilaat eivät myöskään olleet opiskelleet mekaniikkaa peruskoulun ja lukion pakollisen fysiikan oppimäärän sisältöjä enempää, joten heidän kohtalainen harjaantumattomuutensa on oletettavaa.

## **8.2 Miten oppilaiden itse kertoma ratkaisutapa vastaa katseenseuraamistestissä havaittua?**

Tekstirepresentaation suosiminen oli tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden keskuudessa yleisempää kuin kuvaajien. Neljä oppilasta kertoi haastattelun yhteydessä täyttämässään kyselylomakkeessa pitävänsä toisen representaation tulkitsemisesta: kolme suosi tekstimuotoa ja yksi kuvaajia. Kaikkien neljän oppilaan representaatiopreferenssi oli nähtävissä selkeästi myös lämpökartoista. Loput neljä oppilasta eivät sen sijaan osanneet sanoa, kumpi representaatio on heille mieluisampi. Lämpökarttojen

perusteella heistä kolmella kuitenkin oli selkeä preferenssi jompaankumpaan representaatioon: kaksi suosi tekstiä ja yksi kuvaajia. Yksi oppilas katsoi niin tasaisesti sekä tekstiä että kuvaajia, että hänen preferenssiään ei pystytty selvittämään. Lämpökarttojen voidaan kuitenkin sanoa tukeneen oppilaiden itse kertomaa preferenssiä ja myös avanneen tilannetta niiden oppilaiden kohdalla, jotka eivät osanneet sanoa suosivansa kumpaakaan käytettyä esitysmuotoa. Koehenkilön ilmoittaman preferenssin on aiemminkin huomattu näkyvän siinä, mitä tehtävän kohtia hän katsoo [22].

Oppilaiden kertomia ratkaisustrategioita esiteltiin luvussa 7.2.2. Oppilas kertoi strategiakseen tyypillisesti sen, että hän aloitti tehtävänannon lukemisesta ja kävi sen jälkeen läpi annetut vaihtoehdot. Osa oppilaista kertoi pohtineensa jo tehtävänannon lukemisen aikana, millainen tehtävän ratkaisu voisi olla. Muutama myös kertoi tarvittaessa palanneensa tehtävänantoon vaihtoehtojen läpikäymisen jälkeen. Aika-AOI -kuvaajista löydettiin selkeitä viitteitä oppilaan kertomasta strategiasta kuuden oppilaan tapauksessa. Erityisen selkeästi strategia näkyi kolmen oppilaan kuvaajista. Nämä kolme oppilasta kertoivat haastattelussa strategiastaan hieman erilaisia asioita ja enemmän kuin muut, ja kaikki nämä yksityiskohdat olivat todennettavissa myös katseentunnistusdatan avulla.

Yleisesti voidaan sanoa, että katseentunnistusdata vastaa hyvin oppilaan kertomaa strategiaa ja representaatioihin liittyvää preferenssiä. Haastattelun ohella katseentunnistus toimii siis tuloksia vahvistavana tutkimusmenetelmänä, kuten aiemmissakin tutkimuksissa on todettu [26]. Lisäksi joissakin tapauksissa katseentunnistuksella voidaan saada selville myös sellaisia asioita, joita oppilas ei itse osaa sanoittaa.

### 8.3 Pohdinta

Tutkimuksessa havaittiin, että tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden ongelmanratkaisutavat ovat pinnallisin puolin järjestelmällisiä, mutta niissä esiintyy myös merkittävää epäjärjestelmällisyyttä. Oppilaiden harjaantumattomuus fysiikkaan liittyvien tehtävien ratkaisemisessa näkyi aavistuksen epäjärjestelmällisen tavan lisäksi esimerkiksi sanoissa, joihin he kiinnittivät eniten huomiota tehtävänannossa. Representaatiopreferenssin huomattiin olevan pääteltävissä katseentunnistusdatan perusteella ja vastaavan oppilaan kertomaa preferenssiä, mikäli oppilas osasi sanoa suosivansa jompaakumpaa tutkimuksessa käytettyä representaatiota enemmän kuin toista. Katseentunnistusdatan havaittiin myös tukevan oppilaan kertomusta hänen

ongelmanratkaisustrategiastaan, joka saattoi vaihdella tehtävittäin.

Tutkimuksen toteutusta voidaan pitää eettisenä. Koehenkilöinä toimi joukko erään lukion toisen fysiikan kurssin oppilaita, joille ilmoitettiin tutkimuksesta etukäteen sähköisesti kirjallisella viestillä. Viesti sisälsi sekä tutkimuksen tekijän että hänen ohjaajansa yhteystiedot, ja se lähetettiin myös oppilaiden huoltajille. Tutkimukseen osallistumisen kerrottiin olevan vapaaehtoista. Alkutestin jälkeen katseenseuraamistettiin valituille oppilaille kerrottiin suullisesti, miten katseenseuraamistesti ja haastattelu toteutetaan ja kuinka paljon niihin oli arvioitu kuluvan aikaa. Oppilaita myös muistutettiin siitä, että tutkimukseen osallistumisen voi keskeyttää milloin tahansa. Haastattelutilanteessa oppilaan kasvoja ei videokuvattu vaan kamera asetettiin siten, että kuvassa näkyi ainoastaan tietokoneen ruutu. Aineiston keräämisen jälkeen jokaisesta lomakkeesta poistettiin kaikki tunnistetiedot. Oppilaiden nimet korvattiin kirjaintunnuksilla, jotta saman oppilaan alkutesti, kysymyslomake ja katseenseuraamistesti olisi mahdollista yhdistää toisiinsa. Niin kauan kuin alkutesti- ja kyselylomakkeet pystyttiin yhdistämään tiettyyn oppilaaseen, aineistoa säilytettiin siten, ettei tutkimusryhmän ulkopuolisilla henkilöillä ollut pääsyä siihen.

Katseenseuraamistutkimuksessa oli neljä tehtävää, jotka esitettiin jokaiselle oppilaalle samassa järjestyksessä. Kaikissa tehtävissä tehtävänanto sijaitsi vasemmalla puolella ja vaihtoehdot allekkain oikealla. Representaatioiden suosimiseen liittyvien tulosten vääristymistä pyrittiin välttämään sillä, että kahdessa tehtävässä vaihtoehtojen kuvaajat sijoitettiin oikealle puolelle ja tekstit vasemmalle, ja kahdessa tehtävässä päin vastoin. Kaksi tehtävistä oli tilanteiltaan samankaltaisia ja niiden vaihtoehdot olivat samat, mutta ne olivat jokaisessa tehtävässä eri järjestyksessä. Vaihtoehdot oli valittu siten, että oikean vastauksen lisäksi joukossa oli yleisimpiä virhekäsityksiä vastaavia vaihtoehtoja.

Kaikki tehtävät olivat fysiikan kannalta lähes samanlaisia, mutta tutkimukseen osallistuneet oppilaat osasivat vastata osaan paremmin kuin muihin. Tehtävät 1 ja 3 liittyivät hyvin arkisiin tilanteisiin, jollaisista kaikilla oppilailla oli todennäköisesti omakohtaista kokemusta. Kyseisiin tehtäviin oppilaat antoivat kuitenkin enemmän vääriä vastauksia kuin tehtäviin 2 ja 4, joiden tilanteet olivat arkielämän kokemusten ulkopuolella. Ero vastausten oikeellisuudessa johtunee siitä, että itse koettuihin tilanteisiin liittyvissä tehtävissä oma kokemus menee fysiikan edelle. Harva oppilas on ollut henkilökohtaisesti tekemisissä tehtävissä 2 ja 4 käsiteltyjen avaruusraketin ja leijuvan junan kanssa, joten niihin liittyviä tilanteita voi olla helpompi käsitellä



täysin teoreettisesti ja vertaamatta omia kokemuksia teoriaan. Opettajan on hyvä tiedostaa tehtävän asettelun vaikutus tuloksiin, jotta hän pystyy suunnittelemaan tehtävät tarkoituksenmukaisiksi.

Tutkimuksessa huomattiin, että moni jätti tehtävänannossa esitetyn kysymyksen melko vähälle huomiolle. Erityisesti tehtävissä 2 ja 4 kysymyksessä esitettiin kuitenkin tehtävän ratkaisun kannalta todella relevantti rajausta käsiteltävästä tilanteesta: tehtävänannossa raketin tai junan moottorin kerrottiin käynnistyvän ja hetken kulluttua sammuvan, mutta kysymys koski pelkästään sitä aikaa, jonka moottori oli käynnissä. Osa tehtäviin annetuista vääristä vastauksista saattoi johtua juuri siitä, että oppilaat eivät tajunneet kysymyksen liittyvän pelkästään aikaan, jonka moottori oli käynnissä. Yksi oppilas kertoikin tajunneensa vasta haastattelussa, mitä tehtävässä todella haettiin. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa tämän kysymyksen asettelua olisikin syytä miettiä uudelleen.

Myös tehtävissä 1 ja 3 oli yksityiskohtia, joita olisi tarpeen korjata mahdollisia jatkotutkimuksia varten. Kummassakin tehtävässä vaihtoehtona oli, että voiman kaksinkertaistamisen jälkeen *nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi*. Vaihtoehdon eri representaatiot eivät kuitenkaan täysin vastaa toisiaan: tekstissä ei mainita kuvaajassa näkyvää tasoittuneen nopeuden suuruutta, joka on alle kaksinkertainen alkuperäiseen nopeuteen verrattuna. Pelkän tekstiesityksen perusteella vaihtoehto on fysiikan kannalta oikein, vastusvoimien vuoksi kappaleen nopeus ei voi kasvaa äärettömän pitkään. Tämän myös jokainen laatikkoa ja ostoskärryä joskus työntänyt tietää, minkä vuoksi vastaus määritettiin analysointivaiheessa lähes oikeaksi. Jos tämän lähes oikean vaihtoehdon valinneet oppilaat olisivat huomanneet vakioituneen nopeuden suuruuden, olisivat he saattaneet päätyä toiseen vastaukseen.

Tehtävien yksityiskohtien lisäksi erityisesti horjuntaan liittyviin tuloksiin saattoi jonkin verran vaikuttaa se, että vastaaminen tapahtui hiiren klikkauksella. Kun henkilö siirtää hiiren haluamaansa paikkaan eli valitsemansa vastauksen päälle, hän usein katsoo kursoria. Tällöin aika-AOI -kuvaajassa havaitaan katseen siirtyminen valittuun vaihtoehtoon. Horjunnaksi katsottiin kuitenkin vain sellaiset tilanteet, joissa katse oli ensin tietyssä vaihtoehdossa, kävi sitten muualla ja palasi alkuperäiseen vaihtoehtoon. Merkittävintä oli siis katseen siirtyminen valitusta vaihtoehdosta johonkin toiseen kiinnostusalueeseen ennen vastauksen lukitsemista, joten hiiren kursorin katsomisen vaikutusta voidaan pitää todella pienenä. Jatkotutkimuksissa hiiren vaikutuksen voisi yrittää poistaa kokonaan esimerkiksi toteuttamalla tehtävään

vastaamisen siten, että se tapahtuisi vasta varsinaisen tehtävän ja vaihtoehtojen tarkastelun jälkeen monivalintalomakkeella.

Tulkintaan eri kiinnostusalueiden katsomismääristä saattoi jonkin verran vaikuttaa se, etteivät vastausvaihtoehtojen AOI:t olleet keskenään yhtä suuria. Jokaisessa vaihtoehdossa kiinnostusalue, joka sisälsi kuvaajan, oli pienempi kuin tekstiversioiden sisältävä kiinnostusalue. Niin kuvaaja- kuin tekstiversioiden AOI:t olivat kuitenkin saman kokoisia kaikissa vaihtoehdoissa. Suuremmassa AOI:ssa on enemmän katsottavaa, mikä saattaa erityisesti aika-AOI -kuvaajissa näkyä pidempänä katseluaikana. Ero kiinnostusalueiden koossa on kuitenkin melko pieni, joten sen vaikutus tuloksiin ei todennäköisesti ole merkittävä. Jatkotutkimuksissa vaikutuksen voisi minimoida määrittämällä kiinnostusalueet yhtä suuriksi.

Myös eniten katsottujen sanojen määrittämiseen liittyy epätarkkuutta, sillä määrittäminen tehtiin lämpökarttojen perusteella silmämääräisesti. Esimerkiksi koehenkilön liikkuminen kalibraation jälkeen saattoi aiheuttaa sen, että lämpökartta oli hieman vinossa tietokoneen ruudun näkymään nähden. Tällöin ne sanat, joiden kohdalla keltaiset tai punaiset alueet olivat, eivät välttämättä todellisuudessa olleetkaan koehenkilön eniten katsomia sanoja. Useimmiten lämpökartan värillinen alue ei ollutkaan täsmällisesti tietyn sanan päällä, vaan hieman sen ylä- tai alapuolella. Kyseisissä tilanteissa katsotuksi sanaksi tulkittiin se, joka oli lähimpänä värillistä aluetta.

Merkittävin tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttava tekijä tässä tutkimuksessa oli aineiston laadullinen analyysi. Lämpökarttojen ja aika-AOI -kuvaajien silmämääräinen analysoiminen ei ole yhtä tarkkaa kuin tilastollisten menetelmien käyttäminen, mutta näin pienellä otannalla kvantitatiivisten analyysien tekeminen ei olisi ollut mielekästä. Esimerkiksi lämpökarttojen perusteella tehdyt tulkinnat oppilaiden ajatuksista ovat pitkälti tutkimuksen tekijän omaa tulkintaa, mutta luotettavuuden lisäämiseksi kaikista tuloksista keskusteltiin tutkimusryhmän kesken. Puolestaan osa tuloksista, kuten horjunta, on kuitenkin tulkinnasta riippumattomia. Tutkimuksessa myös huomattiin, että lämpökartoista ja aika-AOI -kuvaajista tehdyt päätelmät vahvistivat toisiaan, ja katseentunnistuksen lisänä käytetty haastattelu vahvisti ja syvensi päätelmiä oppilaiden ajatuksista. Siispä useiden eri menetelmien käyttäminen voidaan sanoa lisänneen tämän tutkimuksen luotettavuutta. Osaa tuloksista pystyttiin myös vertaamaan aiempiin tutkimuksiin.

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa tulosten luotettavuutta voisi lisätä nostamalla koehenkilöiden määrää sellaiseksi, että aineistoa voitaisiin analysoida myös laskennal-

lisesti. Tämä vaatisi kuitenkin melko paljon resursseja, sillä kaikkien koehenkilöiden katseenseuraamistutkimus ja haastattelu vie aikaa. Haastattelu kannattaisi kuitenkin ehdottomasti pitää mukana, sillä tässä tutkimuksessa sen todettiin antavan syvyyttä ja vahvistusta katseentunnistusdatalle. Koehenkilöiden ottaminen lukion lisäksi yliopistosta mahdollistaisi eksperttien käyttämien ongelmanratkaisutapojen tutkimisen kahta eri representaatiota sisältävissä tehtävissä, jolloin tuloksia pystyttäisiin myös vertaamaan keskenään.

Vastaavaa tutkimusta ei ole tehty aiemmin. Tutkimuksen merkittävyyttä lisää se, että vastaava aineiston keruu toteutettiin samaan aikaan sekä Tsekissä Charlesin yliopistossa että Japanissa Hokkaidon yliopistossa. Tutkimusta on myös esitelty kansainvälisissä konferensseissa ja sen pohjalta on kirjoitettu kaksi artikkelia, joista toinen on jo hyväksytty julkaistavaksi [27, 28].

## Lähteet

- [1] Opetushallitus. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. Helsinki, 2014.
- [2] Opetushallitus. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015*. Helsinki, 2015.
- [3] J. Isoniemi. ”Katseenseuraamistutkimus representaation vaikutuksesta kykyyn ratkaista fysiikan ongelmia”. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, 2016. URL: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju-201612155114> (viitattu 25. 08. 2019).
- [4] P. Nieminen, A. Savinainen ja J. Viiri. ”Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students’ representational consistency”. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 6 (2010). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020109.
- [5] J. Jauhiainen, I. T. Koponen ja J. Lavonen. ”Lukiolaisten käsitteellinen ymmärrys Newtonin mekaniikasta voimakäsitteillä arvioituna”. Teoksessa: *Tutkimuksia kouluopetuksen kehittämisessä: matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuksia*. Toim. A. Ahtineva. Turun yliopisto, 2001, s. 61–72.
- [6] N. Sadanand ja J. Kess. ”Concepts in force and motion”. *The Physics Teacher* 28.8 (1990), s. 530–533. DOI: 10.1119/1.2343138.
- [7] A. B. Champagne, L. E. Klopfer ja J. H. Anderson. ”Factors influencing the learning of classical mechanics”. *American Journal of Physics* 48.12 (1980), s. 1074–1079. DOI: 10.1119/1.12290.
- [8] D. E. Brown ja D. Hammer. ”Conceptual Changes in Physics”. Teoksessa: *International handbook of research on conceptual change*. Toim. S. Vosniadou. 2. painos. Educational psychology handbook series. London: Routledge, 2013, s. 127–154.
- [9] I. A. Halloun ja D. Hestenes. ”Common sense concepts about motion”. *American Journal of Physics* 53.11 (1985), s. 1056–1065. DOI: 10.1119/1.14031.
- [10] J. Clement. ”Students’ preconceptions in introductory mechanics”. *American Journal of Physics* 50.1 (1982), s. 66–71. DOI: 10.1119/1.12989.

- [11] D. E. Trowbridge ja L. C. McDermott. "Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension". *American Journal of Physics* 48.12 (1980), s. 1020–1028. DOI: 10.1119/1.12298.
- [12] D. Hestenes, M. Wells ja G. Swackhamer. "Force concept inventory". *The Physics Teacher* 30.3 (1992), s. 141–158. DOI: 10.1119/1.2343497.
- [13] D. E. Brown. "Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law". *Physics Education* 24.6 (1989), s. 353. URL: <http://stacks.iop.org/0031-9120/24/i=6/a=007> (viitattu 05.06.2017).
- [14] R. D. Knight. *Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach with Modern Physics*. 3. painos. Pearson Education Limited, 2014. ISBN: 978-1-292-02078-5.
- [15] F. Reif ja J. Heller. "Knowledge structures and problem solving in physics". *Educational Psychologist* 17 (1982), s. 102–127.
- [16] M. T. H. Chi, P. J. Feltovich ja R. Glaser. "Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices". *Cognitive Science* 5 (huhtikuu 1981), s. 121–152. DOI: 10.1207/s15516709cog0502\_2.
- [17] M. Adrian, A. Larson, L. Loschky ja N. S. Rebello. "Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems". *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 8 (2012). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.8.010122.
- [18] L. Catrysse ym. "Mapping processing strategies in learning from expository text: an exploratory eye tracking study followed by a cued recall". *Frontline Learning Research* 4.1 (2016). DOI: 10.14786/flr.v4i1.192.
- [19] A. Gegenfurtner, E. Lehtinen ja R. Säljö. "Expertise Differences in the Comprehension of Visualizations: A Meta-Analysis of Eye-Tracking Research in Professional Domains". *Educational Psychology Review* 23 (2011), s. 523–552. DOI: 10.1007/s10648-011-9174-7.
- [20] N. Nugrahaningsih, M. Porta ja S. Ricotti. "Gaze behavior analysis in multiple-answer tests: An Eye tracking investigation". Teoksessa: *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. 2013, s. 1–6. DOI: 10.1109/ITHET.2013.6671020.

- [21] A. Smith, J. Mestre ja B. Ross. "Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics". *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 6.2 (2010). ISSN: 1554-9178. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020118.
- [22] B. Strobel, S. Saß, M. Lindner ja O. Köller. "Do Graph Readers Prefer the Graph Type Most Suited to a Given Task? Insights from Eye Tracking". *Journal of Eye Movement Research* 9.4 (2016). DOI: 10.16910/jemr.9.4.4.
- [23] Tobii Pro, Learn & Support. *The Human Eye*. 2018. URL: <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/the-human-eye/> (viitattu 10.01.2018).
- [24] Tobii Pro, Learn & Support. *Types of eye movement*. 2018. URL: <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/types-of-eye-movements/> (viitattu 10.01.2018).
- [25] M.-L. Lai ym. "A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012". *Educational Research Review* 10 (2013), s. 90–115. DOI: 10.1016/j.edurev.2013.10.001.
- [26] T. van Gog, F. Paas, J. J. G. Van Merriënboer ja P. Witte. "Uncovering the Problem-Solving Process: Cued Retrospective Reporting Versus Concurrent and Retrospective Reporting." *Journal of experimental psychology. Applied* 11 (2006), s. 237–44. DOI: 10.1037/1076-898X.11.4.237.
- [27] J. Viiri ym. "Eye-movement study of mechanics problem solving using multi-modal options". Teoksessa: *Selected papers book of the proceedings of GIREP-MPTL Conference 2018*. Springer (painossa), 2019.
- [28] J. Viiri, J. Kilpeläinen, M. Kekule ja J. Hautala. "Students' preferences on graph or text representation in multiple-choice test" (2019). Arvioitavana.

## Liite A Alkutestin tehtävät

Oikeat vastaukset on tummennettu.

1. Raketti on ulkoavaruudessa, missä ei ole ilmaa eikä gravitaatiota. Jotta raketin nopeus pysyisi vakiona, siihen täytyy vaikuttaa
  - (a) vakiovoima
  - (b) **ei mikään voima**
  - (c) kasvava voima
  - (d) pienenevä voima
  - (e) voima vain silloin tällöin
2. Raketti on ulkoavaruudessa, missä ei ole ilmaa eikä gravitaatiota. Jotta raketin nopeus kiihtyisi tasaisesti, täytyy siihen vaikuttaa
  - (a) **vakiovoima**
  - (b) ei mikään voima
  - (c) kasvava voima
  - (d) pienenevä voima
  - (e) voima vain silloin tällöin
3. Raketti on ulkoavaruudessa, missä ei ole ilmaa eikä gravitaatiota. Jotta raketin nopeus hidastuisi tasaisesti, täytyy siihen vaikuttaa
  - (a) **vakiovoima**
  - (b) ei mikään voima
  - (c) kasvava voima
  - (d) pienenevä voima
  - (e) voima vain silloin tällöin

## II

4. Pallo heitetään kohtisuoraan ylöspäin. Mitä voit sanoa palloon vaikuttavista voimista? Ilmanvastusta ei huomioida tässä tehtävässä.
- (a) Palloon vaikuttaa vain vakiovoima ylöspäin.
  - (b) **Palloon vaikuttaa vain vakiovoima alaspäin.**
  - (c) Palloon vaikuttaa vain pienenevä voima ylöspäin.
  - (d) Palloon vaikuttaa sekä pienenevä voima ylöspäin että vakiovoima alaspäin.
5. Pallo pudotetaan kymmenen metriä korkeasta tornista. Mitä voit sanoa palloon vaikuttavista voimista? Ilmanvastusta ei huomioida tässä tehtävässä.
- (a) **Palloon vaikuttaa vain vakiovoima alaspäin.**
  - (b) Palloon vaikuttaa vain kasvava voima alaspäin.
  - (c) Palloon ei vaikuta mikään voima
  - (d) Palloon vaikuttaa sekä alaspäin että ylöspäin suuntautuvat voimat.
6. Pallo pudotetaan kymmenen metriä korkeasta tornista. Mitä voit sanoa pallon nopeudesta? Ilmanvastusta ei huomioida tässä tehtävässä.
- (a) Nopeus on vakio.
  - (b) **Nopeus kasvaa vakiokiihtyvyydellä.**
  - (c) Aluksi nopeus kasvaa ja hetken päästä se muuttuu vakioksi.
  - (d) Aluksi nopeus on vakio ja hetken päästä se muuttuu kasvavaksi.
7. Mies työntää laatikkoa jäätä pitkin vakiovoimalla. Mikä seuraavista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta? Oleta, että laatikon ja jään välillä ei ole kitkaa.
- (a) Nopeus on vakio.
  - (b) **Nopeus kasvaa vakiokiihtyvyydellä.**
  - (c) Aluksi nopeus kasvaa ja hetken päästä se muuttuu vakioksi.
  - (d) Aluksi nopeus on vakio ja hetken päästä se muuttuu kasvavaksi.
8. Mies työntää laatikkoa jäätä pitkin vakiovoimalla. Tietyssä pisteessä mies lopettaa työntämisen. Mitä tapahtuu laatikolle kyseisen pisteen jälkeen? Oleta, että laatikon ja jään välillä ei ole kitkaa.

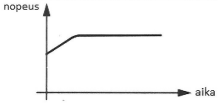
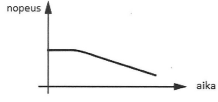
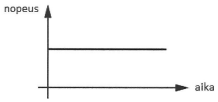
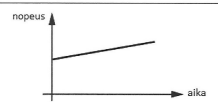
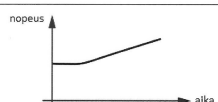


- (a) **Laatikko jatkaa liikkumista vakionopeudella.**
  - (b) Laatikon nopeus pienenee.
  - (c) Laatikko pysähtyy välittömästi.
  - (d) Laatikon nopeus kasvaa.
9. Mies työntää laatikkoa jäätä pitkin kasvavalla voimalla. Mikä seuraavista kuvaa tilannetta parhaiten? Oleta, että laatikon ja jään välillä ei ole kitkaa.
- (a) Laatikon nopeus on vakio.
  - (b) Laatikon nopeus kasvaa vakiokiihtyvyydellä.
  - (c) **Laatikon nopeus kasvaa kasvavalla kiihtyvyydellä.**
  - (d) Laatikon nopeus pienenee.

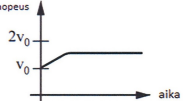
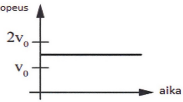

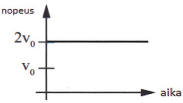
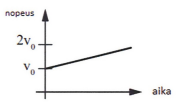
## Liite B Katseenseuraamistestin tehtävät

<p>Nainen työntää laatikkoa vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella voimalla, jolloin laatikko liikkuu horisontaalisen lattian poikki vakionopeudella <math>v_0</math>. Tietyllä hetkellä nainen kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää laatikkoa samalla lattialla. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten laatikon nopeutta voiman muuttamisen jälkeen?</p>	<p>a) Nopeus on hetken vakio ja suurempi kuin <math>v_0</math>, ja muuttuu sitten kasvavaksi.</p>	
	<p>b) Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi.</p>	
	<p>c) Nopeus kasvaa tasaisesti.</p>	
	<p>d) Nopeus on vakio ja kaksinkertainen nopeuteen <math>v_0</math> nähden.</p>	
	<p>e) Nopeus on vakio ja suurempi kuin <math>v_0</math>, mutta ei kuitenkaan kaksinkertainen.</p>	

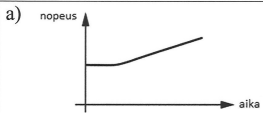
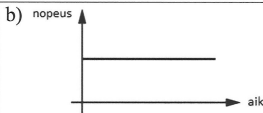
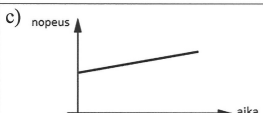
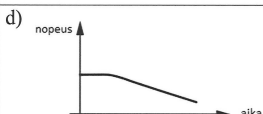
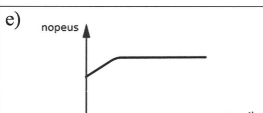
Kuva 1. Tehtävä 1.

<p>Raketti liikkuu ulkoavaruudessa, eikä siihen vaikuta mikään ulkopuolinen voima. Tietyllä hetkellä raketin moottori käynnistetään, jolloin se kohdistaa rakettiin liikkeen suuntaisen vakiovoiman. Hetken kuluttua moottori sammutetaan. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten raketin nopeutta moottorin ollessa käynnissä?</p>	<p>a) Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi.</p>	
	<p>b) Nopeus on hetken vakio ja alkaa sitten pienentyä.</p>	
	<p>c) Nopeus on vakio.</p>	
	<p>d) Nopeus kasvaa tasaisesti.</p>	
	<p>e) Nopeus on hetken vakio ja muuttuu sitten kasvavaksi.</p>	

Kuva 2. Tehtävä 2.

<p>Mies työntää ostoskärryjä vaakasuoralla lattialla lattian suuntaisella vakiovoimalla, jolloin ostoskärryt liikkuvat horisontaalisen lattian poikki vakionopeudella <math>v_0</math>. Tietyllä hetkellä mies kaksinkertaistaa voiman, jolla hän työntää ostoskärryjä samalla lattialla. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten ostoskärryjen nopeutta voiman muuttamisen jälkeen?</p>	<p>a) nopeus</p> 	<p>Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi.</p>
	<p>b) nopeus</p> 	<p>Nopeus on vakio ja suurempi kuin <math>v_0</math>, mutta ei kuitenkaan kaksinkertainen.</p>
	<p>c) nopeus</p> 	<p>Nopeus on hetken vakio ja suurempi kuin <math>v_0</math>, ja muuttuu sitten kasvavaksi.</p>
	<p>d) nopeus</p> 	<p>Nopeus on vakio ja kaksinkertainen nopeuteen <math>v_0</math> nähden.</p>
	<p>e) nopeus</p> 	<p>Nopeus kasvaa tasaisesti.</p>

Kuva 3. Tehtävä 3.

<p>Maglev-juna liikkuu hitaasti vakionopeudella pitkällä vaakasuoralla suoralla radalla. Koska juna kelluu magneettien päällä, voit ajatella, ettei siihen kohdistu kitka- eikä ilmavastusvoimia. Tietyllä hetkellä junan moottori käynnistetään, jolloin se kohdistaa junaan liikkeen suuntaisen vakiovoiman. Hetken kuluttua moottori sammutetaan. Mikä vaihtoehdoista kuvaa parhaiten junan nopeutta moottorin ollessa käynnissä?</p>	<p>a)</p>  <p>Nopeus on hetken vakio ja muuttuu sitten kasvavaksi.</p>
	<p>b)</p>  <p>Nopeus on vakio.</p>
	<p>c)</p>  <p>Nopeus kasvaa tasaisesti.</p>
	<p>d)</p>  <p>Nopeus on hetken vakio ja alkaa sitten pienentyä.</p>
	<p>e)</p>  <p>Nopeus kasvaa hetken ja muuttuu sitten vakioksi.</p>

Kuva 4. Tehtävä 4.



## Liite D Oppilaiden vastaukset alkutestiin

Oppilas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yht.
A (9)	x	x	x		x	x	x	x	x	8
B (3)	x		x		x	x	x	x	x	7
C	x	x	x		x	x	x	x		7
D (7)	x	x	x		x		x	x	x	7
E (5)	x	x	x	x			x		x	6
F	x		x		x	x		x	x	6
G					x	x	x	x	x	5
H (6)	x				x	x		x	x	5
I	x	x			x	x			x	5
J (2)	x	x	x	x				x		5
K	x				x	x		x		4
L (1)					x	x		x	x	4
M			x			x		x	x	4
N	x	x					x	x		4
O						x		x	x	3
P	x			x				x		3
Q	x				x				x	3
R	x							x	x	3
S (4)	x					x		x		3
T (8)						x				1

Katseenseuraamistestiin ja haastatteluun valitut on merkitty harmaalla. Kirjaintunnuksen perässä on katseentunnistustestissä käytetty numerotunnus. Oppilaan 9 katseentunnistusdata jouduttiin hylkäämään.

## Liite E Oppilaiden vastaukset kyselylomakkeeseen

Oppilas	K1	K2	K3	K4
1	3	4	4	1
2	4	3	4	2
3	2	3	4	2
4	2	2	1	4
5	2	2	3	3
6	2	3	3	3
7	2	2	3	3
8	2	3	3	3

Jokainen oppilas oli lukenut lukion fysiikasta kurssit 1 ja 2.

## Liite F Oppilaiden valitsemat, vaihtoehtoiset ja vääräksi nimeämät vaihtoehdot

Tehtävä	1		2		3		4	
	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä
1	D	C	D	BE	D	E	C	BE
2	E	B	A	D	B	E	E	AC
3	B	-	D	AC	A	C	C	E
4	D	B	A	C	A	-	B	-
5	D	C,B	D	A	E	AD	C	-
6	B	D	C	B	A	D	B	D
7	D	C	C	-	D	C	B	C
8	D	-	B	E	A	D	D	-

Tehtävä	1		2		3		4	
	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä	Vastaus	Väärä
1	2v0	i	i	i-c, c	2v0	i	i	c, i-c
2	<2v0	i-c	i-c	i	<2v0	i	i-c	c-i, i
3	i-c	-	i	i-c, c	i-c	c-i	i	i-c
4	2v0	i, 2v0, <2v0	i-c	c	i-c	-	c	-
5	2v0	i, i-c	i	i-c	i	i-c, 2v0	i	-
6	i-c	2v0	c	c-d	i-c	2v0	c	c-d
7	2v0	i	c (myöh. i)	-	2v0	c-i	c	i
8	2v0	-	c-d	-	i-c	2v0	c-d	-

väärin  
lähes oikein  
oikein

Ensimmäisessä taulukossa vastaukset on merkitty tehtäviä vastaavin kirjaimin.

Toisessa taulukossa vastaukset on merkitty vaihtoehtojen sisältöjen mukaisiin lyhentein.

i = tasaisesti nouseva

c = vakio

c+i = ensin vakio ja sitten nouseva

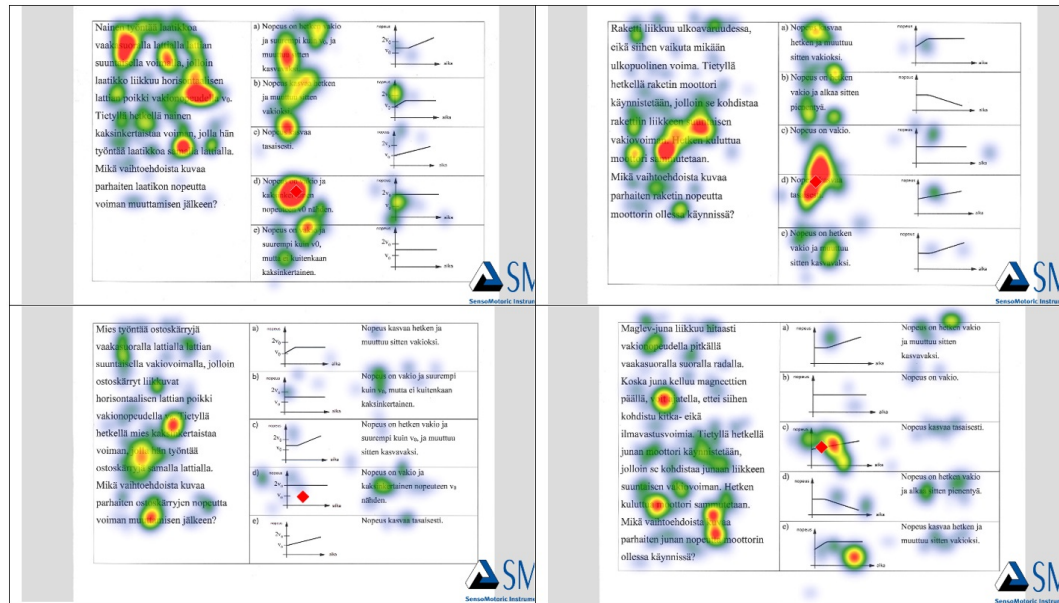
i+c = ensin nouseva ja sitten vakio

2v0 = vakio ja kaksinkertainen alkuperäiseen nopeuteen nähden

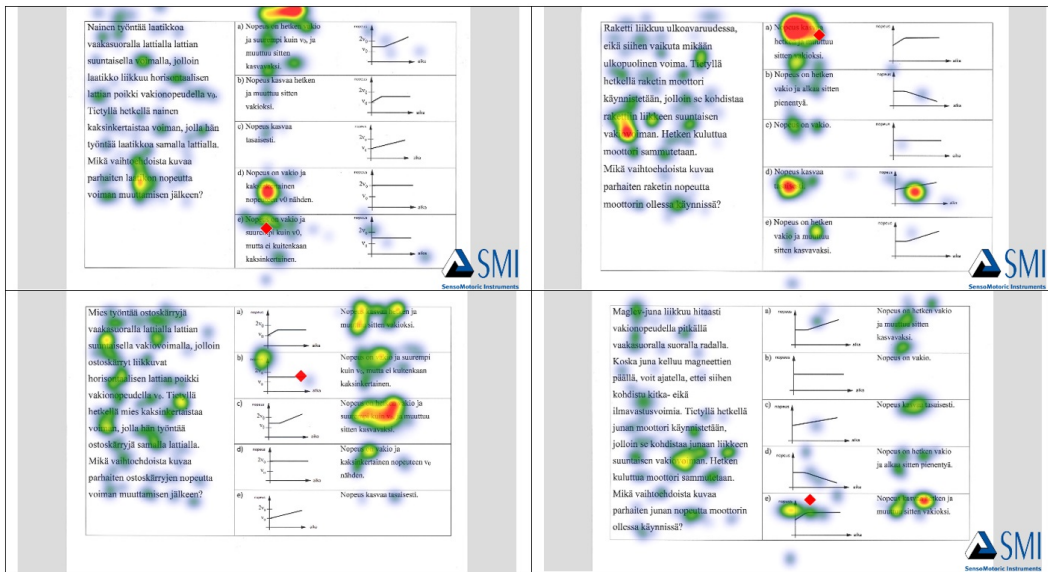
<2v0 = vakio ja enemmän kun alkuperäinen, mutta vähemmän kuin kaksinkertainen alkuperäinen nopeus



## Liite G Lämpökartat



Kuva 1. Oppilaan 1 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



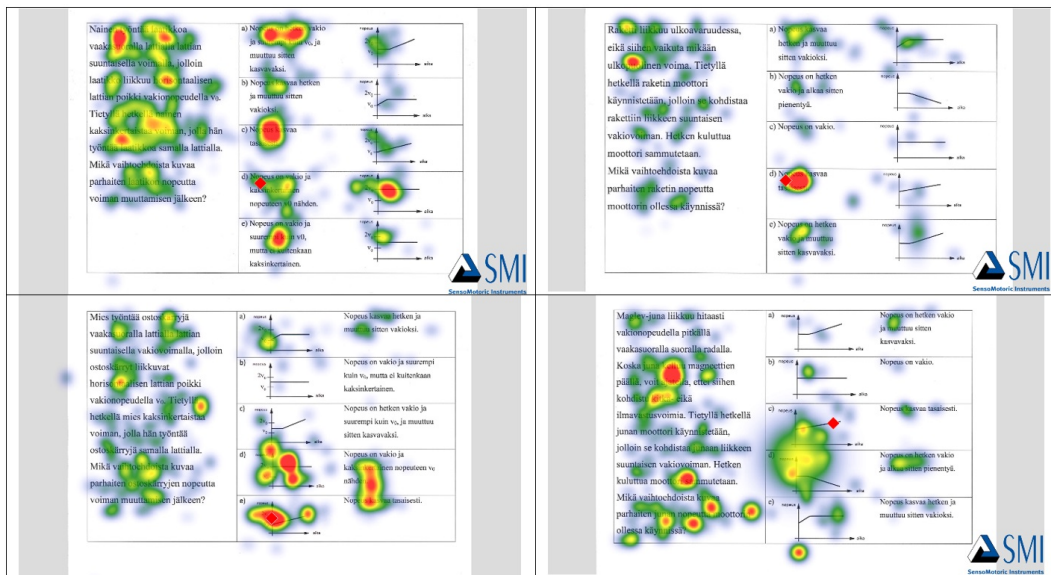
Kuva 2. Oppilaan 2 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



Kuva 3. Oppilaan 3 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



Kuva 4. Oppilaan 4 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



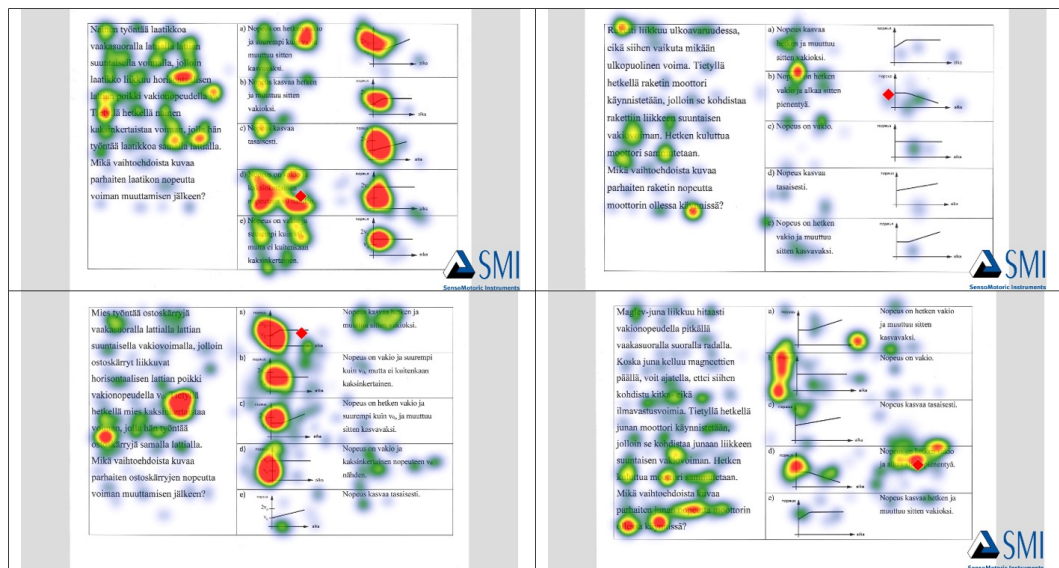
Kuva 5. Oppilaan 5 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



Kuva 6. Oppilaan 6 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



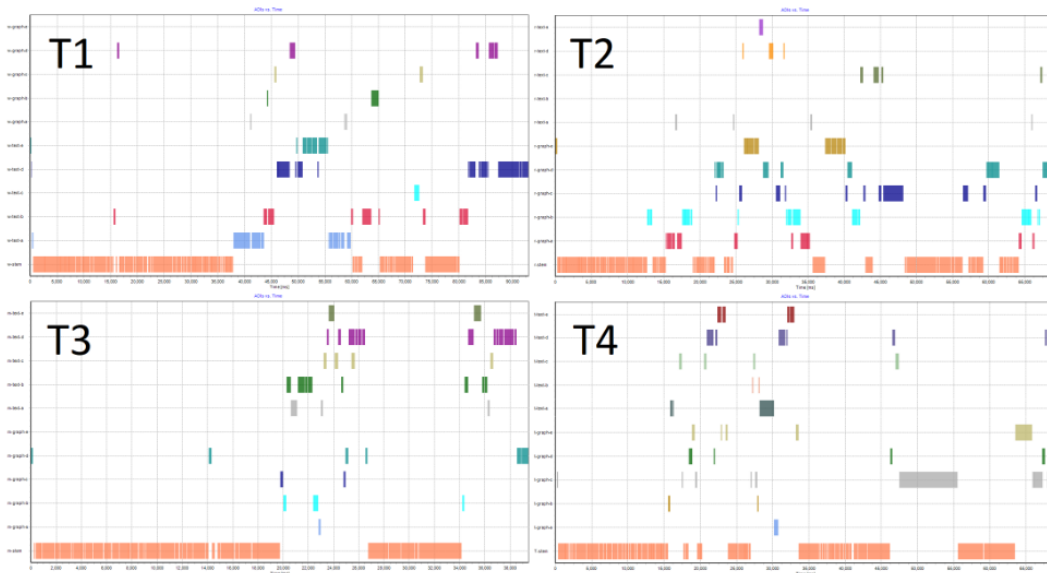
Kuva 7. Oppilaan 7 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.



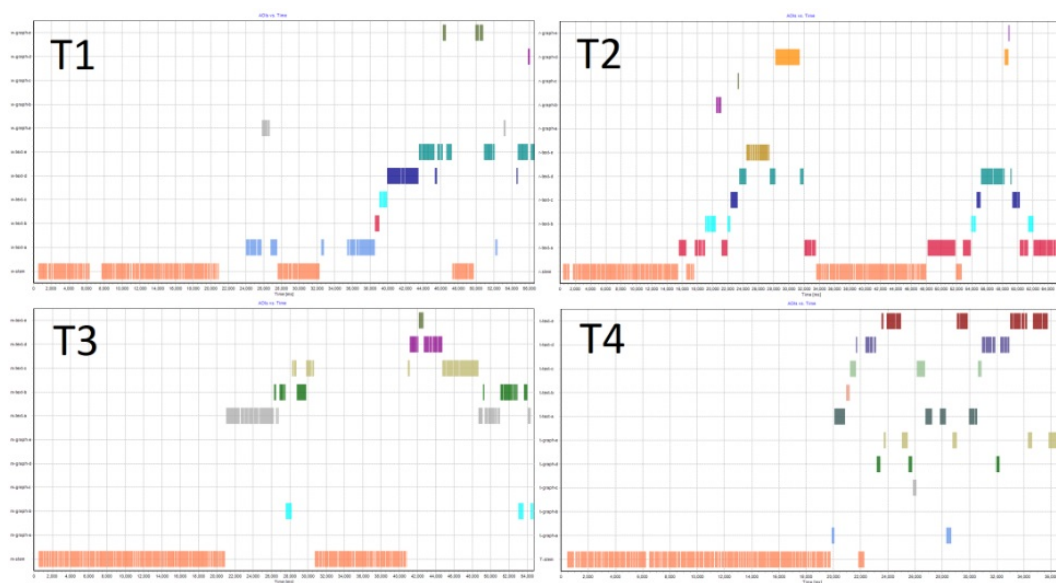
Kuva 8. Oppilaan 8 lämpökartat: ylhäällä tehtävät 1 ja 2 sekä alhaalla tehtävät 3 ja 4.

## Liite H Aika–AOI -kuvaajat

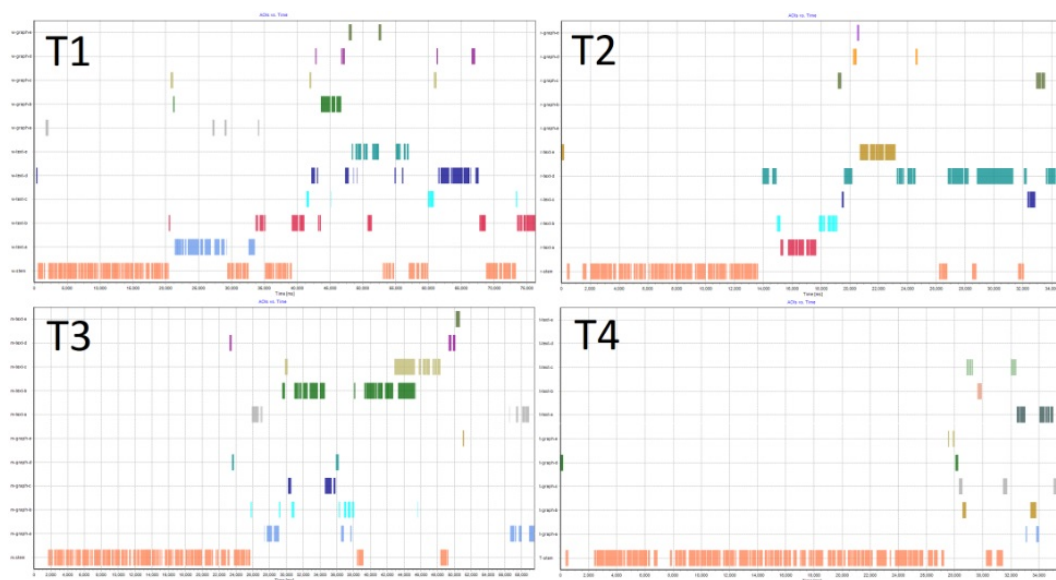
Kaikissa tehtävissä alimpana pystyakselilla on tehtävänanto. Heti ehtävänannon yläpuolella olevat viisi riviä vastaavat tehtävissä 1 ja 2 vaihtoehtojen tekstirepresentaatioita järjestyksessä a-e alhaalta lukien ja ylimmät viisi riviä kuvaajarepresentaatioita järjestyksessä a-e alhaalta lukien. Tehtävissä 3 ja 4 teksti- ja kuvaajarepresentaatiot ovat toisin päin, mutta vaihtoehtojen järjestys on sama.



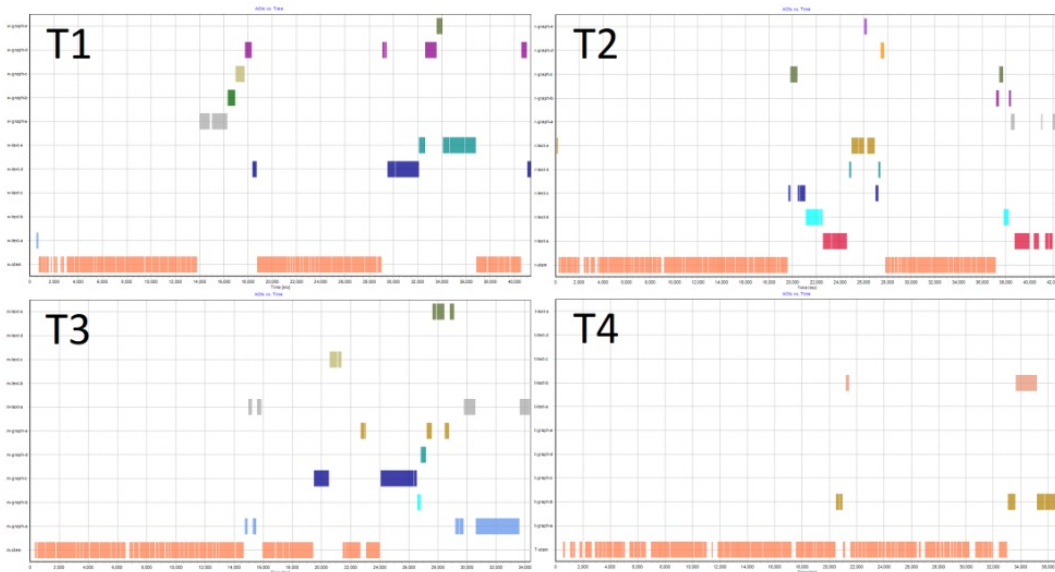
Kuva 1. Oppilaan 1 aika–AOI -kuvaajat.



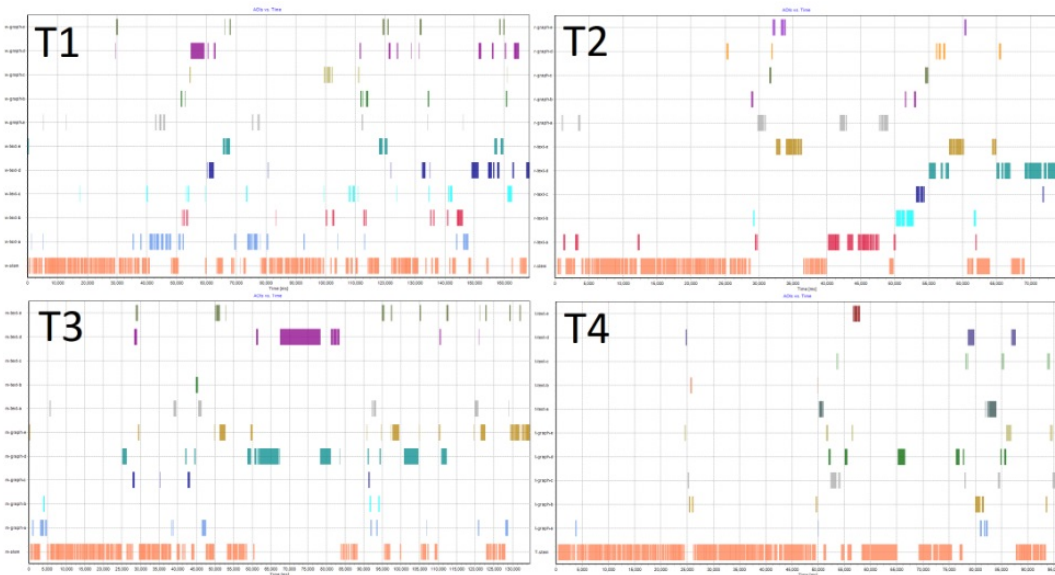
Kuva 2. Oppilaan 2 aika-AOI -kuvaajat.



Kuva 3. Oppilaan 3 aika-AOI -kuvaajat.

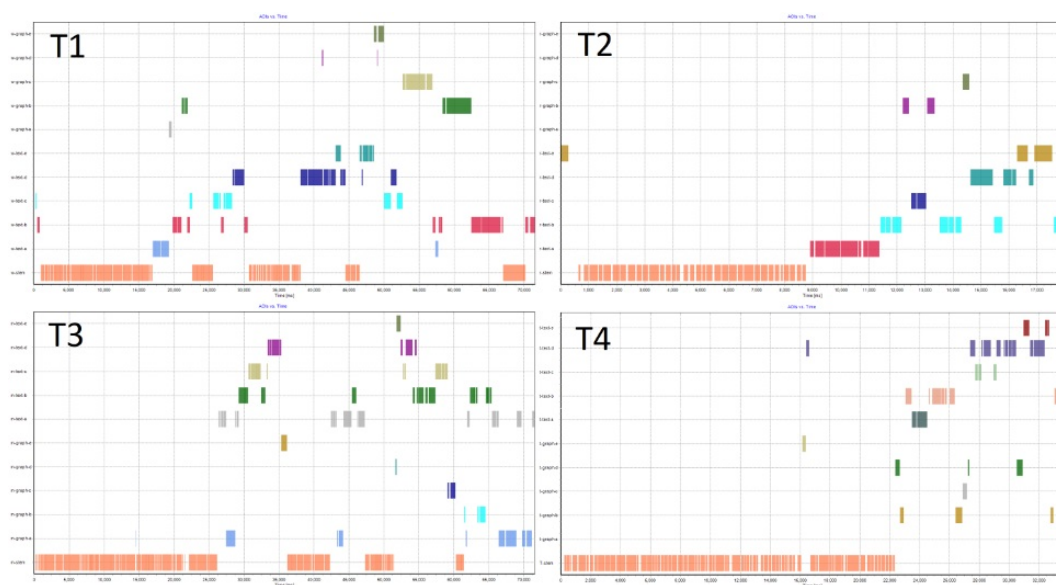


Kuva 4. Oppilaan 4 aika-AOI -kuvaajat.



Kuva 5. Oppilaan 5 aika-AOI -kuvaajat.

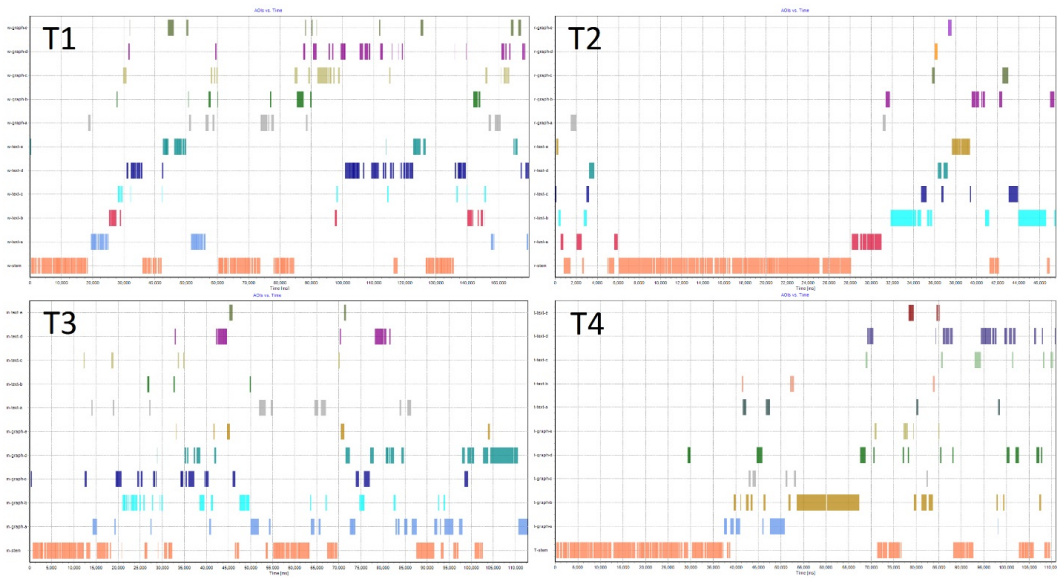




Kuva 6. Oppilaan 6 aika-AOI -kuvaajat.



Kuva 7. Oppilaan 7 aika-AOI -kuvaajat.



Kuva 8. Oppilaan 8 aika-AOI -kuvaajat.