

Silmänliiketutkimus oppilaiden virhekäsityksistä kinematiikan kuvaajissa

Pro gradu –Tutkielma, 05.12.2018

Tekijä:

Valtteri Vuorinen

Ohjaaja:

Jouni Viiri, Jarkko Hautala

Jyväskylän yliopisto

Fysiikan laitos

Tiivistelmä

Fysiikan opetuksessa käytetään usein kuvaajia opetuksen tukena. Kuvaajien tulkintataidot eivät kuitenkaan ole oppilaille itsestäänselvyys vaan monilla esiintyy virhekäsityksiä. Nämä virhekäsitykset ohjaavat oppilaan käytöstä, kun hän tulkitsee kuvaajaa. Monesti ne saavat oppilaan ymmärtämään tai ratkaisemaan tehtävän väärin.

Tässä tutkimuksessa määritettiin virhekäsitysten esiintymistä lukion toisen vuoden opiskelijoiden, kun he työstävät kinematiikan kuvaajia tietokoneella. Tehtävät perustuivat TUG-K tehtäväpatterin uusimpaan versioon [3] ja mittaukset suoritettiin käyttämällä SMI RED250mobile [8] silmänliikekameraa. Kaikkiaan 35 oppilasta osallistui mittauksiin eräässä keski-suomalaisessa lukiossa. Mittaukset suoritettiin kahdessa ryhmässä siten, että eri ryhmien tehtäväjärjestys oli muutettu, jotta voitiin tuottaa lisää tietoa virhekäsitysten esiintymisestä. Saatu data analysoitiin kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti.

Kvantitatiivinen analyysi suoritettiin laskemalla vastausprosentit ja vastausmäärien Khiin-neliötestien tulokset. Lisäksi analysoitaviin kuviin muodostettiin mielenkiinnon alueet (area of interest), jotka tukivat virhekäsitysten tai oikeiden tulkintatapojen ohjaamia katselykäytöksen malleja. Alueet analysoitiin tilastollisesti käyttäen Poissonin jakaumaa. Kvalitatiivinen analyysi suoritettiin muodostamalla datasta lämpökarttoja, joiden avulla tutkittiin oppilaiden katselukäyttäytymistä. Kvalitatiivisellä analyysillä tutkittiin lisäksi oppilaiden virhekäsitysten esiintymisen johdonmukaisuutta.

Tutkimuksessa huomattiin, että tehtävien tekojärjestyksellä on huomattava vaikutus virhekäsitysten esiintymiseen. Lisäksi nähtiin, että virhekäsitysten mukainen katselukäytös johtaa väärin vastauksiin. Suurin osa oppilaista oli johdonmukainen oman vastauksikäyttäytymisensä suhteen ja lisäksi he olivat tietoisia omasta käytöksestään.

Abstract

Graphs are often used as support in teaching physics but not all students have the skills to use them. Instead, many students display misinterpretations when studying graphs. These misinterpretations direct the behavior of the student learning from graphs and in many cases lead to misunderstandings and faulty problem solving.

In this study, misinterpretations of second year upper secondary school students were noted as they were solving kinematic assignments with graphs on a computer. The assignments were based on TUG-K tests [3] newest version and the measurements were taken using SMI RED250mobile [8] eye movement camera. In total 35 students participated in the measurements which were taken in an average upper secondary school in the middle of Finland. Students were divided into two groups so that the order of questions was different for each group. This was done in order to get more information on the appearance of misinterpretations. The data collected was analysed both quantitatively and qualitatively.

The quantitative analysis was performed by calculating the amounts of right answers and by using the chi-squared test for those amounts. In addition, areas of interest were formed for the graphs. Some areas were crucial for using misinterpretations and some for correct problem solving. The areas were statistically analysed using Poisson distribution. Qualitative analysis was performed by producing heat maps from the data, and using those maps to study eye movement behavior. Consistency of students' answers was also studied qualitatively.

It was noticed that the order of questions had a significant effect on the appearance of misinterpretations. Additionally it was seen that the use of misinterpretations lead to incorrect answers. Most students were consistent with their behavior and were conscious of their methods.

Esipuhe

Haluan kiittää ohjaajaani Jouni Viiriä kärsivällisyydestä työtäni kohtaan. Hänen apunsa myötä tämä tutkimus tuli ylipäänsä valmiiksi. Lisäksi suuri kiitos kuuluu Jarkko Hautalalle, jota ilman laitteiston käyttö ja tilastollinen analyysi olisi saattanut muodostua ylipääsemättömäksi esteeksi.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Abstract.....	3
Esipuhe.....	4
Sisällysluettelo	5
1 Johdanto	7
2 Tausta.....	8
2.1 Silmänliiketutkimus	8
2.1.1 Laitteisto ja silmän toiminta	8
2.1.2 Tutkimusdatan analysointimenetelmät	9
2.2 Kuvaajat opetuksen tukena.....	13
2.3 Kuvaajien erityispiirteet fysiikan opetuksessa	14
2.4 Aikaisempia tutkimuksia aiheesta	17
2.4.1 TUG-K.....	17
2.4.2 Käsitteellisen ymmärryksen kehitys	18
2.4.3 Motivaation merkitys katselukäyttäytymiseen	19
2.3.4 Taustatiedon vaikutus katselukäyttäytymiseen	19
2.3.5 Katselukäyttäytymisen ero hyvin tai huonosti menestyvien oppilaiden välillä	20
3 Tutkimuskysymykset	21
4 Tutkimusmenetelmät.....	22
4.1 Tehtäväpatterin suunnittelu	22
4.2 Datan kerääminen.....	24
4.3 Datan analysointi.....	26
5 Tulokset.....	29
5.1 Oikeiden vastausten määrät.....	29
5.2 Kulmakerroin/korkeus -sekaannuksen analysointi.....	31
5.3 Kulmakerroin/korkeus -sekaannuksen analysointi lämpökartoista.....	32
5.4 AOI -analyysi	40
5.4.1 AOI -kentät	40
5.4.2 Katseluajat ja katselukerrat AOI -kentissä	43
5.5 Oppilaiden johdonmukaisuus.....	48
6 Johtopäätökset.....	50
6.1 Mitä havaintoja on saatavilla Beichnerin kulmakerroin/korkeus –sekaannus virhekäsityksestä uuden TUG-K testin tehtävien avulla?	50

6.2 Miten tehtäväjärjestys vaikuttaa virhekäsityksien esiintymiseen?.....	51
6.3 Kuinka oppilaiden ajankäyttö tehtävien osien välillä vastaa heidän vastauksien oikeellisuutta?.....	52
6.4 Miten johdonmukaisia oppilaat ovat vastauksissaan ja kuinka tietoisia he käyttäytymisestään ovat?.....	52
6.5 Tulevat tutkimukset.....	53
6.6 Luotettavuuden arviointi	53
Lähdeluettelo.....	55
Liitteet	57
Liite A: Esitietolomake	57
Liite B: Monivalintatestin tehtävät.....	59
Liite C: Koehenkilöiden vastaukset	65
Liite D Tehtävien 5, 5M, 18 ja 18M kumulatiiviset lämpökartat	71
Liite E: Tilastollinen analyysi katselukerroista kulmakerroin ja pistemäisen AOI -kentän ruutuihin	91
Kulmakerroin tulkinta -kentän data	91
Pistearvo tulkinta -kentän data	95

1 Johdanto

Fysiikan ilmiöt ovat monimuotoisia ja niiden opettaminen koululaisille vaatii sen takia erilaisia representaatioita (= asia tai tapahtuma, joka kuvaa jotain muuta), jotta ilmiöitä voidaan kuvata ymmärrettävällä tavalla. Opettajat käyttävät mm. kirjoitettua tekstiä, kaavoja, havainnollistavia kokeita, animoituja esityksiä ja kuvaajia esittääkseen oppilailleen tietoa. Erityisesti kuvaajien käyttö on suosittua, koska niillä voidaan tiivistää tietoa pieneen tilaan ja havainnollistaa yhteyksiä, joiden kirjallinen ilmaisu voisi olla pitkälistä.

Vaikka kuvaajia käytetään paljon opetuksen tukena, liittyy niiden tulkintaan paljon väärinkäsityksiä, joita Beichner [2] on kartoittanut kinematiikan kuvaajien suhteen kehittämällään testillä TUG-K. Testin tarkoitus on kartoittaa oppilaiden ajatuksia ilmiöistä (Force Concept Inventory [17]) ja niistä väärinkäsityksistä, joita he tekevät kuvaajia tulkitessa.

Beichnerin kehittämästä testistä rakennettiin uusi parempi versio vuonna 2017 [3]. Tämän tutkimuksen tarkoitus on määrittää mitä uutta tietoa virhekäsityksistä voidaan saada testin uuden version avulla ja kuinka erilaiset kuvaajien representaatiot vaikuttavat oppilaiden vastauksiin.

Tutkimus suoritettiin katseenseurantatutkimuksena käyttäen silmänliikekameraa SMI RED250mobile [8], joka toimii lähettämällä infrapunapulsseja ja mittamaalla niiden takaisinheijastusta. Saatua dataa analysoitiin Begaze-ohjelmistolla, generoimalla lämpökartoja (heatmap) ja analysoimalla kiinnostusalueita (AOI). [1]

Tulokseksi saatiin, että virhekäsityksistä on selkeitä todisteita. Todisteet ovat nähtävissä niin vastausprosentteissa, tehtävistä piirretyissä lämpökartoissa, lämpökarttojen tilastollisessa analyysissä kuin vastausten johdonmukaisuuden analyysissä. Yllätyksenä tuli lisäksi, että tehtäväjärjestyksellä on merkittävä vaikutus virhekäsitysten esiintymiseen.

Silmänliiketutkimusta on käytetty fysiikan opetuksen tutkimisen tukena aiemminkin mm. Isoniemen *Katseenseurantatutkimus representaation vaikutuksesta kykyyn ratkaista fysiikan ongelmia* [1], Han, Chen, Fu, Fritchman ja Baon *Eye-tracking of visual attention in web-based assessment using the Force Concept Inventory* [5] sekä Madsen, Larson, Loschky ja Rebellon *Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems* [6] toimesta. (Ks myös [7, 9 - 12]) Näiden tulosten ja tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että osalla oppilaista esiintyy selkeästi virhekäsityksiä.

Oppilaiden virhekäsitykset voidaan havaita sekä tutkimalla vastauksia tilastollisesti että muodostamalla yksittäisistä vastauksista lämpökartoja havainnollistamaan oppilaiden silmien liikettä. Suurin osa oppilaista on johdonmukaisia virhekäsityksiensä suhteen, mutta osalle ei ole muodostunut selkeää vastustapaa tehtäviin. Virhekäsitykset ohjaavat selkeästi oppilaiden katselukäyttäytymistä, mikä nähdään lämpökartoista muodostettujen mielenkiinnon alueiden katselumäärien tilastollisesta analyysistä.

2 Tausta

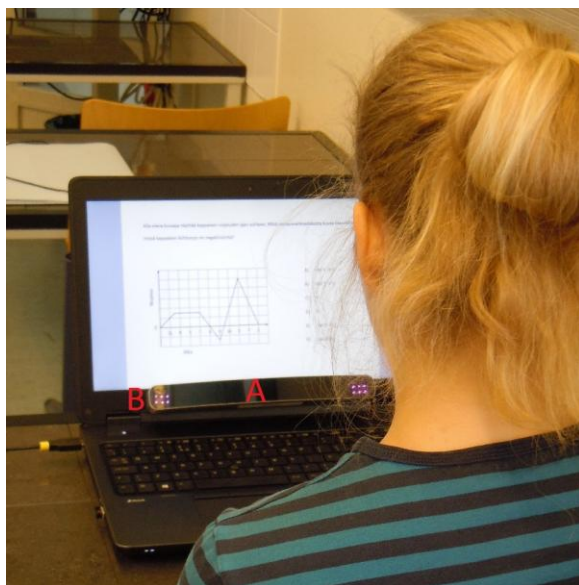
Tämän silmänliiketutkimuksen tarkoitus on kartoittaa tutkittavan henkilön sisäisiä ajatusprosesseja hänen ratkaistessa ongelmia katsomalla kuvaajia kannettavan tietokoneen näytöltä. Ajatusprosessien analysointi perustuu ajatukseen, jonka mukaan ihmisen katse on siinä visuaalisessa stimulantissa (kuvan kohdassa), mitä hän milläkin hetkellä käyttää ajattelun tukena. [1] Näin ollen tutkimuksen ymmärrystä varten täytyy käydä läpi silmänliiketutkimukset perusteet, miten kuvaajia voidaan käyttää opetuksen tukena ja mitä erityispiirteitä kuvaajien soveltamisessa on fysiikan opetuksessa. Perehdytään myös aiempaan tutkimukseen aiheesta.

2.1 Silmänliiketutkimus

Tässä luvussa käsitellään silmänliiketutkimuksessa käytettävää termistöä ja perusperiaatteita. Käytännössä käydään lyhyesti läpi ihmisen silmän toiminta ja tutustutaan tutkimuksessa käytettyyn laitteistoon sekä laitteistosta saatavan datan analysointimenetelmiin.

2.1.1 Laitteisto ja silmän toiminta

Tässä tutkimuksessa käytetään silmänliikekameraa (ks. Kuva 1, A), joka lähettää infrapunapulsseja laitteiston reunasta (ks. Kuva 1, B) kohti testiä tekevän henkilön silmiä. Silmistä pulssi heijastuu takaisin ja valaisee pupillin, jolloin silmänliikekamera ottaa valokuvan ja laskee siitä katseen sijainnin. Tämä ei ole ainoa menetelmä saada tietoa silmän liikkeistä, mutta se on tähän tutkimukseen soveltuvin, koska se vaatii vähiten vaivaa testiin osallistuvalla. Muista menetelmistä voi etsiä tietoa Duchkowskyn toimittamasta kirjasta *Eye Tracking Methodology* [14].



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetty mittauslaitteisto

Kuten Isoniemi toteaa tutkimuksessaan [1], ihmisen silmä toimii linssin ja verkkokalvon avulla. Kun havainnoitavasta kohteesta tuleva valo kohtaa silmän, sen linssi taittaa saapuvan valon verkkokalvon tarkan näön alueelle. Vaikka ihmisen näköalue on 220 astetta, kykenee silmä tarkentamaan katseen noin 1-2 asteen tarkan näön alueeseen, mitä kutsutaan foveaksi. Fovean ulkopuolinen alue näkökentässä on epätarkka, mutta kykenevä havaitsemaan liikettä ja kontrastieroja. Näin ollen aivot prosessoivat koko näköalueen dataa eivätkä ainoastaan foveasta tulevaa informaatiota.

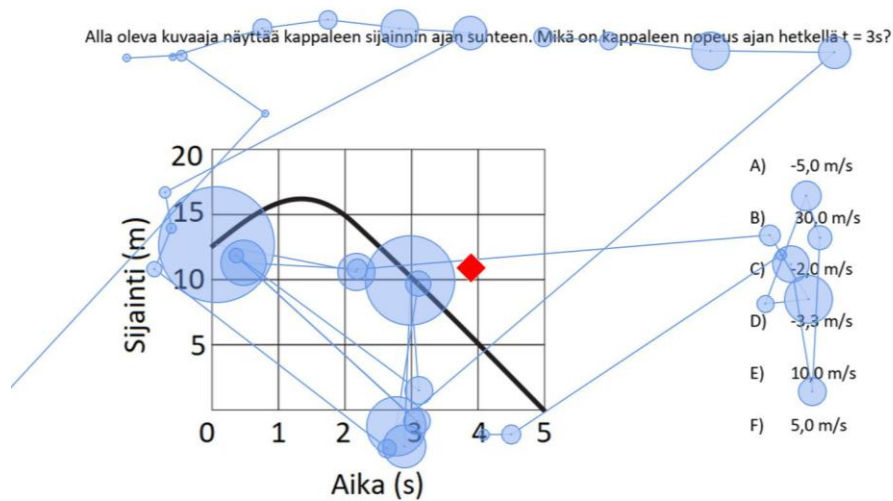
Ihmisen silmä liikkuu melkein jatkuvasti, mutta hänen tarkastellessaan jotain pysähtyy silmä 100 - 600 millisekunnin ajaksi yhteen paikkaan. Tätä kohteeseen tarkentumista kutsutaan fiksaatioksi. Myös fiksaation aikana tapahtuu pieniä silmän liikkeitä edestakaisin, näitä liikkeitä kutsutaan mikrosakkadeiksi. Silmän siirtymä fiksaatiosta toiseen kestää noin 10-100 millisekuntia ja tätä tapahtumaa kutsutaan sakkadiksi. Sakkadin aikana molemmat silmät liikkuvat nopeasti samaan suuntaan ja sen aikana näkeminen on hyvin epätarkkaa, jolloin myös aivojen saama informaatio on hyvin vähäistä. [21]

Tämän tutkimuksen tekoon on käytetty katseentunnistuslaitteistoa SMI RED250mobilea [8], mikä asennettiin kannettavan tietokoneen näytön alle (ks. Kuva 1, A). Kuten aiemmin mainittiin, laitteisto lähettää infrapunasäteitä kohti silmiä, mitkä heijastuvat verkkokalvosta takaisin valaisten pupillin. Laitteisto valokuvaa valaistun pupillin ja määrittää valokuvasta katseen sijainnin sillä hetkellä. Kuten laitteiston ohjekirja kertoo [18], katseen sijainnin lisäksi laitteisto mittaa fiksaatioita, sakkadeja sekä tunnistaa silmäniskuja. Kone tämän jälkeen yhdistää mitatun datan näytöllä näkyviin kuviin. Mittausten toimivuus varmistetaan kalibraatiolla, jossa laitteisto määrittää silmien paikan. Suurin ongelma mittauksissa tulee siitä, että koehenkilön täytyy pitää päänsä mahdollisimman samassa asennossa koko mittauksen ajan. Pään kääntely sekä koehenkilön siirtyminen lähemmäksi tai kauemmaksi saattaa aiheuttaa silmien ”katoamisen” mittalaitteistolle, jolloin dataa ei saada kerättyä. Lisäksi jos laitteisto paikantaa silmät uudestaan ilman kalibraatiota katseen seurannan tarkkuus saattaa kärsiä.

2.1.2 Tutkimusdatan analysointimenetelmät

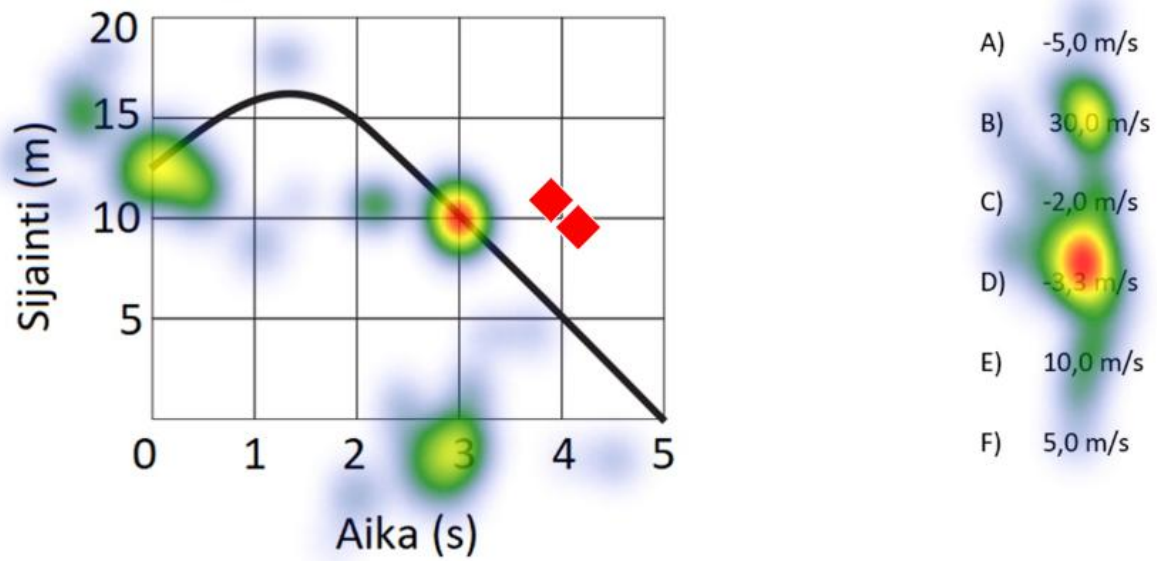
SMI RED250mobilen mukana oleva ohjelmisto (Begaze [19]) antaa useita tapoja analysoida tallennettua seurantadataa. Kuten aiemmin mainittiin, laitteisto mittaa testihenkilön fiksaatiot, sakkadit ja silmäniskut hänen suorittaessaan ohjelmoitua tehtäväpatteria. Lisäksi ohjelmisto kykenee määrittämään fiksaatioiden kestot, lukumäärät ja kattamat alueet. Näiden tietojen avulla analysointiohjelmisto osaa piirtää katsepolkuja (scan path) ja lämpökarttoja (heatmap). Kuviin voidaan lisäksi ohjelmassa määrittää mielenkiinnon alueet (AOI = Area of Interest), joilta mitattua dataa ohjelma osaa sitten käsitellä tarkemmin.

Begazen antamat katsepolut kertovat hetki hetkeltä missä testintekijän katse on ollut näytöllä (ks. Kuva 2). Tästä on helposti nähtävissä jokaista kuvaa kohti fiksaatiot, jotka näkyvät ympyröinä, ja sakkadit, jotka näkyvät viivoina. Tämän datan avulla on mahdollista tehdä päätelmiä testattavan ajatuspolusta seuraamalla missä järjestyksessä testihenkilö käy läpi visuaalisia ärsykyksiä näytöllä. Se katsooko testattava ensin tehtävänantoa, havainnollistavaa kuvaajaa vai vastausvaihtoehtoja kertoo paljon testattavan ajatusprosesseista.



Kuva 2. Mittauksista saatu katsepolku

Silmänliiketutkimuksessa lämpökartoilla tarkoitetaan kuvaa tehtävästä, johon on väreillä piirretty katseen intensiteettialueet tehtävään käytetyn kokonaisajan funktiona (ks. Kuva 3). Käytännössä mittalaitteiston keräämä data fiksaatioista lasketaan yhteen ja määrät sovitetaan värikarttaan siten, että paljon fiksaatioita keränneet alueet näytetään punaisena. Fiksaatioiden vähentyessä väri muuttuu ensin keltaiseksi ja sitten vihreäksi. Lisäksi kuva näyttää hiiren sijainnin tehtävästä eteenpäin siirtymisen hetkellä (punainen timantti). Saatu kuva muistuttaa säätiedotuksen lämpötilakarttaa, josta se on saanut nimensä. Lämpökartan avulla voidaan päätellä mitkä alueet ovat olleet testattavan ajatusprosessin kannalta kaikkein merkittävimmät. Tämä perustuu Justin ja Carpenterin [20] ns. ”mind-eye” hypoteesiin, jonka mukaan ihmisen katse on keskittynyt niille visuaalisille alueille, joita hän on prosessoimassa kognitiivisesti. [7]

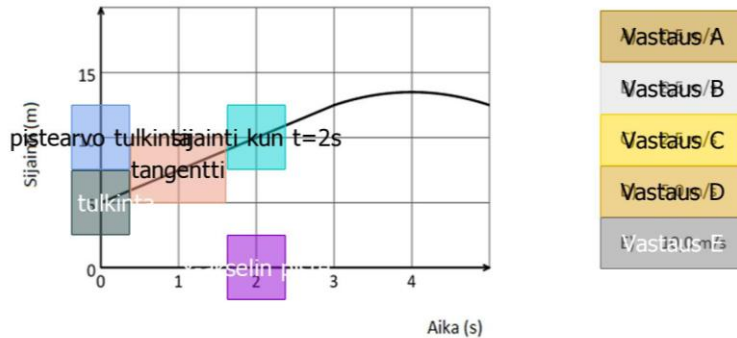


Kuva 3. Tyypillinen lämpökartta testin tehtävästä 8

AOI -kuvilla tarkoitetaan kuvia tehtävistä, joissa tehtävän eri alueet on jaettu ryhmiin teemoittain (ks. Kuva 4). Analyysiohjelma kertoo kuinka paljon kullakin alueella on käytetty aikaa suhteessa tehtävän kokonaiskestoan. Lisäksi ohjelma osaa määrittää fiksaatioiden määrän osa-alueille ja keskiarvoisen katseen keston kyseisillä alueilla. AOI -alueita käytetään, kun halutaan syvällisempää analyysiä tehtävän osista. Ne voidaan jakaa mm. virhekäsityksiä vastaaviin alueisiin, visuaalisesti erottuviin alueisiin tai ratkaisun kannalta tärkeisiin alueisiin. Tässä tutkimuksessa käytetty ohjelmisto antaa määrittää AOI:t jälkikäteen, joten samaa dataa voidaan analysoida useammalla tavalla, sen mukaan mitä tietoa yritetään selvittää. Esimerkkikuvassa 4 on jaettu tehtävä tehtävänantoon ja jokaiselle vastausvaihtoehdolle on annettu oma alueensa. Tällöin voidaan analysoida mm. kuinka paljon aikaan kunkin vaihtoehdon miettimiseen on käytetty.

Tehtävänanto

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ja nopeuden ajan funktiona. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2s$?



Kuva 4. Esimerkki AOI -alueista testin tehtävästä 2

Syy katseenseurannan käyttöön analyysityökaluna tässä tutkimuksessa on sama kuin muissa samanlaisissa tutkimuksissa, joita on viime vuosina tehty. Asiaa on käsitelty yksityiskohtaisesti Lain, M. Tsain, Yangin, Hsun, Liun, S. Leen, M. Leen, Chioun, Liangin ja C. Tsain tutkimuksessa *A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 200-2012* [7]. Tutkimuksessa todetaan, että katseenseurannan hyötynä on vapaus. Testin tekijä ei joudu keskittämään huomiotaan mittausprosessiin, kuten tapahtuu, jos testattava yrittää puhua ajatusprosessiaan ääneen. Lisäksi ihmiset ovat harvoin tietoisia omista ajatusprosesseistaan, jolloin niiden artikuloiminen on huomattavan vaikeaa. On otettava myös huomioon, että katseenseurannalla mittaus tapahtuu tekohetkellä, toisin kuin jos yritetään jälkikäteen hahmottaa ajatusprosesseja kyselemällä testattavalta niistä. Tällöin törmätään siihen, että testattava joko ei muista ajatusprosessejaan tai hänen analyysiään ohjaa se miten hän kuvittelee testin sujuneen.

Edellä mainittujen seikkojen takia katseenseurannasta on muodostunut arvostettu työkalu testintekijöiden ajatusprosessien kulun arvioimisessa, kun he pyrkivät analysoimaan dataa. Sitä voidaan käyttää mm. auttamaan parantamaan koulujen oppimateriaalia, minkä takia katseenseurannasta on muodostunut suosittu työkalu opetusta tutkivien tahojen piirissä. Katseenseurannaa käytetään myös paljon psykologisessa tutkimuksessa, joissa hahmotetaan lukemista, näkymän havainnointia, katseella etsimistä ja kirjoittamista. [7]

2.2 Kuvaajat opetuksen tukena

Tämän luvun tarkoitus on esitellä kuvaajien käyttöä opetuksessa. Seuraavaksi esitellään miksi niitä käytetään, miten niitä käytetään ja mitä ilmiöitä niiden käyttöön liittyy. Lisäksi kuvailaan lyhyesti kuvaajien eri tyyppejä.

Kuvaajia käytetään monesti opetuksen tukena monipuolistamaan tarjolla olevia representaatioita. Kuten Ainsworthin tutkimuksessa *The function of multiple representations* [15] todetaan, esityksen monipuolistamisen lisäksi, kuvaajat ovat hyvä tapa tiivistää tietoa. Sen sijaan, että kirjoitettaisiin kuvaajan sisältämä tieto sanalliseen muotoon tai esitettäisiin se symbolisesti (esim. kaavalla, taulukossa) kuvaaja tarjoaa tiiviin ja havainnollistavan muodon tiedon esittämiseksi. Monessa tapauksessa esitettävä tieto on monotonista, jolloin sen pukeminen kuvaajaksi vähentää toiston määrää ja mahdollistaa halutun tiedon löytämisen melko pienellä vaivalla.

Kuvaajat kykenevät yhdistämään useamman representaation yhteen muodostaen monitasoisen esityksen tiedosta. Kuvaajia katsottaessa onkin olennaista pitää mielessä kuvaajan abstraktiuden taso. Abstraktius tarkoittaa tässä yhteydessä sitä onko kuvaaja lähestulkoon valokuva tilanteesta vai sisältääkö se paljon symbolista tietoa, joka vaatii tulkintaa. Mitä enemmän symbolista tietoa on mukana, sen helpommin ongelmia kuvaajan ymmärtämisessä syntyy. Koska kuvaajat ovat muokattavia, se antaa mahdollisuuden sisällyttää ja poistaa tietoa esityksestä, mikä voi johtaa helpommin tulkittavaan tietoon. Lisäämällä monta representaatiota yhteen voidaan päätyä tilanteeseen jolloin tulkitsija ei kykene näkemään haluttua tietoa. [13]

Usean representaation käytön hyödyllisyyttä ja huomioon otettavia tekijöitä on käsitelty erikseen Ainsworthin tutkimuksessa *DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations* [16]. Ainsworth kirjoittaa, että moni seikka vaikuttaa, kuinka toimiva eri representaatioiden yhdistelmä on tiedon siirrossa. Merkittävimmät tekijät usean representaation esityksissä ovat hänen mukaansa eri representaatioiden määrä, tyypit, järjestys, sekä tiedon jakautuminen ja tuki siirtymiin. Oikein käytettynä monen representaation esitykset ovat suuri tuki oppimiselle, sillä representaatiot täydentävät toistensa puutteita. Tästä esimerkkinä kuvaajan esittäminen kaavan rinnalla auttaa hahmottamaan ilmiön luonnetta. Opettajan on kuitenkin valittava kuvaajat huolella, ettei tiedon määrä kuormita oppilasta liikaa tai johda väärinymmärrysten kehittymiseen

On huomioitavaa, että säätelemällä kuvaajassa esiintyviä muotoja ja värejä voidaan katsojan huomiota ohjata kohti haluttuja johtopäätöksiä. Näin ollen, kun kuvaajat ovat opetuksen tukena, täytyy ottaa huomioon sen osien visuaalinen ärsytys. Erityisesti aiheeseen perehtymättömämpiä katsojien kohdalla visuaaliset ärsykkeet ohjaavat katsetta paljon. Jos katsoja on jo hyvin perehtynyt aiheeseen ja kuvaajien tulkintaan, hän osaa erotella olennaisen tiedon kuvaajasta riippumatta visuaalisista ärsykkeistä. Voidaan siis sanoa, että katsojan edeltävä tieto ohjaa tulkintaa. [13]

Koska kuvaajat ovat geometrisiä rakennelmia, on katsojan avaruudellisella hahmotuskyvyllä eli ns. tila-ajattelulla suuri merkitys. Kozhevnikov, Motes ja Hegarty ovat tutkineet tila-ajattelua artikkelissaan *Spatial Visualization in Physics Problem Solving* [10]. Artikkelissa esitetään, että paremman avaruudellisen hahmotuskyvyn omaavat katsojat ovat

taipuvaisempia ymmärtämään kuvaajia. Tällöin hahmotuskyky on vain osittain riippuvainen katsojan perehtyneisyydestä aiheeseen. Sen sijaan heikomman hahmotuskyvyn omaavat katsojat monesti tulkitsevat kuvaajia kuin valokuvia tiivistetyn informaation sijaan.

2.3 Kuvaajien erityispiirteet fysiikan opetuksessa

Tässä luvussa perehdytään kuvaajien käyttöön fysiikan opetuksessa. Seuraavaksi perehdytään mitä erityispiirteitä on havaittavissa fysiikan ilmiöitä esittävissä kuvaajissa. Lisäksi käydään läpi virhekäsityksiä kuvaajien tulkinnassa ja keskitytään erityisesti kinematiikan kuvaajiin, jotka ovat myös tämän tutkimuksen aiheena. Virhekäsitysten yhteydessä esitellään myös TUG-K testi, mikä on tämän tutkimuksen pohjana.

Kuten luvussa 2.2 todettiin, kuvaajat ovat mainioita työkaluja tiivistämään tietoa ilmiöstä käsiteltävään muotoon. Monet fysiikan ilmiöt ovat tyypiltään sellaisia, että niitä ei voida ymmärtää pelkästään näkemällä. Tämä voi johtua mm. ilmiön koosta tai sen tapahtumanopeudesta. Lisäksi joitain ilmiöitä on vaikea kuvailla sanallisesti tai puhtaasti yhtälöillä. Tällöin kuvaajien käyttäminen tiedon esittämisessä muodostuu olennaiseksi kanavaksi tiedonvälitykselle. Kuvaajien tulkinta ja analysointi fysiikassa ei ole kuitenkaan oppilaille aina helppoa, vaan heille muodostuu virhekäsityksiä tulkintatavoista ja kuvaajien ominaisuuksista. [2]

Virheellisiä ajattelumalleja on useita ja niitä on tutkittu Beichnerin tutkimuksessa *Testing student interpretation of kinematics graphs* [2]. Tutkimuksessa on selvitetty fysiikan oppilaiden virhekäsityksiä kinematiikan kuvaajien tulkinnassa käyttämällä testiä, jolle Beicner on antanut nimeksi TUG-K (Test for Understanding Graphs – Kinematics). Tutkimuksen tulokset (yliopisto-opiskelijoilla esiintyneet virhekäsitykset) on esitetty taulukossa 1. Tutkimuksessa todetaan lisäksi oikeiden vastausten keskiarvon 40 % olevan äärimmäisen vähän, kun otetaan huomioon, että testin tekijät saivat etukäteen opetusta kinematiikasta. Pieni prosentti kertoo virhekäsitysten suuresta määrästä.

Taulukko 1. Kuvaajien virhekäsityksen tyypit [2]

Virhetyyppi:	Selitys
Kuvaaja kuin valokuva	Kuvaajan ajatellaan olevan valokuva tilanteesta eli konkreettinen toisto tilanteen liikkeestä, eikä abstrakti matemaattinen esitys.
Kulmakerroin/korkeus -sekaannus	Oppilaat usein lukevat arvoja suoraan akseleilta ja asettavat ne kulmakeroimeksi.
Muuttuja-sekaannus	Oppilaat eivät erottele etäisyyden, nopeuden ja kiihtyvyyden välillä. He uskovat näitä muuttujia omaavat kuvaajat kaikki identtisiksi ja ajattelevat, että akseleiden muuttujien vaihto ei muuta kuvaajaa muuten.
Origon kautta kulkemattoman suoran virheet	Oppilaat monesti määrittävät oikein nollan kautta kulkevien suorien kulmakertoimet, mutta eivät osaa määrittää kulmakerrointa käyrälle tai sitä vastaavalle tangentille, kun se ei leikkaa origoa.
Tietämättömyys pinta-alasta	Oppilaat eivät ymmärrä tai tunnista käyrän alle jäävän pinta-alan merkitystä.
Pinta-ala/kulmakerroin/korkeus -sekaannus	Oppilaat laskevat usein käyrän kulmakertoimia, kun heidän tulisi määrittää käyrän alle jäävää pinta-alaa.

Kuvaajien tulkintataitojen lisäksi fysiikan oppilaiden kykyyn ratkaista kinematiikan tehtäviä kuvaajista vaikuttaa luonnollisesti oppilaiden taidot kinematiikassa. Jokaisella ihmisellä on arkinen käsitys siitä miten maailma toimii ja kuinka asiat vaikuttavat toisiinsa. Asiaan on perehdytty tarkemmin Hestenesin, Wellsin ja Swackhamerin artikkelissa *Force Concept Inventory* [17]. Artikkelissa todetaan arkipäiväisten käsitysten olevan usein ristiriidassa Newtonin lakien kanssa. Näitä ristiriitoja voidaan pitää käsitteellisinä virhekäsityksinä. Ikävä kyllä virheelliset käsitykset eivät näytä muuttuvan kinematiikan opetuksesta huolimatta, vaan oppilaat opettelevat aihetta käsittelevän tiedon ulkoa. Hestenesin ym. tekstissä on kuvattu testi (FCI), jonka tarkoitus on kartoittaa oppilaiden virhekäsityksiä mekaniikan opetuksessa. Testillä pyritään vertaamaan oppilaiden käsityksiä newtonilaiseen käsitykseen voimasta ja liikkeestä ja testin avulla tehdyn tutkimuksen tulokset kinematiikan osalta on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Kinematiikan virhekäsitysten tyypit [17]

Virheen tyyppi	Selitys
Nopeus verrattuna sijaintiin	Oppilaat eivät erota toisistaan nopeutta ja sijaintia.
Kiihtyvyys verrattuna nopeuteen	Oppilaat eivät erota toisistaan kiihtyvyyttä ja nopeutta.
Tasaisen kiihtyvyyden luonne	Oppilaat eivät hahmota, että tasainen kiihtyvyys tarkoittaa muuttuvaa nopeutta, jonka kuvaus on parabolinen.
Nopeuden vektoriluonne	Oppilaat eivät ymmärrä vauhdin ja nopeuden eroa, vaan ajattelevat ongelmat vauhdin kautta.

Kuten Beichnerin [2] ja Hestenesin ym. [17] tutkimuksista nähdään, oppilailla on monenlaisia virhekäsityksiä, jotka heikentävät heidän kykyään tehdä oikeita päätelmiä tulkittaessa fysiikan kuvaajia. Näitä virhekäsityksiä on pyritty kartoittamaan käyttämällä silmänliikemittauksia. Aiheesta tehtyä tutkimusta on esitelty luvussa 2.4 ja tässä tutkielmassa käytettyä testiä verrataan myös niihin myöhemmin.

2.4 Aikaisempia tutkimuksia aiheesta

Tässä luvussa perehdytään aikaisempaan tutkimukseen. Tämän tutkielman tapaisia selvityksiä on tehty aiemminkin ja niiden tuloksia käsitellään seuraavaksi. Seuraavaksi esitellään TUG-K :sta tehty uusi versio ja perehdytään silmänliikekameralla tehtyihin tutkimuksiin kinematiikan kuvaajista. Silmänliikekameralla tehdyistä tutkimuksista esitellään ne artikkelit, joissa pääpaino on käsitteellisen ymmärryksen kehityksessä ja motiivin sekä taustatiedon vaikutuksessa katselukäyttäytymiseen.

2.4.1 TUG-K

Vaikka TUG-K testiä pidetään mainiona työkaluna arvioimaan kuvaajien tulkinnessa esiintyviä virhekasityksiä, oli testin kehittäjän Beichnerin mielestä siinä vielä puutteita. Näin ollen hän jatkoi kollegojensa kanssa testin kehittämistä ja päätyi lopulta julkaisemaan testistä uuden version vuonna 2017. Uuden testin tarvetta ja syntyä on käsitelty artikkelissa *Modifying the test of understanding graphs in kinematics* [3]. Artikkelitoteaa, että alkuperäisen testin suurimmat puutteet ovat mahdollisuus saada oikeita tuloksia virheellisillä päätelmillä ja kyky vertailla eroja sijainti-nopeus vuorovaikutuksen ja nopeus-kiihtyvyyden vuorovaikutuksen välillä. Näin ollen testiin sekä lisättiin tehtäviä että olemassa olevia tehtäviä muutettiin. Uuden testin tuloksia vanhoihin on vertailtu artikkelissa [3] ja ne on esitetty alla taulukossa 3.

Taulukko 3. Uuden ja vanhan TUG-K:n tilastollinen vertailu

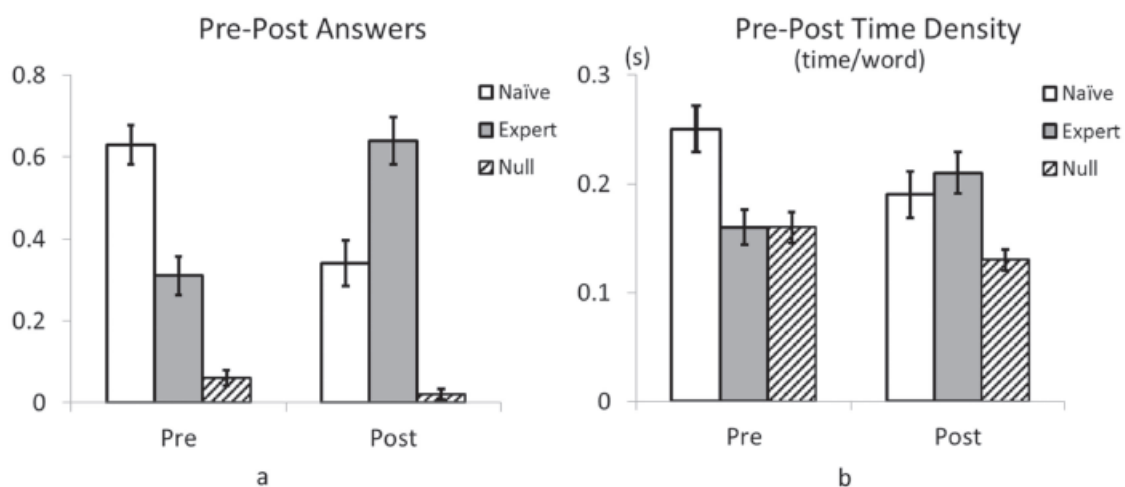
Tilastollinen data	Halutut arvot	Alkuperäinen testi	Muokattu testi
Vaikeusindeksi	[0,3;0,9]	Keskiarvo 0,51	Keskiarvo 0,47
Erotteluindeksi (25%-25% menetelmä)	$\geq 0,3$	Keskiarvo 0,56	Keskiarvo 0,62
Piste-biseriaalinen korrelaatiokerroin	$\geq 0,2$	Keskiarvo 0,74	Keskiarvo 0,50
Kuder-Richardsonin reliabiliteetti kerroin	$\geq 0,7$ ryhmä-arvoille	0,81	0,88
Fergusonin delta	$> 0,9$	0,98	0,99

Samassa artikkelissa [3], jossa yllä olevat tulokset on esitetty, on myös kommentoitu niiden merkitystä. Tuloksista voidaan päätellä, että uusi testi on luotettava (reliabiliteetti $> 0,7$) ja se sisältää riittävän erottelukyvyn (erotteluindeksi $> 0,3$) kysytyille asioille. Vaikeusindeksistä

nähdään, että uusi testi on hiukan haastavampi. Lisäksi piste-biserialinen korrelaatiokerroin indikoi, että tehtävissä tehdyt virheet johtuvat useasta eri tekijästä.

2.4.2 Käsitteellisen ymmärryksen kehitys

Fysiikan tehtävien ratkaisu kuvaajien avulla vaatii paljon tulkintaa, jota on vaikea mitata. On kuitenkin havaittu, että silmänliikemittauksella saadaan esille paljon testattavien ajatusprosesseista ja sitä onkin pyritty käyttämään apuna erilaisille testeille kuten FCI. Yhden tällaisen tutkimuksen tekivät Han, Chen, Fu, Fritchman ja Bao [5]. Heidän tutkimuksessaan yliopisto-opiskelijat tekivät 30 kysymyksen FCI testin kahdesti. Ensimmäisen ilman opetusta ja sitten seitsemän viikon opiskelun jälkeen. Testin tarkoitus oli havainnollistaa opiskelijoiden käsitteellisen ymmärryksen kehitystä ja kuinka sitä voidaan arvioida silmänliiketutkimuksella. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että opiskelijoiden ymmärrys kasvoi testien välissä siten, että he saivat enemmän oikeita vastauksia. Heidän käyttämänsä aika tulokseen pääsemiseksi ei silti muuttunut vaan opiskelijat käyttivät melkein yhtä paljon aikaa vastausten pohtimiseen kuin ensimmäisessä testissä. Tämä osoittaa, että opiskelijat omaavat fysiikan ilmiöiden toiminnasta useita vaihtoehtoisia konsepteja, joita he vertailevat ratkaisua hakiessaan. Tästä esimerkki on annettu kuvassa 6, jossa vasemmalla on esitelty oikeiden vastausten määrä ensimmäisessä ja toisessa testissä. Oikealla on esitetty oikeisiin ja väärin vastauksiin käytetty aika.



Kuva 6. Han ym. teettämän ensimmäisen ja toisen testin vertailu esitiedoiltaan erilaisille opiskelijoille [5]

Silmänliikekamera kykeni paljastamaan ratkaisuun käytetyn ajan sanaa kohti. Tutkimus osoitti, että opiskelija käyttivät keskimäärin 0,18 sekuntia aikaa sanaa kohden katsellessaan vastausvaihtoehtoja, mutta vain 0,14 sekuntia selkeästi väärin vastauksiin, mikä on tilastollisesti selkeä poikkeama. Oikeisiin vastauksiin ja selkeästi tunnettuihin virhekäsityksiin viittaaviin vaihtoehtoihin käytettiin 0,22 sekuntia sanaa kohti. Tästä pääteltiin, että opiskelijat käyttivät enemmän aikaa pohtiessaan kaikkein todennäköisimpiä vaihtoehtoja. [5]

2.4.3 Motivaation merkitys katselukäyttäytymiseen

Toinen testi, jonka tarkoituksena oli hahmottaa yliopisto-opiskelijoiden käsitteellistä järkeilyä heidän opiskellessaan valmiiksi ratkottuja mekaniikan tehtäviä, suoritettiin Smithin, Mestren ja Rossin toimesta [9]. Testissä oppilaille annettiin esimerkkitehtäviä opiskeltaviksi ja silmänliikekameralla mitattiin paljonko aikaa oppilaat käyttivät sanallisiin osioihin verrattuna laskuosioihin. Lisäksi oppilaille joko kerrottiin tehtäviä testattavan kokeessa tai niiden olevan vain oman tiedon kasvattamiseen. Tällöin kyettiin vertaamaan eri motiivien vaikutusta tuloksiin.

Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että oppilaat käyttivät yllättävän paljon aikaa harjoitusten tekstiosuuden analysointiin. Tämän lisäksi oppilaat tekstiä lukiessaan etsivät laskusta tekstissä mainitun asian ja palasivat sitten tekstiin. Tästä voidaan päätellä, että oppilaat opiskelivat tehtävän käsittelemää ilmiötä käyttäen samanaikaisesti lähteenä sekä käsitteellistä tietoa tekstistä että konkreettista laskumekaniikkaa esimerkkilaskusta. Kun tutkimuksessa analysoitiin motiivin tuomia eroja, havaittiin että niillä ei ollut vaikutusta. Riippumatta opiskelun syystä opiskelijat käyttivät keskimäärin yhtä paljon aikaa teksti- ja laskuosion katsomiseen. [9]

2.3.4 Taustatiedon vaikutus katselukäyttäytymiseen

Mikäli testintekijän kuvaajan tulkintataidot ajatellaan hyväksi, nousee kysymykseksi kuinka paljon ennakkotieto vaikuttaa kuvaajapohjaisten tehtävien ratkaisuun. Asiaa ovat tutkineet mm. Tai, Loehr ja Brigham artikkelissaan *An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments* [12] sekä Susac, Bubic, Kazotti, Planinic ja Palmovic artikkelissaan *Student understanding of graph slope and area under a graph: A comparison of physics and nonphysics students* [4].

Tai ym. artikkelissa esitellyn tutkimuksen tavoitteena oli selvittää aiheuttaako aihepiiriin tuttuus erilaista katselukäyttäytymistä verrattuna siihen, jos aihe on vähemmän tuttu. Kaikki testattavat henkilöt olivat jonkin luonnontieteen opiskelijoita ja he joutuivat ratkaisemaan tehtäviä, joista osa oli heidän erikoisalaansa ja osa vähemmän tutusta aiheesta. Tehtävät olivat joko fysiikasta, biologiasta tai kemiasta ja vastaavasti opiskelijoiden pääaineet olivat fysiikka, biologia tai kemia.

Jokaiselle testattavalle esitettiin 18 monivalintatehtävää, joita ratkaistaessa heidän katselukäyttäytymisensä ja vaustausaikansa tallennettiin. Tuloksia analysoitaessa oli nähtävissä, että testattavat vastasivat nopeammin ja paremmin kysymyksiin, jotka käsitelivät heidän pääainettaan. Kun katseludataa tutkittiin, huomattiin selkeitä eroja katselukäyttäytymisessä riippuen siitä oliko kysymys heidän pääaineestaan vai ei. Vaikka kaikki testattavat opiskelivatkin luonnontieteitä, oli mahdollista havaita eroja testikäyttäytymisen kvalitatiivisessa tarkastelussa. Tästä voidaan päätellä, että huolimatta testattavan ennakkotiedoista muihin aihepiireihin, jos hän ei ole perehtynyt kysymyksen aihepiiriin varsinaisesti hänen tietonsa ei muokkaa katselukäyttäytymistä. [12]

Susac ym. artikkelissa vuorostaan tutkittiin mitä eroja löytyy fysiikan ja psykologian opiskelijoiden vastatessa kuvaajatehtäviin, jotka käsittelevät kulmakertoimen tai käyrän alle jäävän pinta-alan ratkaisua. Tutkimuksessa testattiin 90 opiskelijaa kahdeksalla monivalintatehtävällä. Puolet tehtävistä oli kinematiikan tehtäviä ja puolet taloustehtäviä. Fysiikan opiskelijoilla oli kokemusta kinematiikasta, mutta psykologian opiskelijoilla ei. Kummallakaan ryhmällä ei ollut kokemusta taloustehtävistä.

Testattavien katselukäyttäytymistä analysoitaessa nähtiin, että fysiikan opiskelijat käyttivät enemmän aikaa, kun heidän tuli ratkaista kulmakerrointa. Psykologian oppilaat taas käyttivät enemmän aikaa, kun heidän täytyi ratkaista käyrän alle jäävää pinta-alaa. Kumpikin ryhmä käytti enemmän aikaa taloustehtävien ratkomiseen kuin kinematiikan tehtäviin. Fysiikan opiskelijat hahmottivat paremmin, että saadakseen kulmakertoimen, heidän tulee laskea akselien muutokset. Psykologian opiskelijat taas katsoivat arvot suoraan akseleilta, mikä vastaa kulmakerroin/korkeus –sekaannus virhekäsitystä. Tuloksista nähtiin lisäksi, että fysiikan opiskelijat käyttivät enemmän aikaa akselien katseluun kuin psykologian opiskelijat. Tästä voidaan päätellä, että fysiikan opiskelijat olivat harjaantuneempia tulkitsemaan graafeja. [4]

2.3.5 Katselukäyttäytymisen ero hyvin tai huonosti menestyvien oppilaiden välillä

Fysiikan opetuksen tarkoitus koulussa ja yliopistossa on nostattaa kaikkien opiskelijoiden ymmärrystä aiheesta. Ymmärrystä testattaessa on joka aihepiirissä niitä opiskelijoita, jotka ovat pärjänneet hyvin, ja niitä, jotka ovat pärjänneet huonosti. Silmänliikekamera antaa uniikin työkalun määrittämään onko hyvin tai huonosti pärjänneiden oppilaiden katselukäyttäytymisessä eroja. Katselukäyttäytymisen eroista on julkaistu Kekulen toimesta artikkeli: *Students' approaches when dealing with kinematics graphs explored by eye-tracking research method* [11].

Tutkimuksessa koottiin silmänliikekameralla katselukäyttäytymisdata 25 testihenkilöltä ja siitä muodostettiin lämpökarttoja. Lämpökarttoja koottiin kokoamalla yhteen kaikki tiettyyn ryhmään kuuluvien data. Näitä ryhmiä olivat testissä hyvin tai huonosti pärjänneet ja kysymykseen oikein tai väärin vastanneet. Kun lämpökartat oli tehty, niitä vertailtiin keskenään. Analyysissä huomattiin, että testissä parhaiten pärjänneiden ja oikein vastanneiden tulokset eivät olleet keskenään samat. Tästä voidaan päätellä, että ne henkilöt, jotka päätyivät oikeaan vastaukseen, saavuttivat sen monilla eri menetelmillä. Monesti huonosti pärjänneet keskittyivät kuvaajaa katsoessaan vain johonkin tiettyyn alueeseen, mitä oli myös havaittavissa oikein vastanneiden kesken.

3 Tutkimuskysymykset

Tämä pro gradu -työ on osa kansainvälistä tutkimusprojektia Saksan ja Tšekin kanssa. Tutkimusryhmällä on omat tutkimustavoitteensa, mutta tässä luvussa keskitytään tämän pro gradu -työn tutkimuskysymyksiin, jotka rajaavat aihetta. Tämän työn tavoitteena on selvittää mitä tietoa saadaan käyttämällä päivitettyä TUG-K testiä. TUG-K testistä ei ole valittu kaikkia tehtäviä, vaan on keskitytty tehtäviin, joista saadaan eniten tietoa kulmakerroin/korkeus -sekaannuksesta, joka esiteltiin luvussa 2.4.1.

Tutkimuksessa selvitetään myös onko tehtävien esitysjärjestyksellä merkitystä virhekäsitysten esiintymisessä ja kuinka johdonmukaisesti oppilaiden vastauksissa virhekäsitykset näkyvät. Tutkimuksessa käytettyjä tehtäviä on esitelty enemmän luvussa 4, mutta niitä silmällä pitäen tämän työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- 1) Mitä havaintoja on saatavilla Beichnerin kulmakerroin/korkeus -sekaannus virhekäsityksestä uuden TUG-K testin tehtävien avulla?
- 2) Miten tehtäväjärjestys vaikuttaa virhekäsityksien esiintymiseen?
- 3) Kuinka oppilaiden ajankäyttö tehtävien osien välillä vastaa heidän vastauksien oikeellisuutta?
- 4) Miten johdonmukaisia oppilaat ovat vastauksissaan ja kuinka tietoisia he käyttäytymisestään ovat?

4 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa on kuvattu kuinka tutkimus päättyi lopulliseen muotoonsa, kuinka tutkimusdatan keräys suoritettiin ja millaista analysointia datalle tehtiin. Tutkimuksen esittely on jaettu kolmeen osaan. Luvussa 4.1 käsitellään tutkimuksessa käytetyn tehtäväpatterin suunnitteluprosessia. Sen jälkeen luvussa 4.2 esitellään kuinka mittaukset käytännössä suoritettiin. Lopuksi luvussa 4.3 esitellään kuinka tutkimuksessa saatu data analysoitiin. Luvussa 4.3 esitellään myös rajaukset, joita kerätyn materiaalin käytössä tehtiin.

4.1 Tehtäväpatterin suunnittelu

Kuten aiemmin mainittiin, tämä tutkimus on osa kansainvälistä projektia, joten tehtävien valinta ja suunnittelu tapahtuivat yhteistyössä, pääasiassa sähköpostin välityksellä. Tehtävät valittiin testistä TUG-K versio 4.0, mistä ne käännettiin suomeksi.

Aluksi suunniteltiin, että tutkimukseen otetaan tehtävät 2, 5, 5M, 6, 7, 13, 18, 18M, siten että Martina Kekule (tsekkiläinen yhteistyötutkija) suunnitteli tehtävät 5M ja 18M. Tehtävien 5M ja 18M tarkoitus oli olla käsitteellisesti identtiset tehtävien 5 ja 18 kanssa, mutta niiden kuvaajien akseleita ja käyrää muutettiin. Muutettujen kuvaajien avulla pyrittiin havaitsemaan paremmin eroja, kun oppilaat ratkaisevat laskevaa käyrän kulmakerrointa verrattuna nousevan käyrän kulmakertoimeen. Lisäksi haluttiin tutkia eroja, kun kysytty käyrän piste on ruudun keskellä tai reunalla.

Seuraavaksi pohdittiin, että olisi parempi saada enemmän dataa kerättyä yhdellä testillä, joten johtopäätöksenä lisättiin tehtävät 1, 4, 10, 11, 14, 15, 16, 19, 21 ja 23. Näin ollen käännettiin kyseiset tehtävät suomeksi ja tehtäviin 2, 7, 11, 15, 18, 18M ja 19 lisättiin vastauksiin vaihtoehto, joka oli jätetty TUG-K 4.0 pois, mutta jonka avulla oppilaat kykenivät tuomaan paremmin esille virhekäsityksiään. Lisätyt kohdat päättyivät viimeisiksi vastausvaihtoehtoiksi. Samalla sovittiin, että tutkimuksen otannassa tulisi olemaan kaksi ryhmää. A- ja B-ryhmän ideana oli mahdollisuus verrata, onko testituloksiin vaikutusta sillä, esitetäänkö tekijälle ensin tehtävät 5 ja 18 vai 5M ja 18M.

Tässä vaiheessa huomattiin, että tulevassa testissä tulisi olemaan 18 tehtävää, mikä on liian suuri määrä tehtäviä. Jos tehtäviä on liian paljon, oppilaat eivät kykene keskittymään niihin kaikkiin ja saatava katseludatan laatu heikkenee. Tehtäviä karsittiin siis siten, että saatiin mahdollisimman paljon laadukasta dataa kerättyä. Lopputuloksena lopulliseen testiin tuli tehtävät 2, 5, 5M, 6, 7, 11, 13, 14, 18 ja 18M, joten tehtävien loppumäärä oli kymmenen.

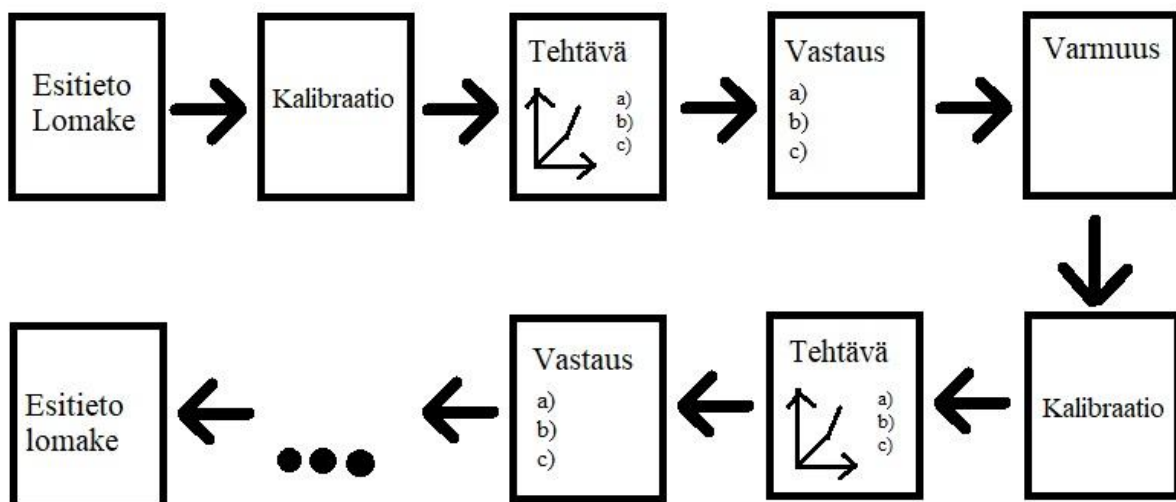
Tehtäviä viimeisteltäessä saatiin vielä idea, että olisi hyvä saada testiin tehtävä, joka pakottaa oppilaat hahmottamaan heidän omaa ajatteluaan. Tämän idean pohjalta suunniteltiin tehtävä, joka lisättiin testipatteriin viimeiseksi. Näin ollen testipatteri päättyi muotoonsa, joka on esitetty taulukossa 4. Tehtävät ovat merkitty sillä numerolla, jolla ne esiintyvät TUG-K 4.0 ja järjestetty esitysjärjestykseen vasemmalta oikealle. Ajattelua hahmottava tehtävä on viimeisenä ja Kekulen suunnittelemissa tehtävissä on M-kirjain. Tehtävät on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä B.

Taulukko 4. Tehtäväpatterin tehtäväjärjestys ryhmittäin

Nro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	2	5	6	7	11	13	14	18	5M	18M	+
B	2	5M	6	7	11	13	14	18M	5	18	+

Kun tehtäväpatteri oli suunniteltu, kävi ilmi, että kerätyn datan määrää voidaan lisätä teetättämällä oppilaille esitietokysely ennen testin tekoa. Tultiin johtopäätöksen, että esitietolomakkeella voidaan kartoittaa oppilaiden esitiedot aiheesta, heidän taitonsa fysiikassa, kyky ymmärtää tehtävänantoja sekä motivaation vaikutus tuloksiin. Näitä ominaisuuksia silmällä pitäen suunniteltiin esitietolomake. Lomakkeen valmistuttua todettiin, että olisi hyvä vielä mitata testin lopuksi osallistujien todellista motivaatiota. Siksi esitietolomakkeen toiselle puolelle sijoitettiin motivaatiokysymys, jota osallistujat eivät nähneet ennen testin tekoa. Esitietolomake löytyy liitteestä A.

Tehtävien suunnittelun jälkeen muodostettiin kysely Experiment Center -ohjelmistolla. Muodostuksessa oli teknisenä apuna Jarkko Hautala. Testi oli muodoltaan sellainen, että oppilaan istuessa koneen ääreen hänelle tuli ensin aina kalibraatoruutu, jossa laitteisto määrittä silmien sijainnin. Kalibraation tarkkuudeksi määritettiin 0,5 astetta ja, mikäli kalibraatio epäonnistui, laitteisto suoritti suoraan uuden kalibraation korkeintaan kolme kertaa. Mikäli kaikki kolme kertaa epäonnistuivat, laitteisto jatkoi testiä käyttäen parasta kalibraatiotulosta. Kalibraation jälkeen oppilaille ilmestyi tehtäväruutu, jossa oli tehtävänanto, kuvaaja ja vastausvaihtoehdot (ks. Liite B). Tehtäväruutua sai tarkastella niin kauan kuin halusi, mutta siihen ei voinut jälkikäteen palata. Eteenpäin siirryttiin hiiren painalluksella. Hiiren kursori ei kuitenkaan ollut näkyvissä tehtäväruudussa, koska se olisi ohjannut oppilaiden katsetta. Seuraavaksi oli vuorossa vastausruutu, jossa testattava valitsi hiirellä edellisessä ruudussa tekemänsä päätelmän. Vastausruudun jälkeen tuli vastausvarmuusruutu, jossa oppilas arvio asteikolla 1-4 kuinka varma oli vastauksestaan. Varmuusruudun jälkeen näyttöön tuli uusi kalibraatoruutu ja prosessi toisti näin itseään viimeiseen tehtävään asti. Testin jälkeen oppilas vastasi vielä yhteen kysymykseen motivaatiosta, joka oli esitietolomakkeen kääntöpuolella (ks. Kuva 6).



Kuva 6. Datat keräysjärjestely

4.2 Datan kerääminen

Tehtävien valmiiksi saamisen jälkeen siirryttiin mittausten tekemiseen. Kaikki mittaukset suoritettiin eräässä keskisuomalaisessa lukiossa. Osallistujiksi haluttiin ainoastaan lukion toisen vuoden oppilaita, jotka olivat lukeneet enemmän fysiikkaa kuin mitä lukiossa on pakollisena. Näin ollen pidettiin mainos- ja esittelypuhe kahdelle lukion fysiikan neljättä kurssia käyvälle oppilasryhmälle. Esittelyssä käytiin läpi yleisellä tasolla tutkimuskysymykset sekä esiteltiin laitteisto valokuvilla. Tilaisuudessa käytiin läpi myös minkälaista dataa mittalaitteistolla saadaan eli toisin sanoen esiteltiin oppilaille lämpökarttojen käyttöä ja tulkintaa.

Esittelytilaisuuden päätteeksi kerättiin oppilaiden sähköpostiosoitteet, joita käytettiin kirjallisen kutsuviestin lähettämiseen ja ilmoittautumislinkin jakamiseen. Oppilaille oltiin tehty ilmoittautumistaulukko, joka oli tallennettuna Google Drive -palveluun. Linkin kautta oppilaat saivat merkitä taulukkoon milloin halusivat tulla testin tekemään. Kaikki mittaukset suoritettiin aikavälillä 9-17. Ideana oli, että oppilaat tulisivat testattavaksi vapaaehtoisesti oppituntien ulkopuolella joko hyppytunnilla tai koulupäivän päätteeksi. Koska kaikki oppilaat olivat vapaaehtoisia, annettiin tutkimuksiin tulleille osallistumispalkinnoksi vapaalippu elokuviin. Tavoitteena oli saada 30 oppilasta testeihin.

Kaikki mittaukset tapahtuivat lukion tyhjässä luokkahuoneessa. Oppilaiden kanssa oli sovittu tapaamispaikaksi luokkahuoneen ulkopuolella oleva käytävä. Mittausten ensimmäisen kahden viikon ajan oli käytössä kaksi mittalaitteistoa, joten toisella laitteistolla suoritettiin A-ryhmän testejä ja toisella B-ryhmän testejä. Osallistujina oli siis kerralla yksi tai kaksi oppilasta. Mittalaitteistojen olosuhteet pyrittiin saamaan mahdollisimman samanlaisiksi. Molemmat olivat samanlaisilla pöydillä ja valaistusolosuhteet asetettiin samanlaisiksi sulkemalla luokan sälekaihtimet ja käyttämällä vain luokan omia valoja. Luokan omat valot olivat symmetrisesti asennettu kattoon. Molempien laitteistojen edessä oli samanlaiset tuolit.

Mittalaitteistot pystytettiin eri puolille luokkaa ennen oppilaiden saapumista. Kannettava tietokone kytkettiin verkkovirtaan ja siihen liitettiin silmänliikekamera ja langaton hiiri. Kun oppilaat tulivat testattavaksi, heitä pyydettiin ensin vastaamaan esitietolomakkeeseen. Esitietolomakkeen jälkeen oppilaat ohjeistettiin tietokoneen ääreen ja heidän kanssaan käytiin läpi kuinka he käytännössä suorittavat testin koneessa olevalla Experiment Center -ohjelmalla. Heille annettiin ohjeeksi, että kalibraatiossa mahdollisesti tapahtuvasta virheestä ei tarvitse huolestua, ainoastaan ilmoittaa. Oppilaiden annettiin tehdä testi rauhassa.

Parilla oppilaalla tuli kalibraatiovirhe, mutta kukaan ei joutunut yrittämään minkään tehtävän kalibraatiota yli kahta kertaa. (Kolme on enimmäismäärä ennen kuin ohjelma jatkaa tehtäviä virheestä huolimatta.) Kun oppilaat olivat saaneet testin tehtyä, heitä pyydettiin vielä vastaamaan esitietolomakkeen toisella puolella olevaan testin jälkeiseen kysymykseen. Tämän jälkeen heille jaettiin osallistumispalkinto. Kahden ensimmäisen mittausviikon jälkeen oli käytössä vain yksi mittalaitteisto, joten siirryttiin vain yhden oppilaan kerralla testaamiseen. Silloin molempia testejä tehtiin vuorotellen.

Ensimmäisen kahden viikon ajan oli käytössä datan analysointiin vaadittava USB-avain, joten jokaiselle osallistujalle kyettiin näyttämään pari lämpökarttaa heidän tekemistään tehtävistä. Tulosten katseleminen oli oppilaille vapaaehtoista, mutta jokainen oli siitä

kiinnostunut. Mahdollisuudesta tulosten näkemiseen mainittiin vasta testin suorittamisen jälkeen, jotta se ei vaikuttaisi tuloksiin.

Kun mittauksia oltiin suoritettu kolme viikkoa ja kaikki halukkaat olivat käyneet testeissä, kävi ilmi, että osallistujia ei ollut tarpeeksi. Koska lukion jakso oli pian vaihtumassa, päätettiin käydä kutsumassa uudesta oppilasryhmästä lisää oppilaita tutkimukseen. Uudelle ryhmälle pidettiin samanlainen esittelytilaisuus kuin aiemminkin ja myös heille jaettiin kutsuviesti. Kyseisen oppilasryhmän kanssa suoritettiin mittauksia viikon verran käyttäen samaa järjestelyä kuin aiemmin.

Kaiken kaikkiaan mittauksiin kului aikaa neljä viikkoa ja otannaksi saatiin 35 oppilasta. Oppilailta kului keskiarvona 9 minuuttia ja 10 sekuntia testin tekoon siten, että A-ryhmän keskiarvo oli 9 minuuttia ja B-ryhmän 9 minuuttia 20 sekuntia. Otannan tiedot on koottu alle taulukkoon 5 ja kaikki data löytyy liitteestä C.

Taulukko 5. Tutkimuksen otannan tiedot

Ryhmä	Määrä	Naisia	Miehiä	Keski-ikä	Fysiikan kurssien keskimäärä	Fysiikan numeron keskiarvo	Matematiikan numeron keskiarvo	Äidinkielen numeron keskiarvo
A	17	11	6	17	4	8,7	8,9	8,6
B	18	12	6	17	4	8,4	8,5	8,6

4.3 Datan analysointi

Kun kaikki mittaukset oli suoritettu, aloitettiin datan analysointi. Alkuun kaikki numeerinen data kerättiin vastauksista ylös (ks. Liite C). Vastauksista laskettiin keskimääräiset oikeellisuusprosentit tehtävittäin ja ryhmittäin. Oikeiden vastausten määrästä suoritettiin Khiin neliö –testi, jotta voitiin määrittää A- ja B-ryhmien välisten erojen merkitsevyydet. Merkitsevyydet on esitetty taulukossa 10. Myös oikeiden vastausten merkitsevyyttä tutkittiin ryhmien sisällä ja tulokset on esitetty taulukossa 12. Tulosten pohjalta päätettiin, että paras tapa käsitellä virhekäsityksiä oli verrata tehtäviä 2(5), 8(18), 9(5M) ja 10(18M), missä ensimmäinen numero viittaa tehtäväjärjestykseen ja toinen alkuperäisen testin numerointiin. Kyseisissä tehtävissä olevat parit 5, 5M ja 18, 18M antoivat hyvän mahdollisuuden analysoida pienten yksityiskohtien vaikutusta virhekäsityksiin. Kyseisistä tehtävistä muodostettiin nelikenttätaulukko (ks. Taulukko 13 ja 14) tehtävissä esiintyvien virhekäsitysten perusteella.

Muodostettujen nelikenttien avulla koottiin silmänliikedatasta lämpökarttoja käyttäen Begaze –ohjelmaa, jotta voitiin arvioida esiintyviä virhekäsityksiä (ks. Liite D). Lämpökartat tehtiin kumulatiivisina eli kerättiin kaikkien osallistuvien oppilaiden silmänliikeditat yhteen ja rakennettiin kartat. Kartoissa kaikkien oppilaiden fiksaatiopisteet on laskettu yhteen muodostamaan kokonaiskuvan tilanteesta. Kumulatiiviset lämpökartat muodostettiin erikseen A- ja B-ryhmälle. B-ryhmän silmänliikedatasta osan oli laitteisto mitannut 60 Hz taajuudella vaikka muu data mitattiin 250 Hz taajuudella, joten mittapisteitä on vähemmän, ja kyseiset mittaukset on siksi jätetty huomiotta lämpökartoista. Lämpökarttoja tehtäessä huomattiin joidenkin oppilaiden mittapisteiden ”laimentavan” lämpökarttojen väriskaalan melkein olemattomiin. Tämä johtuu luultavasti siitä, että kyseisten oppilaiden data kyseisiltä tehtäviltä on puutteellista, jolloin keskiarvot laskevat huomattavasti. Näin ollen jätettiin pois lämpökartoista taulukossa 6 esitetyt mittaukset.

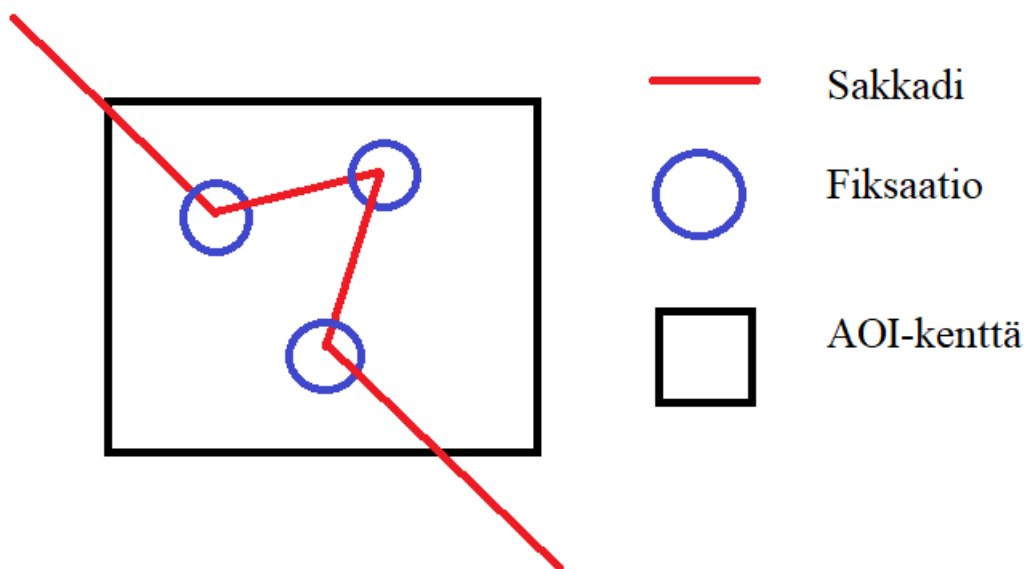
Taulukko 6. Lämpökartoista pois jätetyt mittaukset. Taulukossa on käytetty seuraavia lyhennyksiä: 5 = tehtävä 2(5), 5M = tehtävä 9(5M), 18 = tehtävä 8(18), 18M = tehtävä 10(18M), v = väärin, o = oikein, A = A-ryhmän lämpökartta, B = B-ryhmän lämpökartta.

Tehtävä	Lämpökartta	Kuka	Miksi
5	5v5Mv B	B17	Laimensi kaikkia tuloksia huomattavasti
5M	5v5Mv B	B06, B07	
	5v5Mv A	A13	
18	18o18Mv A	A11	
	18o18Mo A	A12	
	18v18Mv A	A13	
	18v18Mv B	B17	
18M	18o18Mv A	A11	
	18o18Mo B	B15	
Kaikki	Kaikki	B01, B02, B03, B04	

Kun lämpökartat oli saatu analysoitua, ruvettiin suorittamaan AOI -analyysiä. Tehtäville 5, 5M, 18 ja 18M muodostettiin kiinnostusalueet kattamaan tehtävänannon, vastausvaihtoehdot,

kysytyn pisteen käyrältä, kysytyn pisteen x- akselin koordinaatin, kysytyn pisteen y-akselin koordinaatin, oikeaan vastaukseen vaadittavaan y-akselin alueen ja oikeaan vastaukseen vaadittavan käyrän alueen. AOI -kenttien tarkoitus oli antaa mahdollisuus tulkita, miten katselun määrä tehtävän eri alueilla vaikuttaa testin tuloksiin. Kuvat muodostetuista kiinnostusalueista löytyvät luvusta 5.4.1. Osassa tehtävistä ei tangenttia voitu kuvata yhdellä alueella, vaan se on jaettu kahteen (ks. Kuva 18). Tämän tutkimuksen analyysissä keskityttiin tutkimaan kulmakertoimen muodostukseen vaadittavan alueen ja kysytyn pisteen y-koordinaatin katselukäyttäytymisen yhteyttä vastauksiin. Nämä alueet ovat merkittäviä, koska kyetäkseen muodostamaan mielessään oikean vastauksen, testin tekijän täytyy katsoa molempia alueita. Mikäli oppilas katselee vain kysytyn pisteen y-koordinaattia, hän syyllistyy kulmakerroin/korkeus -sekaannukseen.

Muodostetuista alueista saatiin Begaze-ohjelmalla fiksaatio- ja sakkadimäärät, joista muodostettiin Hautalan avustuksella histogrammit katseluaikojen (dwelltime) määristä. Katseluaajalla tarkoitetaan kokonaisaikaa, jonka oppilaan katse on AOI -kentän sisällä. Lisäksi saimme muodostettua tilastollisen analyysin katselukertojen (glancecount) määristä kulmakerrointulkinta ja pistearvo tulkinta -alueille (ks. Kuva 4, sininen ja harmaa alue) käyttäen muuttujina vastauksen oikeellisuutta ja sitä missä järjestyksessä tehtäviin vastattiin. Katselukerralla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa katsojan peräkkäiset fiksaatiot ja sakkadit yhden AOI -alueen sisällä lasketaan yhdeksi tapahtumaksi (ks. Kuva 7). Analyysi suoritettiin käyttämällä SPSS-ohjelmaa. Katselukerrat on sovitettu Poissonin jakaumaan ja kaikki data on nähtävissä liitteessä E. Tiivistetympi versio datasta löytyy luvusta 5.4.2. Tilastollisessa analyysissä oli käytössä koko otanta.



Kuva 7. Hahmotelma yhdestä katselukerrasta

AOI -analyysin jälkeen siirryttiin määrittämään oppilaiden johdonmukaisuutta. Johdonmukaisuudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa sitä, että oppilas on vastannut samalla tavalla tutkittuihin neljään kysymykseen tai hänellä on korkeintaan yksi poikkeava vastaus.

Kaikissa neljässä analysoidussa tehtävässä oli tarjolla oikean vastauksen lisäksi kulmakerroin/korkeus -sekaannusta vastaava vaihtoehto. Näin ollen kyettiin muodostamaan taulukko siitä vastasivatko oppilaat eri tehtäviin samalla ajattelutavalla vai oliko ratkaisutavoissa eroja. Lisäksi tehtäväpatterin lopussa oli suunnittelemamme tehtävä, jolla määritettiin millä tavoin oppilas näkee ratkaisevansa tehtäviä. Kyseisessä tehtävässä oli myös tarjolla oikean vastauksen lisäksi kulmakerroin/korkeus -sekaannusta vastaava vaihtoehto. Kyseisestä analyysistä saadut tulokset on esitetty luvussa 5.5.

Kaikki analyysit suoritettiin saadaksemme vastauksia tutkimuskysymyksiin. Taulukossa 7 on esitetty kuhunkin tutkimuskysymykseen liittyvät analyysimenetelmät. Osaa menetelmistä käytettiin useamman tutkimuskysymyksen pohtimiseen.

Taulukko 7. Tutkimuskysymyksiin käytetyt menetelmät

Tutkimuskysymys	Analyysimenetelmä	Käytetty data
Mitä havaintoja on saatavilla Beichnerin kulmakerroin/korkeus – sekaannus virhekäsityksestä uuden TUG-K testin tehtävien avulla?	Tehtävien vastausprosenttien kerääminen Lämpökarttojen teko AOI -kenttien tilastollinen analyysi	Kaikki tehtävät
Miten tehtäväjärjestys vaikuttaa virhekäsityksien esiintymiseen?	Tehtävien vastausprosenttien kerääminen Lämpökarttojen teko AOI -kenttien tilastollinen analyysi	Tehtävät 5, 5M, 18, 18M
Kuinka oppilaiden ajankäyttö tehtävien osien välillä vastaa heidän vastauksien oikeellisuutta?	AOI -kenttien tilastollinen analyysi	Tehtävät 5, 5M, 18, 18M
Miten johdonmukaisia oppilaat ovat vastauksissaan ja kuinka tietoisia he käyttäytymisestään ovat?	Johdonmukaisuus -analyysi	Tehtävät 5, 5M, 18, 18M ja 11(+)

5 Tulokset

5.1 Oikeiden vastausten määrät

Oppilaiden vastaukset löytyvät liitteestä C. Analysoimalla tehtävien oikeat vastaukset tehtävittäin saadaan tulokset, jotka on esitetty taulukossa 8. Tehtävät on esitetty siinä järjestyksessä, kun ne esiintyvät A-ryhmän testissä, mutta B-ryhmän vastaukset on laskettu niihin mukaan ottamalla huomioon tehtävien vastaavuudet. Esim. A-ryhmän tehtävän 2 vastaukset ja B-ryhmän tehtävän 9 vastaukset on laskettu yhteen, koska kyseessä on sama tehtävä. Tehtäväkohtaisten oikeiden ratkaisujen määrien lisäksi myös ryhmäkohtaiset vastaukset on laskettu ja esitetty taulukossa 9.

Taulukko 8. Testitehtävien oikeat vastaukset tehtävittäin

Tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Oikea vastaus	E	C	B	A	D	A	B	A	C	A	B
Oikein vastausten lukumäärä	17	22	23	21	19	32	23	19	17	19	24
A-ryhmä	8	9	14	10	8	16	13	9	12	10	14
B-ryhmä	10	13	9	11	11	16	10	10	5	9	10
Oikeiden vastausten suhde vastanneiden määrään (%)	49	63	66	60	54	91	66	54	49	54	69

Taulukko 9. Testitehtävien oikeiden vastausten prosentuaaliset osuudet

	A-Ryhmä	B-Ryhmä	Kaikki vastanneet
Tehtävistä on saatu oikein keskiarvona (%)	66	57	62

Oikeiden vastausten määrästä suoritettiin Khiin neliö -testi (<https://www.socscistatistics.com/tests/chisquare2/Default2.aspx>), jonka tarkoitus oli kartoittaa tilastollista merkitsevyyttä A- ja B-ryhmien välillä. Esimerkkitesti on esitetty taulukossa 10. Testissä merkitsevyyden p -arvoksi valittiin 0,05 eli ainoastaan sen alle jäävät tulokset ovat merkitseviä. Khiin neliö -testin tulokset on esitetty taulukossa 11. Taulukosta on nähtävissä, että huolimatta oikeiden vastausten määrien eroista ainoastaan tehtävissä 3 ja 9 oli tilastollista merkitsevyyttä.

Taulukko 10. Esimerkkinä tehtävän 1 Khiin neliö -testi

	Oikein	Väärin
A	8	9
B	10	8
Testin tulos = 0,2527, p -arvo = 0,615194		

Taulukko 11. Khiin neliö –testin mukainen merkitsevyys A- ja B- ryhmien välillä

Tehtävä	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Merkitsevyys	0,615	0,238	0,044	0,890	0,404	0,581	0,193	0,877	0,011	0,600	0,088

Ryhmien välisten erojen analysoinnin lisäksi suoritettiin ryhmien sisäistä arviointia. Kuten luvussa 4.1 todettiin, osa tehtävistä on parillisia siten, että tehtävät 2 ja 9 sekä 8 ja 10 ovat melkein samanlaiset. Näiden tehtävien oikeiden vastausten määrästä suoritettiin Khiin neliö – testi määrittämään tilastollista merkitsevyyttä tehtäväparien sisällä. Saadut tulokset näkyvät ryhmittäin taulukossa 12. Tuloksista näkee, että huolimatta eri määrästä oikeita vastauksia tehtävissä, ainoastaan B-ryhmän vastauksissa tehtäviin 2 ja 9 on tilastollisesti merkitsevä ero.

Taulukko 12. Khiin neliö –testin mukainen merkitsevyys ryhmien sisällä

	Tehtävä 2/9	Tehtävä 8/10
A	0,290	0,730
B	0,008	0,738

5.2 Kulmakerroin/korkeus -sekaannuksen analysointi

Kuten aiemmin mainittiin, tehtävät 2(5) ja 9(5M) sekä 8(18) ja 10(18M) ovat käytännössä identtiset. Ainoana erona on kuvaajan muoto ja akseleiden numeroarvot. Vertailemalla tehtäväpareja nähdään sekä millaisia virhekäsityksiä oppilailla oli että oliko tehtävien vastaustavoissa eroja. Tulokset on esitetty taulukoissa 13 ja 14 siten, että * on merkitty, kun oppilaan väärä vastaus johtuu jostain muusta virhekäsityksestä kuin kulmakerroin/korkeus -sekaannuksesta. Lopuksi esiintyneet virhekäsitykset, jotka eivät olleet pistemäinen luku akselilta -virhekäsitys, on lueteltu oppilaittain.

Taulukko 13. Nelikenttälueetelo oppilaiden vastaustavoista tehtäviin 5 ja 5M

5 oikein, 5M väärin A15* B01, B02, B03, B04, B10, B11, B12, B18	Molemmat oikein A05, A06, A07, A08, A11, A14, A16, A17 B08, B13, B14, B15, B16
5 väärin, 5M oikein A01,A02, A10, A12	Molemmat väärin A03, A04, A09, A13 B05*, B06*, B07*, B09, B17

Taulukko 14. Nelikenttälueetelo oppilaiden vastaustavoista tehtäviin 18 ja 18M

18 oikein, 18M väärin A09*, A10*, A11*, A17* B07, B11*, B13*	Molemmat oikein A05, A06, A08, A12, A14, A16 B03, B04, B08, B10, B14, B15, B16, B18
18 väärin, 18M oikein A01, A02, A07*	Molemmat väärin A03, A04, A13, A15* B01*, B02, B05, B06*, B09, B12*, B17

Muut virheet:

Tehtävät 5 ja 5M:

Oppilas A15: Oppilas on vastannut tehtävään 5M B), johon päädytään jakamalla y-akselin arvo x-akselin arvolla. Y-akselilta katsottu arvo on kuitenkin 22,5 vaikka piste on oikeasti kohdassa 25 (ks. Kuva 34). Tehtävä on siis ratkaistu pistemäisesti akselia lukemalla, mutta y-akseli on luettu väärin.

Oppilaat B05, B06 ja B07: Oppilaat ovat katsoneet y- akselilta jonkin numeroarvon, jonka he ovat suoraan antaneet vastaukseksi.

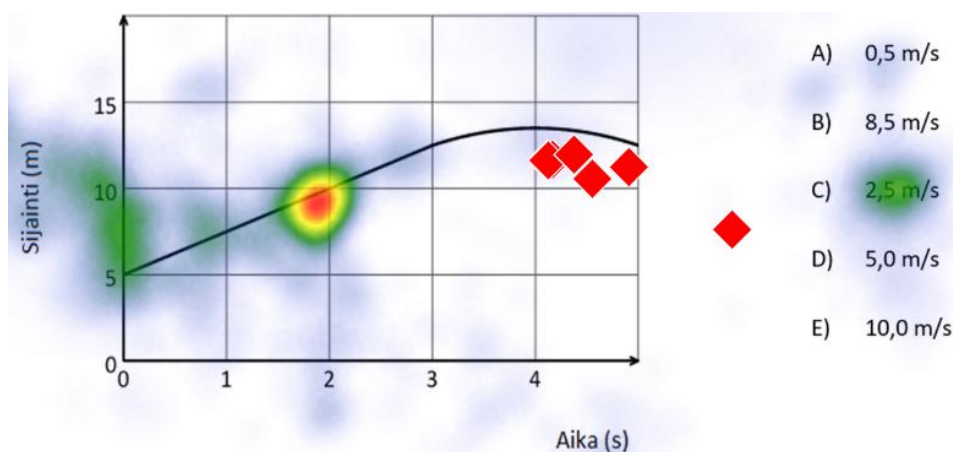
Tehtävät 18 ja 18M:

Oppilaat A07, A09, A10, A11, A15, B11 ja B13: Oppilaat ovat ratkaisseet tehtävän muuten oikein, mutta ovat unohtaneet, että kulmakertoimen määrittämisessä on merkitystä sillä onko muutos positiivinen vai negatiivinen. Toisin sanoen he ovat unohtaneet, että nopeus on vektorisuure.

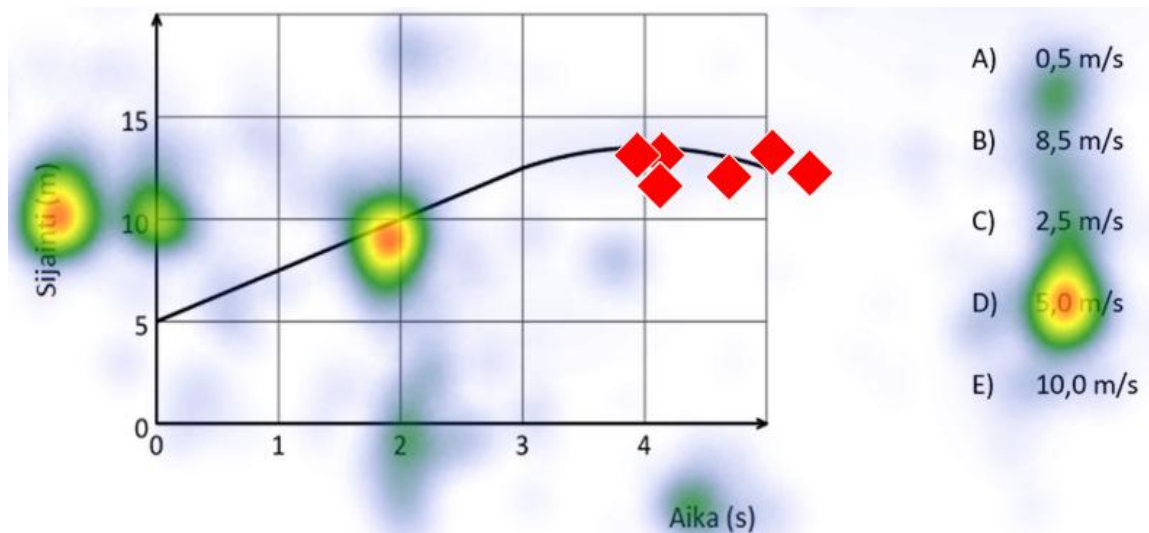
Oppilaat A17, B06 ja B12: Kuten tehtävien 5 ja 5M kohdalla ovat oppilaat jakaneet y-akselin arvon x-akselin arvolla, mutta ovat katsoneet jaettavan arvon väärin.

5.3 Kulmakerroin/korkeus -sekaannuksen analysointi lämpökartoista

Taulukossa 13 ja 14 nähtävien oppilasryhmien tuloksista tehtiin kumulatiiviset lämpökartat ja niitä on esitetty seuraavaksi. Lisäksi on tehty lämpökartat tehtävittäin oikein ja väärin vastanneista, jotta nähdään onko lämpökartoissa todisteita virhekäsityksistä. Kuten luvussa 4.3 on mainittu, osa oppilaiden testeistä jätettiin huomiotta, jotta saatiin selkeämmin esiin käyttäytymismallit. Pois jätetyt tulokset on listattu luvussa 4.3. Seuraavaksi on esitetty vain osa lämpökartoista, mutta kaikki kartat ovat nähtävissä liitteessä D.



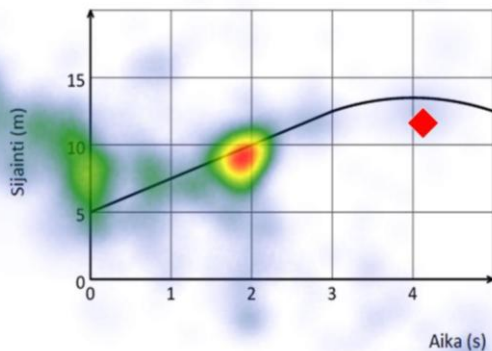
Kuva 8. Tehtävään 5 oikein vastanneet (A-ryhmä)



Kuva 9. Tehtävään 5 väärin vastanneet (A-ryhmä)

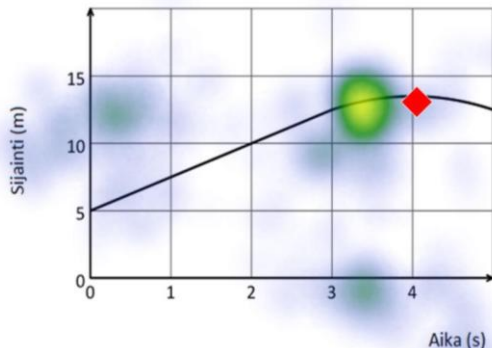
Kun verrataan kuvaa 8 ja 9 nähdään, että molemmissa on kyllä katsottu käyrältä kysyttyä pistettä ja sitä vastaavaa kohtaa y-akselilta, mutta ainoastaan oikein vastanneet ovat katsoneet y-akselia suuremmalta alueelta. Vastausvaihtoehdoista nähdään, että oikein vastanneet ovat katsoneet eniten C) -vaihtoehtoa, joka oli oikea vastaus, kun taas väärin vastanneet ovat silmäilleet eniten D) -vaihtoehtoa, joka vastaa pistearvo tulkintaa. Vastaavat tulokset ovat nähtävissä kaikissa tehtävissä. Seuraavaksi esitetään tehtäväjärjestyksen vaikutukset lämpökarttoihin.

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?

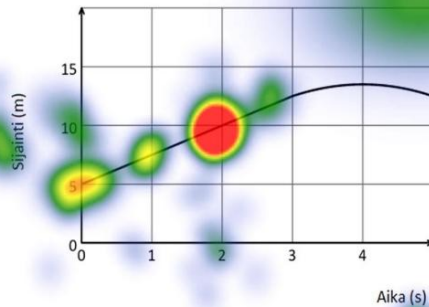


- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Kuva 10. Tehtävä 5, kun 5 oikein ja 5M oikein (ylhäällä A-ryhmä, alhaalla B-ryhmä)

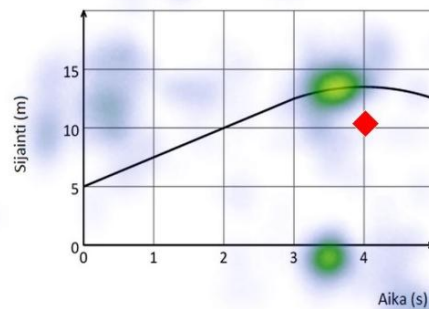
Tehtävän 5 kartoissa näkyy, että A-ryhmä on katsonut sekä pistettä käyrältä että isompaa aluetta y-akselilta. B-ryhmän tulokset ovat huomattavasti himmeämmät, mutta niistä on nähtävissä häivähdys laajemmasta katseluvälisestä y-akselilla, mutta sitä ei ole mahdollista sanoa varmasti. B-ryhmän katseet ovat myös keskittyneet käyrälle kysytystä pisteestä oikealle, mitä ei ole nähtävissä A-ryhmän käytöksessä. Näissä kuvissa näkyy, että tehtäväjärjestys on vaikuttanut selkeästi oppilaiden katselukäytökseen. Tarkastellaan seuraavaksi tehtävää 5 siten että, vaikka siihen on vastattu oikein, 5M tehtävään on vastattu väärin.

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?

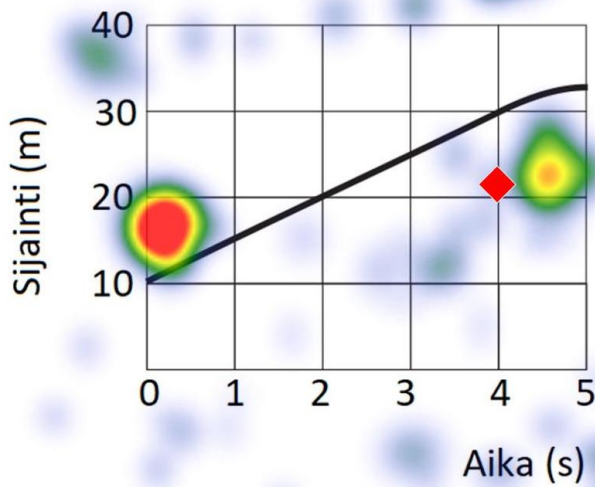


- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Kuva 11. Tehtävä 5, kun 5 oikein ja 5M väärin (ylhällä A-ryhmä, alhaalla B-ryhmä)

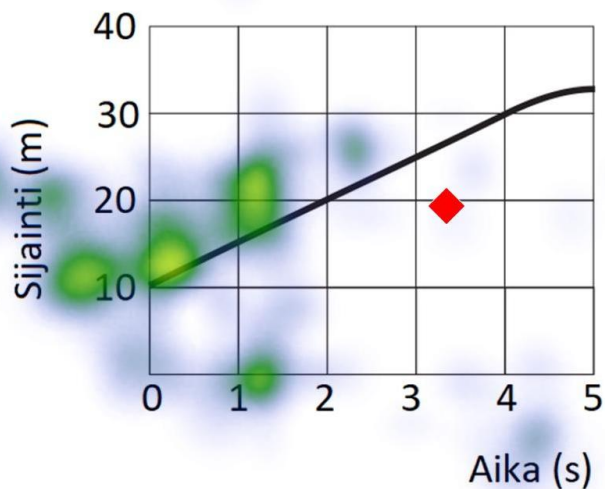
Kuvassa 11 katselukäyttäytyminen näyttää melko samalta kuin kuvassa 10. Suurin muutos näkyy A-ryhmässä, jossa on selkeästi haettu tangentin pistettä myös kysytyn käyrän pisteen yläpuolelta. Muuten A- ja B-ryhmien välillä on edelleen suuria eroja, mutta erot ovat samankaltaisia kuin aiemmin. Myös outo lämpöalue B-ryhmän kuvassa tehtävässä annetun käyrän pisteen oikealla puolella on havaittavissa. Samanlaiset erot näkyvät myös tapauksissa, joissa joko molemmat tehtävät menevät väärin tai ainoastaan 5M menee väärin (ks. Liite D).

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?

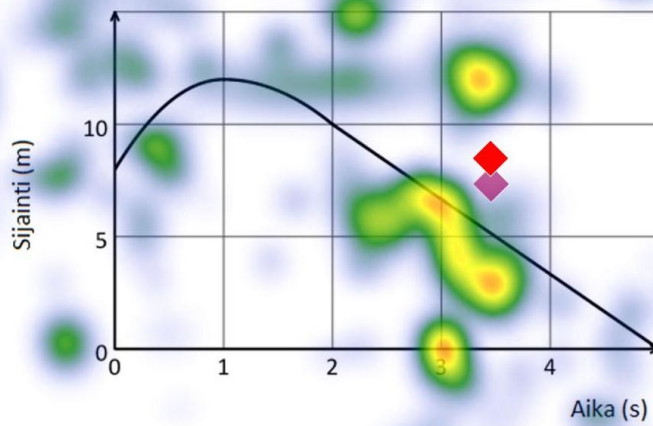


- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

Kuva 12. Tehtävä 5M, kun 5 oikein ja 5M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

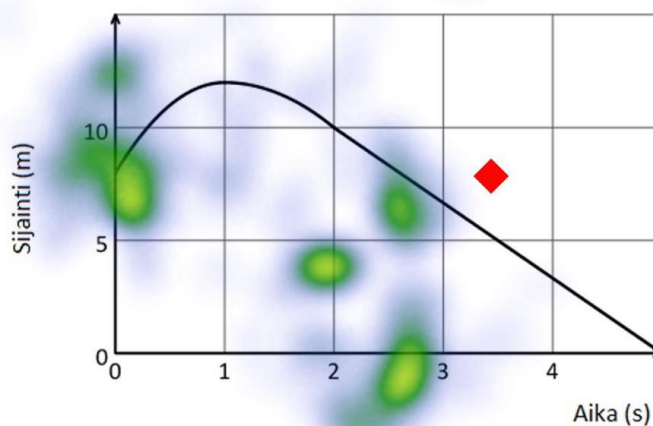
Tehtävässä 5M näkyy selvä ero väärin vastanneiden kesken. A-ryhmällä, joka vastasi tehtävään patterin loppupuolella (vastattuaan oikein samankaltaiseen tehtävään testin alussa) näkyy todisteita katselusta y-akselilla muuallakin kuin käyrän pistettä vastaavassa kohdassa. B-ryhmällä todisteita tällaisesta käytöksestä ei näy. Kummallakaan ryhmällä ei näy katselua käyrän pisteessä. Samanlaista käyttäytymistä on nähtävissä myös tehtävässä 18 (ks. Kuva 13).

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

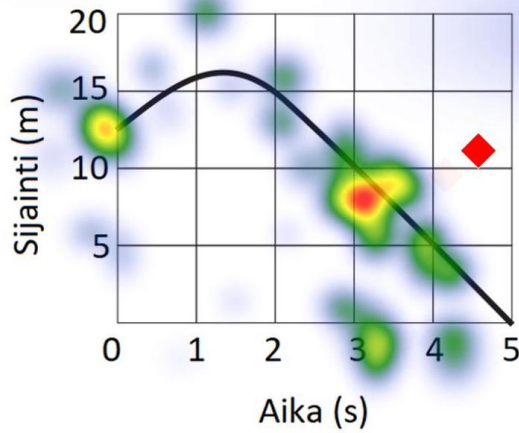
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

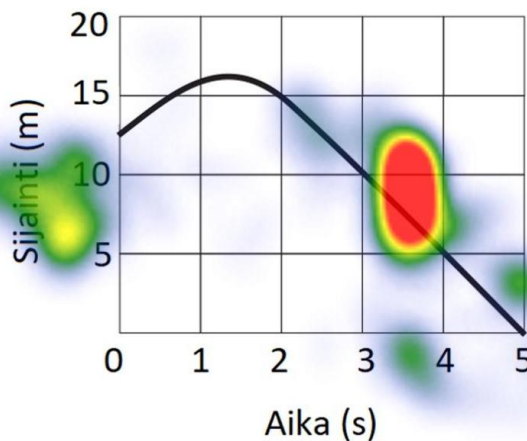
Kuva 13. Tehtävä 18, kun 18 väärin ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?

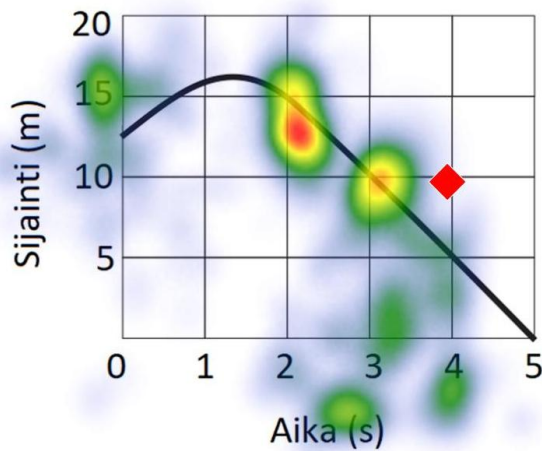


- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Kuva 14. Tehtävä 18M, kun 18 oikein ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

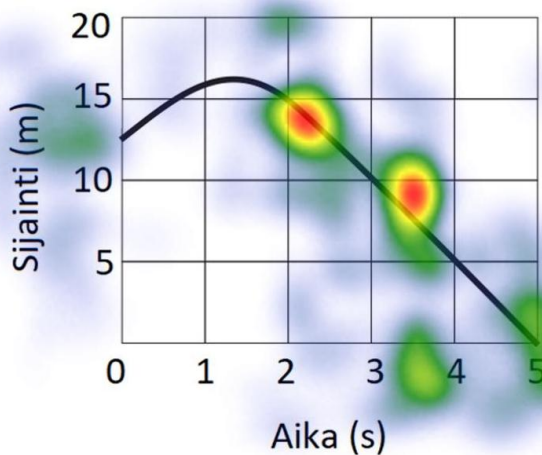
Kuten edellä nähtiin tehtävien 5M ja 18 kohdalla, väärin vastanneiden kesken on nähtävissä eroja tehtäväjärjestyksestä riippuen. Myös tehtävässä 18M tällainen ero on nähtävissä. Tällä kertaa suuremmalle y-akselin alueelle katsovia olivat B-ryhmän henkilöt. Onkin huomattavaa, että kaikissa tapauksissa se ryhmä, jolle tehtävä on tullut ensin vastaan, on katsonut laajemmalla alueella y-akselia kuin toinen ryhmä.

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Kuva 15. Tehtävä 18M, kun 18 oikein ja 18M oikein (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Kuvan 15 mukaan ei A- ja B-ryhmien kesken ole nähtävissä paljon eroja tehtävässä 18M mikäli molempiin tehtäviin on vastattu oikein. Molemmat ryhmät ovat katsoneet käyrältä kahta pistettä kysytyn käyrän pisteen lähistöltä. Näiden pisteiden akseliarvoja on sitten käytetty kulmakertoimen määrittämiseen, koska oppilaat ovat vastanneet oikein. Sama käyttäytymismalli on nähtävissä myös tehtävissä 5M ja 18 sekä osittain tehtävässä 5 (ks. Liite D).

5.4 AOI -analyysi

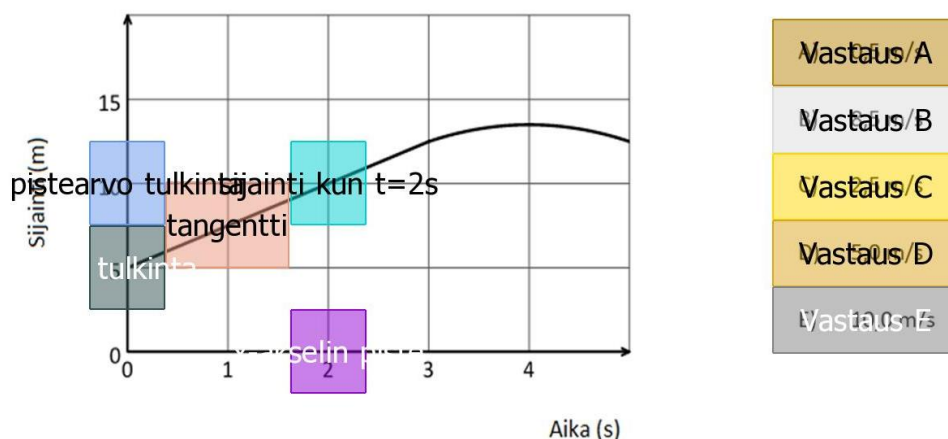
Tässä luvussa esitetään tehtäviin 5, 5M, 18, 18M muodostetut kiinnostusalueet. Ne on merkitty alla olevissa kuvissa erivärisinä laatikoina siten, että yhden tehtävän laatikot ovat keskenään yhtä suuret. (Laatikoiden koot on kerätty alla olevaan taulukkoon 15.) Lisäksi käydään läpi tilastollinen analyysi saadulle katselukäytökselle. Analyysissä on hahmoteltu kuinka suuri merkitys tehtäviin vastaamisen oikeellisuudella on. Oikeellisuuden lisäksi on tehtäväjärjestyksen merkitsevyyttä tutkittu.

Taulukko 15. Käytettyjen AOI -kenttien koot ruuduille pistearvo tulkinta, kulmakerroin tulkinta, käyrän piste ja x-akselin piste (ks. Kuva 16)

Tehtävä	Koko (px)	Peittävyys (%)
5	9384	0,5
5M	23595	1,1
18	23595	1,1
18M	22940	1,1

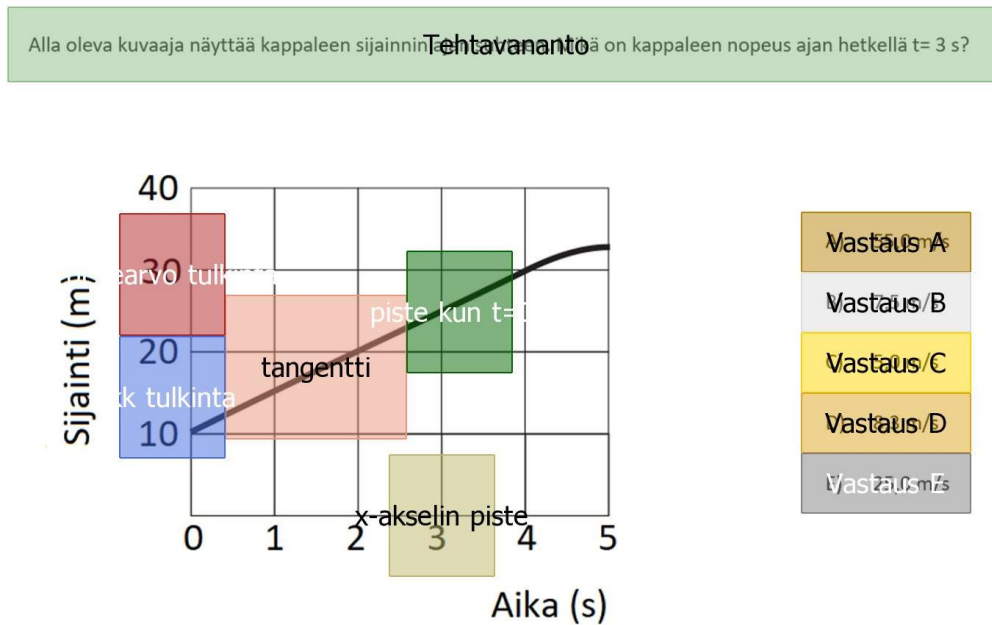
5.4.1 AOI -kentät

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ja nopeuden. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2s$?



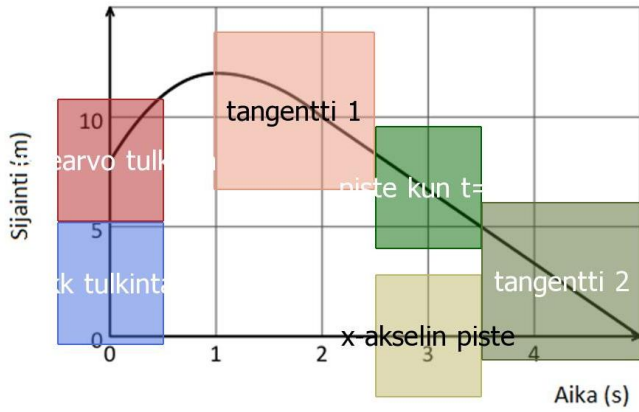
Kuva 16. Tehtävän 5 AOI -kentät

Kuvassa 16 on y-akselilla olevat alueet suunniteltu täsmälleen yhtä suuriksi, jotta tilastollinen analyysi on mahdollista. Tehtävän 5 alueet oli helppo määrittää, koska tangentin kulmakertoimen määrittämiseen vaadittava toinen y-akselin piste on kaikkein helpointa katsoa kohdasta sijainti on 5 metriä. Mainittu helppous oli todettavissa lämpökartoista, koska sille alueelle oppilaiden katse keskittyi (ks. Kuva 8 ja 9). Seuraavaksi on esitetty myös tehtäville 5M, 18 ja 18M päätetyt AOI -kentät. Kuten taulukosta 15 näkee, kenttien koot ovat melkein identtiset, mutta niiden muodot vaihtelevat tehtävien välillä.



Kuva 17. Tehtävän 5M AOI -kentät

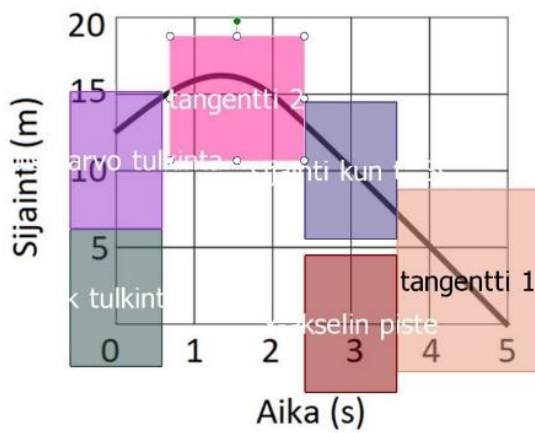
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ja nopeuden ajan funktiona. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- Vastaus A
- Vastaus B
- Vastaus C
- Vastaus D
- Vastaus E
- Vastaus F

Kuva 18. Tehtävän 18 AOI -kentät

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ja nopeuden ajan funktiona. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?

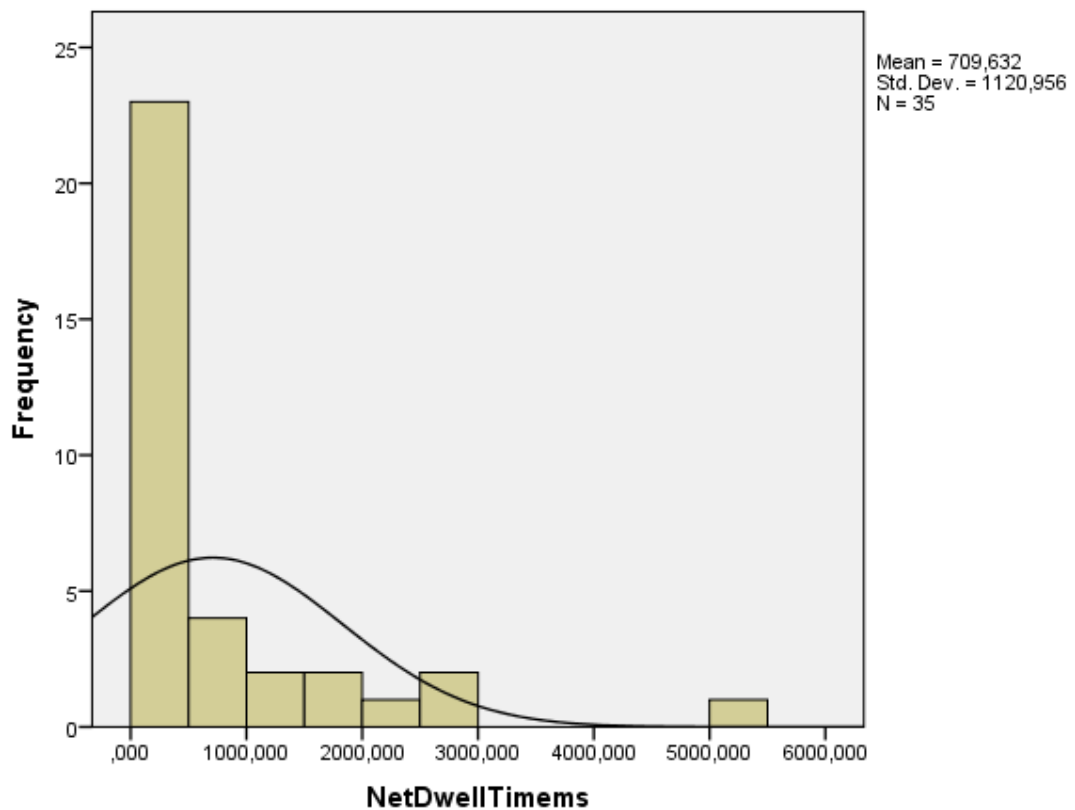


- Vastaus A
- Vastaus B
- Vastaus C
- Vastaus D
- Vastaus E
- Vastaus F

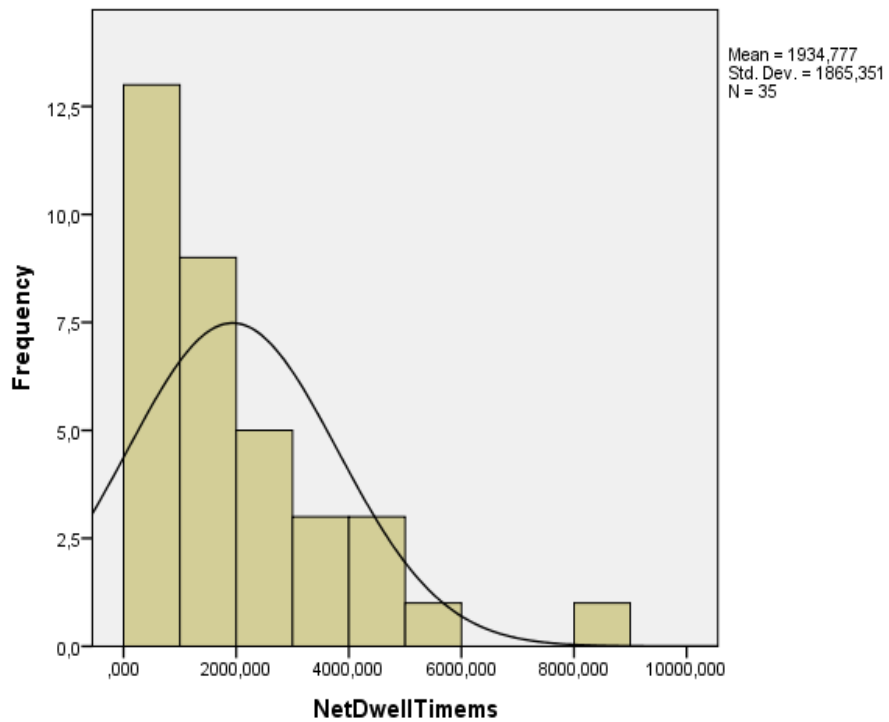
Kuva 19. Tehtävän 18M AOI -kentät

5.4.2 Katseluajat ja katselukerrat AOI -kentissä

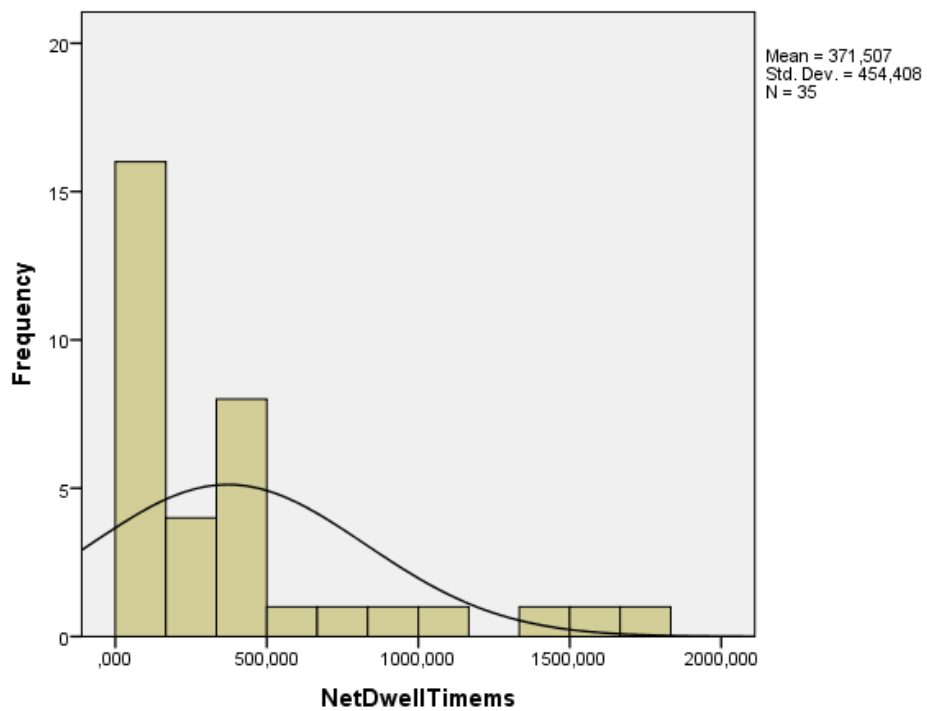
Tehtävissä oikea vastaus on löydettävissä muodostamalla käyrän pisteelle tangenti, jonka kulmakerroin on kysytty vastaus. Jotta kulmakerroin voidaan määrittää, tarvitaan numeroarvo, joka löytyy kulmakerroin tulkinta -nimisen AOI -kentän sisältä (ks. Kuva 16-19). Näin ollen laskettiin SPSS -ohjelmistoa käyttäen katseluajan ja katselukertojen määrät kyseisessä kentässä. Katseluaikojen määrät on esitetty seuraavaksi histogrammeina, joista näkyy katselijoiden määrä suhteessa kokonaiskatseluajan määrään. Tilastojen laskemiseen on käytetty Poissonin -jakaumaa.



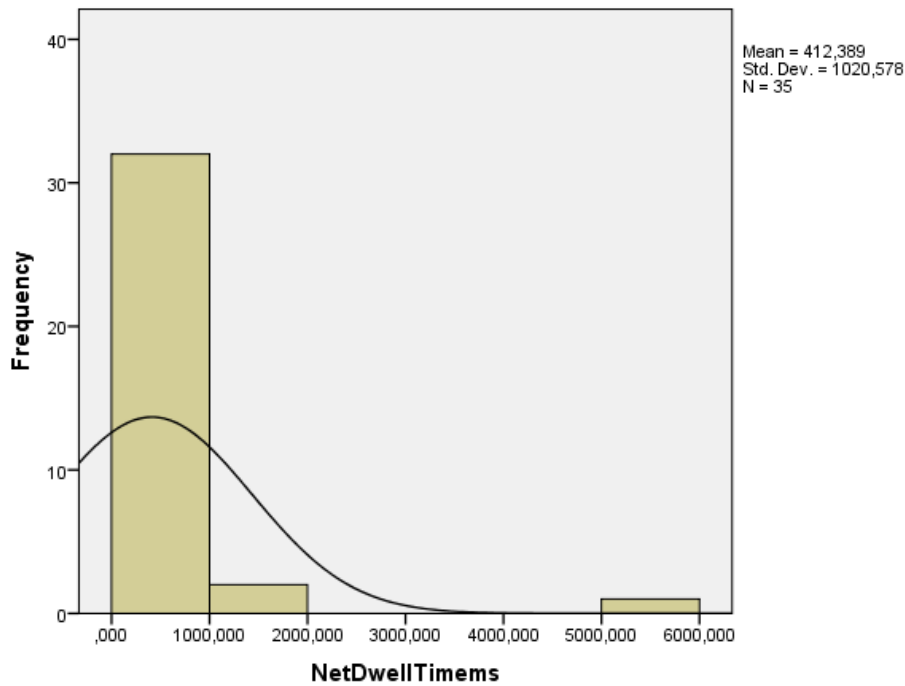
Kuva 20. Kaikkien oppilaiden katseluajat kulmakerroin tulkinta -kenttään millisekunteina tehtävässä 5



Kuva 21. Kaikkien oppilaiden katseluajat kulmakerroin tulkinta –kenttään millisekunteinä tehtävässä 5M



Kuva 22. Kaikkien oppilaiden katseluajat kulmakerroin tulkinta –kenttään millisekunteinä tehtävässä 18



Kuva 23. Kaikkien oppilaiden katseluajat kulmakerroin tulkinta –kenttään millisekunteina tehtävässä 18M

Histogrammeista nähdään, että suurin osa oppilaista käyttää ratkaisun kannalta olennaisen kulmakerroin tulkinta –kentän katsomiseen alle puoli sekuntia. On todennäköistä, että kyseisessä ajassa katsotaan haettu numeroarvo vain kerran. Histogrammeista nähdään lisäksi, että iso osa oppilaista käyttää 0,1 sekuntia tai alle ruudun katsomiseen. Kuinka paljon informaatiota he kyseisessä aikamäärässä kykenevät saamaan on kyseenalaista.

Katseluaikojen, jotka kohdistuvat kulmakerroin tulkinta –kenttään, keston saattaa vaikuttaa moni asia. Erityisesti se onko tehtävään vastannut oikein vai väärin ja se missä järjestyksessä tehtävät on esitetty. SPSS -ohjelmistolla arvioitiin kuinka merkitseviä kyseiset seikat ovat ja kuinka monta katselukertaa kenttä saa eri tapauksissa. Tulokset merkitsevyydestä on esitetty taulukossa 16 ja katselukertojen määrät on esitetty taulukossa 17. Taulukosta 16 nähdään, että tehtävässä 5 sekä oikeallisuudella että järjestyksellä on suuri tilastollinen merkitys ($p < 0,05$). Vastaavasti tehtävässä 5M ja 18M oikeallisuudella tai järjestyksellä ei ole tilastollista merkitsevyyttä. Sen sijaan tehtävässä 18 oikeallisuudella on merkitystä, mutta tehtäväjärjestyksellä ei ole.

Taulukko 16. Oikeallisuuden ja järjestyksen merkitys tehtävittäin kulmakerroin tulkinta - kentälle

Tehtävä	Parametri	Wald Chi Square	df	<i>p</i>
5	Oikeallisuus	5,773	1	,016
	Järjestys	7,729	1	,005
5M	Oikeallisuus	2,585	1	,108
	Järjestys	,328	1	,567
18	Oikeallisuus	4,467	1	,035
	Järjestys	,564	1	,453
18M	Oikeallisuus	,090	1	,764
	Järjestys	,545	1	,460

Oikeallisuuden ja tehtäväjärjestyksen vaikutukset katselukertoihin on esitetty taulukossa 17. Taulukosta nähdään, että tilastollinen merkitsevyys oikeallisuudessa tehtävissä 5 ja 18 saa aikaan suuren eron katselukerroissa. Väärin vastanneet eivät katsoneet kulmakerroin tulkinta -kentää kertaakaan, mutta oikein vastanneet katsoivat sitä monta kertaa. Samanlainen trendi näkyy myös muissa tehtävissä, mutta tehtävissä 5 ja 18 ero on suurin. Myös järjestyksellä on suuri merkitys tehtävässä 5, katselukertojen määrä on kolminkertainen A-ryhmällä B-ryhmään nähden. Muissa tehtävissä ero ei ole niin suuri.

Taulukko 17. Katselukertojen keskiarvo eri muuttujilla kulmakerroin tulkinta -kentässä

	5	5M	18	18M
Vastaus oikein	2,2	4,6	1,1	1,4
Vastaus väärin	0,4	3,9	0,8	0,9
Järjestys A	1,5	3,5	1,4	1,0
Järjestys B	0,5	5,2	0,6	1,2

Yleisin virhekäsitys kinematiikan kuvaajien tulkinnassa on pistemäinen tulkinta. Kyseisessä ajattelutavassa katsoja määrittää kuvaajan hetkellisen arvon katsomalla käyrän pisteen arvot akseleilta ja jakamalla ne suoraan keskenään. Tutkimuksessa määritettiin y-akselille AOI -kenttä käyrän pistettä vastaavalle kohdalle. SPSS antaa mahdollisuuden tehdä samanlaisen analyysin näin määritetyille pistearvo tulkinta -kentälle kuin edellä tehtiin kulmakerroin tulkinta -kentälle. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 18. Kyseisestä taulukosta nähdään, että oikeallisuudella oli suuri tilastollinen merkitsevyys ($p < 0,05$) tehtäville 5 ja 5M. Järjestyksellä taas oli suuri tilastollinen merkitsevyys tehtävässä 5M.

Taulukko 18. Oikeallisuuden ja järjestyksen merkitys tehtävittäin pistearvo tulkinta -kentälle

Tehtävä	Parametri	Wald Chi Square	df	<i>p</i>
5	Oikeallisuus	4,574	1	,032
	Järjestys	1,537	1	,215
5M	Oikeallisuus	14,635	1	,000
	Järjestys	4,831	1	,028
18	Oikeallisuus	,898	1	,343
	Järjestys	,072	1	,788
18M	Oikeallisuus	,006	1	,940
	Järjestys	,062	1	,803

Katsomalla taulukkoa 19 on nähtävissä, että tehtävään oikein vastanneet käyttivät selkeästi enemmän aikaa pistearvo tulkinta -kentän katsomiseen kuin väärin vastanneet. Tämä käy yhteen taulukosta 14 saatujen tulosten kanssa, sillä tehtävään oikein vastaaminen vaatii molempien kenttien katsomista. Taulukosta nähdään myös, että A-ryhmä katsoi useammin pistearvo tulkinta -kenttää y-akselilta kuin B-ryhmä. Syytä tälle on mahdotonta olemassa olevan datan perusteella määrittää.

Taulukko 19. Katselukertojen keskiarvo eri muuttujilla pistearvo tulkinta -kentässä

	5	5M	18	18M
Vastaus oikein	4,4	1,6	6,8	1,6
Vastaus väärin	3,1	0,9	7,4	0,9
Järjestys A	4,8	3,6	6,1	3,6
Järjestys B	2,8	0,4	8,3	0,4

5.5 Oppilaiden johdonmukaisuus

Viimeisen tehtävän (11(+)) tarkoitus tässä patterissa on mitata kuinka tietoisia oppilaat ovat omista valinnoistaan ja kuinka johdonmukaisia he ovat niissä. Tehtävän vastausvaihtoehtoina ovat sekä pistearvo tulkinnan mukainen kuvaaja että kulmakerroin tulkinnan mukainen kuvaaja. Alle on kerätty taulukot 20 ja 21, joista näkee oppilaiden vastaukset tehtäviin 5, 5M, 18 ja 18M sekä kuinka paikkansapitävät vastaukset ovat verrattuna viimeiseen reflektiotehtävään. Tulkintatavat on värikoodattu siten, että keltaiset vastaukset on tehty kulmakerroin tulkinnalla, vihreät pistearvo tulkinnalla ja violetit jollain muulla tulkinnalla. Tarkastelussa voidaan ajatella johdonmukaiseksi vastaustavaksi tuloksia, joissa korkeintaan yksi vastaus poikkeaa muista.

Taulukko 20. Oppilaiden johdonmukaisuus vastatessa ryhmä A

Testattava	5 vastaus	5M vastaus	18 vastaus	18M vastaus	Viimeisen tehtävän tulkintatapa
A01	D	C	D	A	Kulmakerroin
A02	D	C	D	A	Kulmakerroin
A03	D	D	D	D	Pistemäinen
A04	D	D	D	D	Pistemäinen
A05	C	C	A	A	Kulmakerroin
A06	C	C	A	A	Kulmakerroin
A07	C	C	F	A	Kulmakerroin
A08	C	C	A	A	Kulmakerroin
A09	D	D	A	F	Kulmakerroin
A10	D	C	A	F	Kulmakerroin
A11	C	C	A	F	Kulmakerroin
A12	D	C	A	A	Kulmakerroin
A13	D	D	D	D	Pistemäinen
A14	C	C	A	A	Kulmakerroin
A15	C	B	F	F	Kulmakerroin
A16	C	C	A	A	Kulmakerroin
A17	C	C	B	A	Kulmakerroin

Taulukko 21. Oppilaiden johdonmukaisuus vastatessa ryhmä B

B01	C	D	F	F	Pistemäinen
B02	C	D	D	D	Pistemäinen
B03	C	D	A	A	Kulmakerroin
B04	C	D	A	A	Kulmakerroin
B05	D	E	D	D	Pistemäinen
B06	E	E	E	E	Muu
B07	A	A	D	A	Pistemäinen
B08	C	C	A	A	Kulmakerroin
B09	D	D	D	D	Pistemäinen
B10	C	D	A	A	Kulmakerroin
B11	C	D	A	F	Pistemäinen
B12	C	D	D	E	Kulmakerroin
B13	C	C	A	F	Kulmakerroin
B14	C	C	A	A	Kulmakerroin
B15	C	C	A	A	Kulmakerroin
B16	C	C	A	A	Kulmakerroin
B17	D	D	D	D	Pistemäinen
B18	C	D	A	A	Kulmakerroin

6 Johtopäätökset

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuskysymykset uudestaan. Jokaisen kysymyksen kohdalla esitetään mitä tuloksia kyseiseen kysymykseen on saatu ja mitä kyseisistä tuloksista voidaan päätellä. Käytetyt menetelmät kysymystä kohden esitettiin taulukossa 7. Luvussa käydään myös lyhyesti läpi millaisia jatkokysymyksiä tulokset herättävät ja mitä mahdollisia tulevaisuuden tutkimusaiheita voisi olla. Myös tutkimuksen luotettavuudesta annetaan arvio.

6.1 Mitä havaintoja on saatavilla Beichnerin kulmakerroin/korkeus –sekaannus virhekäsityksestä uuden TUG-K testin tehtävien avulla?

Tämän työn päätavoite oli saada havaintoja Beichnerin kuvaamasta kulmakerroin/korkeus –sekaannus virhekäsityksestä. Kuten aiemmin mainittiin, tämä tarkastelu rajattiin viiteen tehtävään. Tehtävät jakautuvat kahteen tehtäväpariin ja yhteen oppilaiden tiedostamista kartoittavaan tehtävään. Katsomalla vastausprosentteja, jotka on esitetty taulukossa 8, nähdään, että vain noin 50 – 66 % vastauksista oli oikeita. Väärät vastaukset olivat melkein kaikki kulmakerroin/korkeus –sekaannus virhekäsityksen mukaisia, mikä on nähtävissä liitteessä C. Se, ketkä oppilaista vastasivat mihinkin tehtävään kyseisen virhekäsityksen mukaan, on parhaiten nähtävissä johdonmukaisuus -analyysistä, mikä esitetään taulukoissa 20 ja 21.

Vastausprosentteista nähdään lisäksi, että tehtäväjärjestyksellä oli merkitystä virhekäsityksiin. Tämä nähdään mm. vertaamalla tehtävää 5M A- ja B-ryhmien välillä. B-ryhmä, jolle tehtävä tuli ensin vastaan, pärjasi paljon huonommin kuin A-ryhmä. Vastausprosenttien lisäksi suoritettut lämpökartta-analyysit antavat selkeitä todisteita virhekäsitysten olemassaolosta väärin vastanneiden kesken. Kuten kuvista 8 ja 9 näkee, väärin vastanneet ovat selkeästi katsoneet ainoastaan pistearvo tulkintaa tukeviin kohtiin tehtävissä. Sen sijaan ne, jotka eivät ole vastanneet virhekäsityksen mukaisesti, ovat katsoneet tehtävässä useampaan kohtaan y-akselilla.

Vaikka tutkitut tehtävät 5 ja 5M sekä 18 ja 18M olivat vastaavia, eivät virhekäsitykset esiinny johdonmukaisesti kaikilla vastaajista. Tämä nähdään selkeästi taulukosta 20 ja 21. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että kaikille oppilaille ei ole muodostunut selkeää mallia siitä kuinka tämän tyyppisiä tehtäviä tulee ratkaista. Heillä on tunneilta saadut mallit, mutta mieleen aiemmin muodostuneet virhekäsitykset ovat myös läsnä. Täten heidän mielensä valitsee luultavasti ratkaisumenetelmän, joka on lähinnä tehtävän ulkomuotoa. Oppilaalla on siis mielessä jonkinlainen malli kuinka tietty tehtävä ratkaistaan. Mikäli esitetty graafi on lähempänä virhekäsityksen mallia kuin oikeaa mallia, niin oppilas valitsee virhekäsityksen mukaisen ratkaisun. Sitä, onko tämä prosessi tietoista vai tiedostamatonta, on mahdotonta arvioida tämän tutkimuksen puitteissa.

6.2 Miten tehtäväjärjestys vaikuttaa virhekäsityksien esiintymiseen?

Tehtäväjärjestyksellä tuntui olevan yllättävän suuri merkitys virhekäsitysten esiintymiselle. Tästä saatiin viitteitä jo alussa suoritettaessa tehtävien vastausmäärille khiin neliö –testejä (ks. Luku 5.1). Sen jälkeen, kuten luvussa 5.2 esitellään, asiaa tutkittiin keräämällä vastaukset nelikenttään ja muodostamalla niiden kenttien avulla lämpökarttoja. Nelikenttien lisäksi ilmiö on nähtävissä AOI -kenttien tilastollisesta analyysistä. Tilastollinen analyysi on käyty läpi luvussa 5.4. Lisätodisteita järjestyksen vaikutuksesta haettiin johdonmukaisuus -analyysistä (Luku 5.5), mutta se ei tuottanut merkitsevää tulosta, kuten nähdään taulukoista 20 ja 21.

Mainituista luvuista löytyvistä tuloksista (Taulukko 8 ja 13) nähdään, että B-ryhmällä oli selkeästi vähemmän virhekäsityksiä tehtävässä 5 kuin A-ryhmällä. Tätä voidaan selittää sillä, että B-ryhmälle kyseinen tehtävä tuli myöhemmin vastaan testissä, jolloin he olivat oppineet testin aikana. Tätä päätelmää tukee se, että niin A- kuin B-ryhmällä oikeiden vastausten määrä tehtävien 5 ja 5M suhteen kasvoi testin edetessä. Jälkimmäisenä kohdattuun tehtävään vastattiin enemmän oikein kuin ensimmäiseen tehtävään. Tämä käyttäytyminen nähdään erityisen hyvin nelikentistä (Taulukko 13 ja 14). Taulukoissa tehtäväparien kohdalla melkein ainoastaan ne muuttivat vastautapaansa, jotka vastasivat ensimmäiseen väärin. Oppimista on selkeästi tapahtunut.

Huolimatta siitä, että tehtävät 5 ja 5M olivat ratkaisutavaltaan identtiset, on merkittävää huomata, että tehtävien järjestyksellä oli suuri merkitys niiden ratkaisuun ja siten virhekäsitysten esiintymiseen. Molemmat ryhmät kohtasivat tämän tyyppisen tehtävän testin toisena tehtävänä, mutta B-ryhmän tulokset ovat huomattavasti huonommat kuin A-ryhmän (Taulukko 8). Tähän eroavaisuuteen ei löydy järkevää selitystä. AOI -kentistä tehdystä analyysistä (Taulukko 16 ja 17) nähdään, että erityisesti tehtävässä 5 tehtäväjärjestys vaikuttaa merkitsevästi katselukäyttäytymiseen. Koska samanlaista merkitsevyyttä ei löydy tehtävästä 5M, on vaikea spekuloida merkitsevyyden syytä. Katselukäyttäytymisen erot ovat huomattavissa myös lämpökartoista, jotka ovat koottuna liitteeseen D.

Lisäksi, jos tarkastellaan tehtäväparia 18 ja 18M, ei vastausten oikeellisuudessa (Taulukko 8) ole huomattavaa eroa eikä myöskään AOI -kenttien tilastollisessa analyysissä (Taulukko 16). On kuitenkin nähtävissä, että katselukertojen määrät muuttuvat selkeästi kaikissa tehtävissä, kun katselujärjestystä vaihdetaan (Taulukko 17 ja 19). AOI -kenttien analyysin perusteella voidaan todeta, että A-ryhmällä virhekäsityksiä tukeva käyttäytyminen vähenee, mutta B-ryhmällä se kasvaa. Eli A-ryhmässä testin edetessä käytetään vähemmän katselukertoja virhekäsityksen mukaiseen pistearvo tulkinta -kenttään ja enemmän kulmakerroin tulkinta -kenttään. B-ryhmä taas katsoo testin edetessä enemmän pistearvo tulkinta -kenttää ja vähemmän kulmakerroin tulkinta -kenttään.

6.3 Kuinka oppilaiden ajankäyttö tehtävien osien välillä vastaa heidän vastauksien oikeellisuutta?

Kaiken kaikkiaan oppilaat käyttivät hyvin vähän aikaa kulmakerroin tulkinta –kentän katsomiseen, mikä nähdään kuvista 20-23. Suurin osa oppilaista käytti 0-1 sekuntia katsoakseen kyseistä kenttää. Tehdyistä AOI -kenttien tilastollisista analyyseistä nähdään selvästi, että ne oppilaat, joilla oli enemmän katselukertoja kyseiseen kenttään, ratkaisivat enemmän tehtäviä oikein (ks. Taulukko 16-19). Oikein vastanneiden katselun määrä kulmakerroin tulkinta –kenttään oli 5 tehtävässä 5,5 kertainen väärin vastanneisiin nähden. Vaikka muissa tehtävissä suhdeluvut eivät olleet yhtä suuret, olivat katselukerrat oikein vastanneilla selkeästi suuremmat. Päinvastaisesta eli pistearvo tulkinta –kentän katselukerroista ei voida tehdä samalla lailla päätelmiä sillä, jotta oikeaan vastaukseen tehtävässä pääsee, on molempien kenttien katselu olennaista. Tämä näkyykään siinä, että oikein vastanneet katselivat enemmän myös pistearvo tulkinta –kenttään kuin väärin vastanneet.

Kuten luvussa 5.4.2 mainittiin, myös tehtäväjärjestyksellä on tilastollinen merkitsevyys katselukäytöksen suhteen. Kyseisen luvun taulukoista nähdään, että oppilaat käyttivät enemmän aikaa kulmakerroin tulkinta -kentän katseluun mikäli tehtävä, johon se sisältyi, tuli oppilaalle vastaan ensin tehtäväpatterissa. Tästä voidaan päätellä, että oppilaat kenties tunnistivat jälkimmäisen tehtävän tehtävätyypin, jolloin he tarvitsivat vähemmän aikaa vastauksen löytämiseen. Toinen vaihtoehto on, että oppilaat eivät vain jaksaneet lähempänä tehtäväpatterin loppua käyttää niin paljon aikaa tehtävän ratkomiseen. Samanlainen taipumus on nähtävissä myös pistearvo tulkinta -kentän suhteen A-ryhmän tapauksessa, mutta ei B-ryhmällä, minkä selittäminen on vaikeaa.

6.4 Miten johdonmukaisia oppilaat ovat vastauksissaan ja kuinka tietoisia he käyttäytymisestään ovat?

Kuten aiemmin mainittiin, oppilaiden vastauksille suoritettiin johdonmukaisuus -analyysi, minkä tulokset löytyvät taulukosta 20 ja 21. Tuloksista näkee, että 17 oppilasta 35:stä vastasi testiin täysin johdonmukaisesti. Heidän vastaustapansa tehtävissä 5, 5M, 18 ja 18M olivat identtiset ja lisäksi he kykenivät patterin viimeisessä reflektiotehtävässä hahmottamaan, että tämä oli todellakin heidän tapansa vastata. Yksikään oppilas ei vastannut samoin 5, 5M tehtävään siten että olisi sitten vastannut eri lailla johdonmukaisesti 18 ja 18M tehtävään. Eli esimerkiksi vastannut kulmakerroin menetelmällä 5 ja 5M tehtävään, mutta pistearvo tulkinta menetelmällä 18 ja 18M tehtävään.

Johdonmukaisista vastaajista noin puolet vastasi tehtäviin oikein ja puolet väärin. Lisäksi 9 oppilasta vastasi tehtäviin melkein johdonmukaisesti, eli siten että neljästä havainnoidusta tehtävästä kolmeen vastattiin johdonmukaisesti, ja reflektiotehtävään vastattiin näiden kolmen tehtävän mukaan. Näin ollen voidaan sanoa, että 70 % oppilaista vastasi johdonmukaisesti tehtäviin. Tästä voidaan päätellä, että suurin osa oppilaista on tietoisia omasta käytöksestään tai ainakin kykenee tunnistamaan sen kysyttäessä esimerkin avulla. On

mahdotonta arvioida, olisivatko oppilaat yhtä tietoisia, jos heillä ei olisi käytössä tehtävän 11(+) apukuvia.

6.5 Tulevat tutkimukset

35 hengen otanta ei ole kovin suuri tilastollisen tulkinnan suhteen. Tämä työ on kuitenkin osa suurempaa tutkimusta, joten tulevaisuudessa on kenties enemmän aineistoa analysoitavaksi. Kaikki tilastollinen aineisto on vähäistä tässä tutkimuksessa, mutta, jos suunnitelmat toteutuvat, tulevaisuudessa on tarjolla noin sadan mittauksen aineistot, jolloin merkitsevyyksien analyysi muuttuu luotettavammaksi. Erityisesti johdonmukaisuus -analyysi jää tässä hyvin pieneksi aineiston puutteessa. On mielenkiintoista nähdä kuinka suuremmalla määrällä oppilaita johdonmukaisuus on nähtävissä.

Kuten luvussa 6.1 todettiin, tämän tutkimuksen puitteissa ei kyetä arvioimaan oppilaiden sisäisiä prosesseja, kun he valitsevat virhekäsityksen ja oikean mallin väliltä. Tulevaisuudessa tätä voisi olla mahdollista tutkia. Aiheesta saataisiin varmasti lisätietoa suorittamalla testin jälkeisiä haastatteluja. Haastattelut tulisi luultavasti suorittaa välittömästi testin jälkeen, jotta oppilas vielä muistaa mitä on tehnyt.

6.6 Luotettavuuden arviointi

Mittauksia suoritettaessa pyrittiin koejärjestelyt asettamaan mahdollisimman identtisiksi käytettyjen kahden laitteiston välillä. Näin ollen mittausjärjestelyn luotettavuus riippuu laitteistosta. Laitteiston toimivuus voidaan olettaa melko luotettavaksi, sillä kalibraatio suoritettiin monta kertaa joka testin aikana. Tästä huolimatta osa B-ryhmän mittauksista tapahtui eri taajuudella, mutta luotettavuutta voitiin parantaa poistamalla kyseiset mittaukset lämpökartoista. Muutenkin osa mittausdatasta suljettiin pois lämpökartoista, mikä parantaa luotettavuutta. Vaikka laitteiston keräämään dataan voidaankin luottaa, ovat siitä tuotettujen lämpökarttojen tulkintojen luotettavuudet rajalliset. Monessa tapauksessa nähdään selkeitä merkkejä virhekäsityksistä, jolloin kuvaa voidaan luotettavasti tulkita (kuva 9). Toisissa tapauksissa, kuten kuvan 10 ja 11 suhteen on vaikeaa muodostaa luotettavaa tulkintaa. Kuvaa 10 ja 11 (B-ryhmä) katsoessa voisi ajatella, että on tapahtunut kalibraatio virhe, sillä lämpöjäljet vastausvaihtoehtojen kohdalla näyttävät olevan senttimetrin verran liikaa oikealla. Jos tuloksia siirrettäisiin vasemmalle siirtyisi kuitenkin samalla tehtävänannossa oleva lämpöjälki pois kysytyn pisteen luota, mikä taas ei käy järkeen.

Myös AOI -kenttien datasta saatu analyysi voi olla kyseenalaista. Tehtävän 5 kentät (kuva 16) oli helppo muodostaa, koska siinä on nähtävissä loogiset alueet mistä oppilaat voivat tietoa hakea. Sama ei kuitenkaan pidä paikkaansa esimerkiksi tehtävän 18M kohdalla (kuva 19), missä on vaikea määrittää mihin alueeseen virhekäsitykseen ja oikeaan vastaukseen vaadittavat kentät jaotellaan.

Kokonaisuutena luotettavuus on hyvä tuloksissa, jotka eivät vaadi visuaalista tulkintaa kuten vastausprosentit. Tulkintaa vaativissa analyyseissä on jonkin verran epävarmuutta. AOI - kenttien analyysiä voidaan pitää melko luotettavana, mutta lämpäkartojen analyysi on luotettavuudeltaan hyvin rajallista.

Lähdeluettelo

- [1] Jenna Isoniemi, Katseenseurantatutkimus representaation vaikutuksesta kykyyn ratkaista fysiikan ongelmia, Pro Gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Suomi, 2016.
- [2] R. J. Beichner, Testing student interpretation of kinematics graphs, American journal of physics 62(8) (1994) 750-762, DOI: [10.1119/1.17449](https://doi.org/10.1119/1.17449).
- [3] G. Zavala, S. Tejada, P. Barniol ja R. J. Beichner, Modifying the test of understanding graphs in kinematics, Physical Review Physics Education Research 13(020111) 2017, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020111.
- [4] A. Susac, A. Bubic, E. Kazotti, M. Planinic ja M. Palmovic, Student understanding of graph slope and area under a graph: A comparison of physics and nonphysics students, Physical Review Physics Education Research 14(020109) (2018). DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020109
- [5] J. Han, L. Chen, Z. Fu, J. Fritchman ja L. Bao, Eye-tracking of visual attention in web-based assessment using the Force Concept Inventory, European Journal of Physics 38(045702) (2017), DOI: 10.1088/1361-6404/aa6c49.
- [6] A. M. Madsen, A. M. Larson, L. C. 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(010122) (2012), DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.8.010122.
- [7] M. Lai, M. Tsai, F. Yang, C. Hsu, T. Liu, S. Lee, M. Lee, G. Chiou, J. Liang ja C. Tsai, A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 200-2012, Educational Research Review 10 (2013) 90-115, DOI: 10.1016/j.edurev.2013.10.001.
- [8] SMI-Vision www-sivusto: https://www.smivision.com/wp-content/uploads/2016/12/smi_prod_RED250mobile.pdf Luettu 14.3.2018.
- [9] A. D. Smith, J. P. Mestre ja B. H. Ross, Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics, Physical Review Special Topics – Physics Education Research 6(020118) (2010), DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020118.
- [10] M. Kozhevnikov, M. A. Motes ja M. Hegarty, Spatial Visualization in Physics Problem Solving, Cognitive Science 31 (2007) 549-579, DOI: 10.1080/15326900701399897.
- [11] M. Kekule, Students' approaches when dealing with kinematics graphs explored by eye-tracking research method, Proceedings of the Frontiers in Mathematics and Science Education Research Conference, Famagusta, Kypros, 2014.
- [12] R. H. Tai, J. F. Loehr ja F. J. Brigham, An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments, International Journal of Research & Method in Education 29(2) (2006) 185-208, DOI: 10.1080/17437270600891614.
- [13] B. W. Bergey, J. G. Cromley ja N. S. Newcombe, Teaching High School Biology Students to Coordinate Text and Diagrams: Relations with Transfer, Effort, and Spatial Skill,

International Journal of Science Education 37(15) (2015) 2476-2502, DOI: 10.1080/09500693.2015.1082672.

[14] A. Duchkowsky (toim.), Eye Tracking Methodology (2.painos), Springer-Verlag London Limited, Englanti, 2007, s.53-59. DOI: 10.1007/978-3-319-57883-5

[15] S. Ainsworth, The function of multiple representations, Computers & Education 33 (1999) 131-152, DOI: 10.1016/S0360-1315(99)00029-9.

[16] S. Ainsworth, DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations, Learning and Instruction 16 (2006) 183-198, DOI: 10.1016/j.learninstruc.2006.03.001.

[17] D. Hestenes, M. Wells ja G. Swackhamer, Force Concept Inventory, The Physics Teacher 30 (1992) 141-158, DOI: 10.1119/1.2343497.

[18] SensoMotoric Instruments GmbH, Experiment Center Manual version 3.6, 2016.

[19] SensoMotoric Instruments GmbH, Begaze Manual version 3.6, 2016.

[20] M. A. Just ja P. A. Carpenter, A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension, Psychological Review 87(4) (1980) 329-354.

[21] R. Matos, Tobii Pro Webinar: Introduction to eye tracking research, esitetty Tobii Pro verkkosivulla <https://www.tobii.com/>, (18 huhtikuuta 2018).

Liitteet

Liite A: Esitietolomake

Nimi: _____ (tämä tulee vain tutkijoiden käyttöön)									
Seuraavissa kysymyksissä ympyröi valintasi.									
1) Kuinka vanha olet?	17	18	19	muu_____					
2) Mitä sukupuolta olet?	Mies	Nainen							
3) Montako fysiikan kurssia olet käynyt lukiossa?	1	2	3	4	5	6	7	enemmän	
4) Mikä oli edellinen fysiikan arvosanasi?			4	5	6	7	8	9	10
5) Mikä oli edellinen matematiikan arvosanasi?			4	5	6	7	8	9	10
6) Mikä oli edellinen äidinkielen arvosanasi?			4	5	6	7	8	9	10
7) Käytätkö silmälaseja testin aikana?		kyllä		ei					
8) Kuinka motivoitunut olet tekemään parhaasi tutkimuksessa?									
1 – en lainkaan	2 – jonkin verran	3 – motivoitunut	4 – hyvin motivoitunut						
9) Kuinka tärkeää sinulle on tehdä parhaasi tässä tutkimuksessa?									
1 – ei lainkaan	2 – jonkin verran	3 – tärkeää	4 – hyvin tärkeää						
10) Kuinka paljon vaivaa käytät tutkimuksen tekoon?									
1 – en lainkaan	2 – jonkin verran	3 – käytän	4 – käytän paljon						
Älä käännä paperia ympäri									

Kuva 24. Esitietolomakkeen etupuoli

Testin jälkeen:

Kuinka motivoitunut olit tekemään parhaasi tutkimuksessa?

1 – en lainkaan

2 – jonkin verran

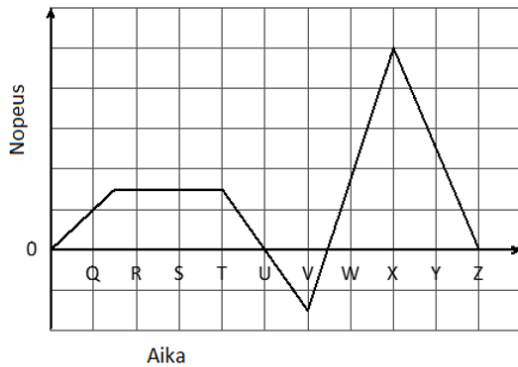
3 – motivoitunut

4 – hyvin motivoitunut

Kuva 25. Esitietolomakkeen toinen puoli

Liite B: Monivalintatestin tehtävät

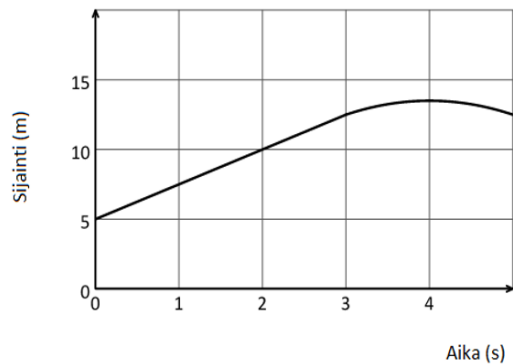
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen nopeuden ajan suhteen. Mikä vastausvaihtoehdoista kuvaa tilannetta, missä kappaleen kiihtyvyys on negatiivisinta?



- A) Väli V → X
- B) Väli T → V
- C) V
- D) X
- E) Väli X → Z
- F) Väli R → T

Kuva 26. Tehtävä 1(2)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2s$?

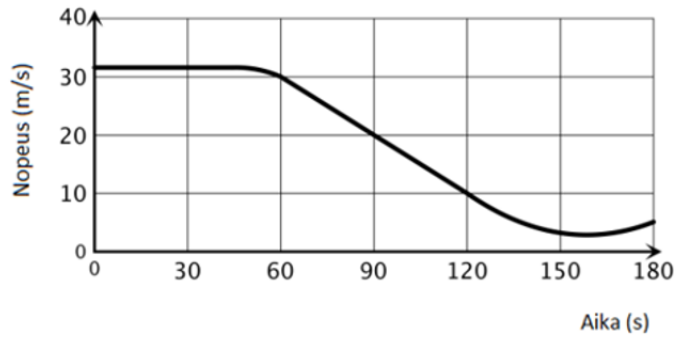


- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Kuva 27. Tehtävä 2(5)

Alla oleva kuvaaja osoittaa $1,5 \cdot 10^3$ kg auton nopeuden ajan suhteen.

Kuinka suuri oli kiihtyvyys ajan hetkellä $t = 90$ s?

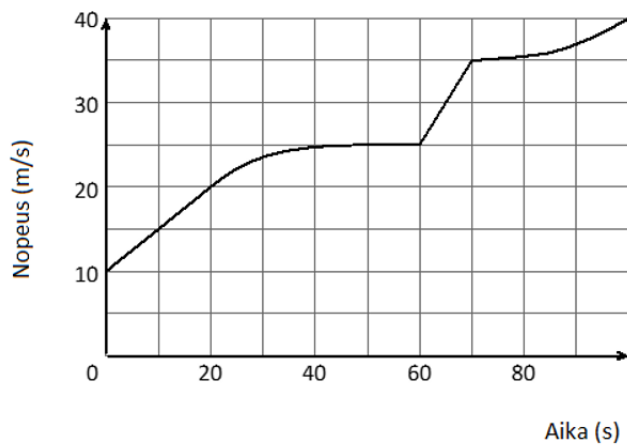


- A) $-0,22 \text{ m/s}^2$
- B) $-0,33 \text{ m/s}^2$
- C) $-1,0 \text{ m/s}^2$
- D) $-2,0 \text{ m/s}^2$
- E) 20 m/s^2

Kuva 28. Tehtävä 3(6)

Alla oleva kuvaaja näyttää suoraa liikkuvan kappaleen nopeuden ajan suhteen.

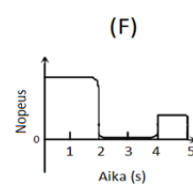
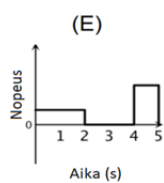
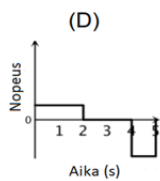
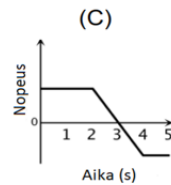
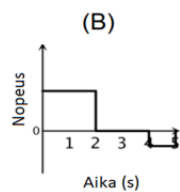
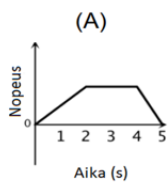
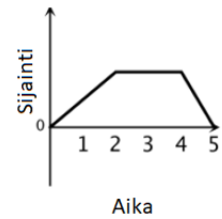
Ajan hetkellä $t = 65$ s kappaleen välitön kiihtyvyys oli luokkaa:



- A) $1,0 \text{ m/s}^2$
- B) $2,0 \text{ m/s}^2$
- C) $0,46 \text{ m/s}^2$
- D) 30 m/s^2
- E) 34 m/s^2
- F) $9,8 \text{ m/s}^2$

Kuva 29. Tehtävä 4(7)

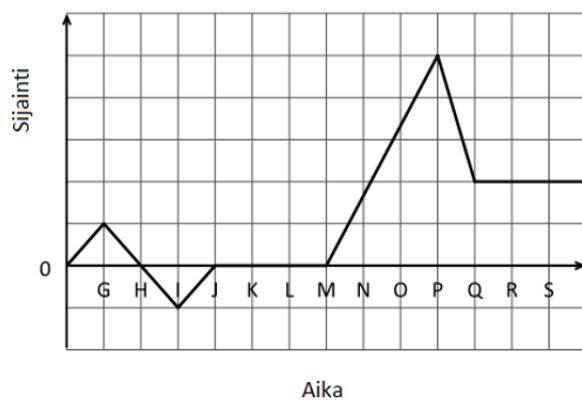
Oikealla oleva kuvaaja esittää kappaleen sijaintia ajan suhteen viiden sekunnin liikkeen aikana. Mikä seuraavista kuvaajista, joissa nopeus on ajan funktio, esittää parhaiten kappaleen liikettä samalla aikavälillä?



Kuva 30. Tehtävä 5(11)

Alla oleva kuvaaja näyttää suoraan liikkuvan kappaleen paikan ajan funktiona.

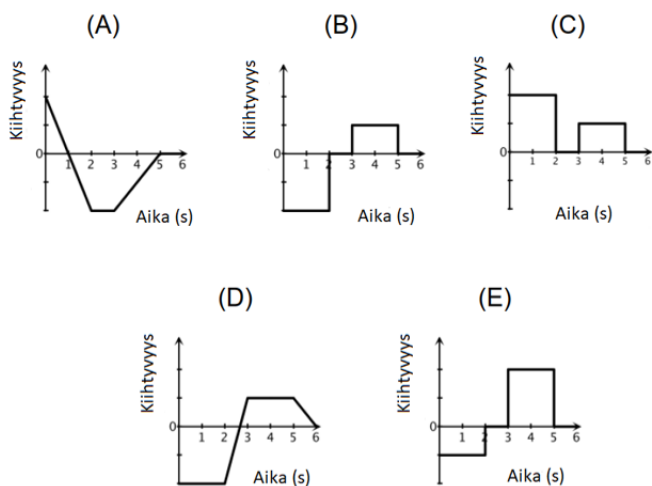
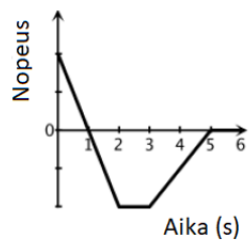
Mikä vaihtoehdoista vastaa tilannetta, missä kappaleen nopeus on eniten negatiivinen?



- A) Väli P → Q
- B) I
- C) Väli M → P
- D) Väli G → I
- E) P

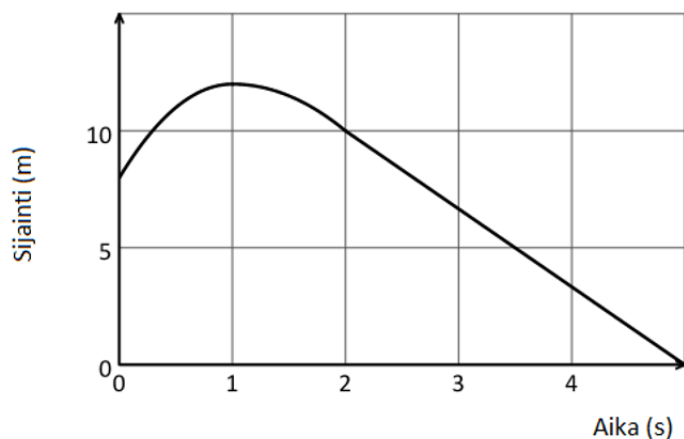
Kuva 31. Tehtävä 6(13)

Oikeassa reunassa oleva kuvaaja esittää kappaleen nopeuden ajan funktiona 6 s liikkeen aikana. Mikä kiihtyvyyden kuvaajista ajan funktiona parhaiten esittää kappaleen liikettä samalla aikavälillä?



Kuva 32. Tehtävä 7(14)

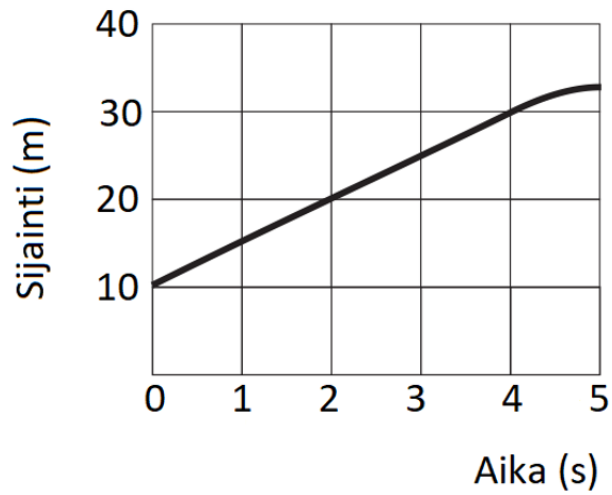
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3s$?



- A) $-3,3 \text{ m/s}$
- B) $-2,0 \text{ m/s}$
- C) $-0,67 \text{ m/s}$
- D) $-2,3 \text{ m/s}$
- E) $7,0 \text{ m/s}$
- F) $5,0 \text{ m/s}$

Kuva 33. Tehtävä 8(18)

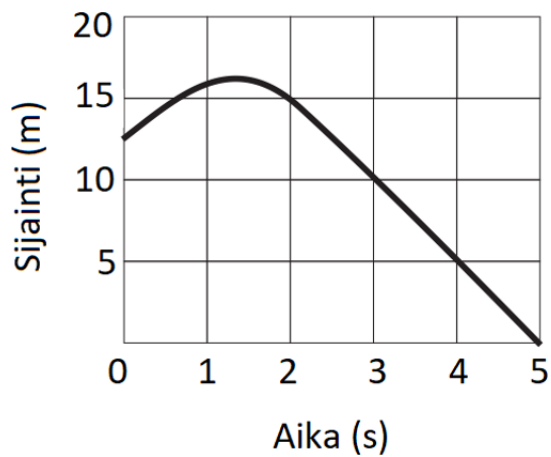
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

Kuva 34. Tehtävä 9(5M)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?

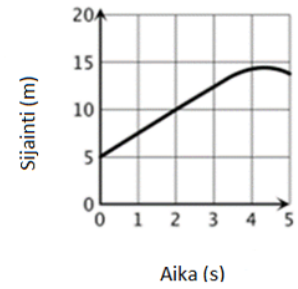


- A) -5,0 m/s
- B) 30,0 m/s
- C) -2,0 m/s
- D) -3,3 m/s
- E) 10,0 m/s
- F) 5,0 m/s

Kuva 35. Tehtävä 10(18M)

Kuvaaja oikealla näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen.

Millä menetelmällä selvittäisit kappaleen nopeuden hetkellä $t = 2$ s?



<p>a) Katson sijainnin hetkellä $t = 2$ s, mikä on 10 m. Jaan sijainnin 2 s:lla, jolloin nopeus $= 10 \text{ m} / 2 \text{ s} = 5 \text{ m/s}$</p>	<p>b) Piirrän kolmion, lasken sen sivut ja jaan ne keskenään. Nopeus $= 5 \text{ m} / 2 \text{ s} = 2,5 \text{ m/s}$</p>	<p>c) Katson käyrää ja huomaan, että hetkellä $t = 2$ s arvo on 10, joten nopeus on 10 m/s.</p>	<p>d) Lasken käyrän alla olevan alan, joka on noin 15. Näin ollen nopeus on 15 m/s.</p>	<p>e) En ole koskaan ymmärtänyt tällaisia kysymyksiä.</p>
--	---	--	---	---

Kuva 36. Tehtävä 11(+)

Liite C: Koehenkilöiden vastaukset

Esitietokysymykset											
Tunnus	Ikä	Sukupuoli	Lukiassa käyty fysiikan kursseja	Edellinen Fysiikan arvosana	Edellinen Matematiikan arvosana	Edellinen äidinkielen arvosana	Silmälasit testissä	Arvio motivaatiosta tekemiseen	Kuinka tärkeää pärijätä hyvin testissä	Kuinka paljon vaivaa käyttää testiin	Lopullinen motivaatio tekemiseen
A01	18	Nainen	4	8	10	8	ei	4	4	3	4
A02	18	Nainen	4	5	7	8	ei	3	3	2	3
A03	17	Nainen	4	9	9	9	kyllä	3	3	3	3
A04	17	Nainen	5	8	8	9	kyllä	3	3	2	3
A05	17	Nainen	4	9	10	9	kyllä	3	3	2	3
A06	17	Mies	5	10	9	9	ei	3	3	3	3
A07	17	Nainen	3	9	10	9	ei	2	3	3	3
A08	18	Nainen	5	10	10	9	ei	4	3	3	3
A09	18	Nainen	5	9	9	9	ei	4	3	3	3
A10	17	Mies	5	10	10	9	ei	3	3	3	4
A11	17	Mies	5	8	6	7	ei	3	3	4	3
A12	17	Nainen	4	10	10	9	ei	4	3	3	3
A13	17	Nainen	4	8	8	9	kyllä	4	4	3	3
A14	18	Mies	4	8	10	9	ei	3	2	3	3
A15	18	Mies	5	7	9	8	ei	3	3	3	4
A16	18	Mies	4	10	9	9	ei	3	2	3	2
A17	17	Nainen	5	10	7	8	ei	4	3	3	3

Esitietokysymykset											
Tunnus	ikä	Sukupuoli	Lukiiossa käyty fysiikan kurssseja	Edellinen Fysiikan arvosana	Edellinen Matematiikan arvosana	Edellinen äidinkielen arvosana	Silmälasit testissä	Arvio motivaatiosta tekemiseen	Kuinka tärkeää pärijätä hyvin testissä	Kuinka paljon vaivaa käyttää testiin	Lopullinen motivaatio tekemiseen
B01	17	Mies	5	8	8	8	ei	3	3	3	3
B02	17	Nainen	4	8	7	9	ei	3	3	3	3
B03	18	Nainen	4	9	10	9	ei	3	3	3	3
B04	17	Nainen	4	9	10	9	kyllä	4	3	3	3
B05	17	Nainen	4	8	9	9	ei	4	3	3	3
B06	17	Nainen	1	9	7	9	ei	3	4	3	4
B07	17	Nainen	4	7	8	9	ei	3	3	3	2
B08	17	Nainen	5	10	10	9	ei	3	3	3	3
B09	17	Nainen	5	7	7	8	kyllä	3	2	3	3
B10	17	Mies	5	9	9	8	ei	4	3	3	4
B11	18	Mies	4	9	9	8	ei	4	3	3	3
B12	17	Nainen	4	6	6	9	ei	3	2	3	3
B13	17	Mies	4	9	8	7	ei	3	2	3	3
B14	17	Mies	4	9	10	9	ei	3	2	3	4
B15	18	Nainen	4	10	10	10	ei	4	3	4	4
B16	17	Mies	4	6	8	7	ei	3	2	4	4
B17	18	Nainen	5	9	9	9	ei	3	3	3	4
B18	18	Mies	5	9	8	8	ei	4	3	3	3

Testikysymykset 1-5

Tunnus	1	Varmuus	2	Varmuus	3	Varmuus	4	Varmuus	5	Varmuus
A01	B	1	D	3	B	2	A	2	A	3
A02	B	3	D	2	B	4	D	3	A	2
A03	B	3	D	2	B	4	D	3	B	3
A04	E	3	D	1	B	2	F	3	D	2
A05	E	2	C	1	B	1	A	2	D	2
A06	B	2	C	1	B	1	A	2	D	3
A07	A	3	C	1	B	2	C	2	E	3
A08	E	2	C	1	B	1	A	1	D	2
A09	E	2	D	2	B	1	A	2	E	3
A10	B	2	D	2	B	1	A	1	F	2
A11	E	1	C	2	B	4	A	2	E	1
A12	B	2	D	1	B	3	A	3	D	1
A13	E	2	D	4	C	4	B	4	B	1
A14	E	3	C	1	B	2	A	1	D	1
A15	E	1	C	1	C	1	B	2	E	2
A16	C	2	C	4	B	3	A	3	D	1
A17	B	3	C	1	A	3	C	2	D	2

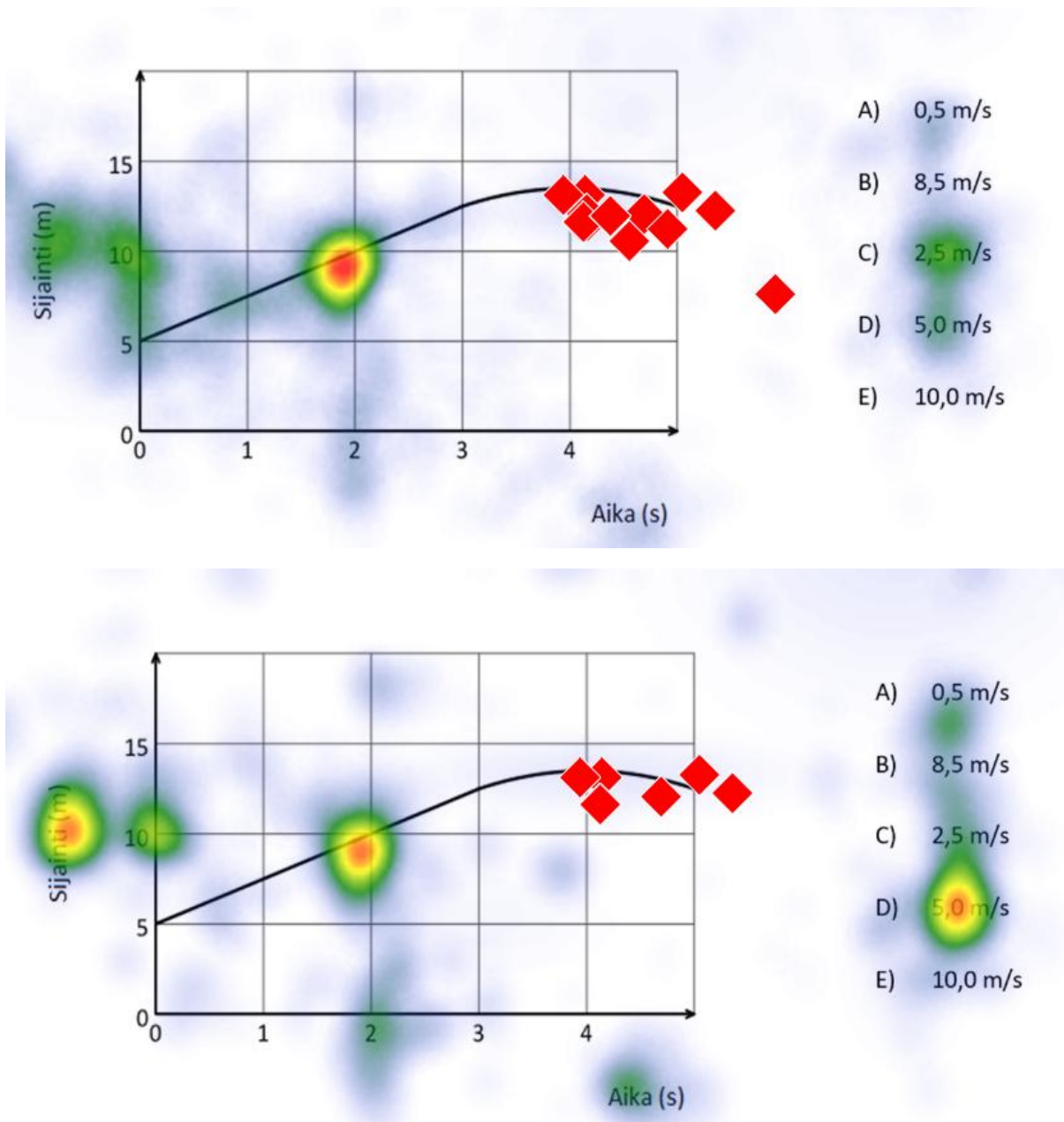
Testikysymykset 1-5										
Tunnus	1	Varmuus	2	Varmuus	3	Varmuus	4	Varmuus	5	Varmuus
B01	E	2	D	1	C	3	A	2	E	1
B02	E	3	D	2	D	4	E	4	C	3
B03	B	3	D	3	B	3	A	4	D	3
B04	C	3	D	2	D	2	A	2	D	3
B05	B	3	E	2	D	4	D	3	B	2
B06	E	2	E	1	B	3	B	3	A	4
B07	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
B08	E	2	C	2	B	3	A	2	D	2
B09	C	2	D	2	B	2	B	3	D	4
B10	E	1	D	1	B	2	A	2	D	2
B11	C	2	D	3	E	1	F	2	D	2
B12	C	1	D	2	E	3	A	2	B	4
B13	E	1	C	1	E	1	A	1	A	2
B14	E	1	C	1	B	2	A	1	D	1
B15	E	3	C	2	B	2	A	2	D	2
B16	E	2	C	1	B	3	A	2	D	3
B17	B	2	D	1	B	1	C	2	D	1
B18	E	1	D	3	A	3	B	2	D	2

Testikysymykset 6-11												
Tunnus	6	Varmuus	7	Varmuus	8	Varmuus	9	Varmuus	10	Varmuus	11	Varmuus
A01	A	1	D	3	D	4	C	2	A	2	B	2
A02	A	2	B	3	D	2	C	1	A	3	B	2
A03	A	2	B	2	D	3	D	2	D	4	A	4
A04	A	1	B	2	D	2	D	2	D	1	A	1
A05	A	1	B	1	A	1	C	1	A	1	B	1
A06	A	2	B	2	A	1	C	1	A	2	B	1
A07	A	1	E	2	F	2	C	1	A	1	B	1
A08	A	1	B	1	A	1	C	1	A	1	B	1
A09	A	2	B	2	A	1	D	3	F	2	B	1
A10	A	1	B	1	A	2	C	1	F	1	B	1
A11	B	3	D	2	A	2	C	1	F	2	B	1
A12	A	2	B	2	A	2	C	2	A	2	B	1
A13	A	2	B	1	D	2	D	1	D	1	A	1
A14	A	1	B	2	A	2	C	1	A	1	B	1
A15	A	1	C	3	F	1	B	2	F	1	B	1
A16	A	1	B	2	A	3	C	1	A	1	B	1
A17	A	1	B	2	B	1	C	1	A	1	B	1

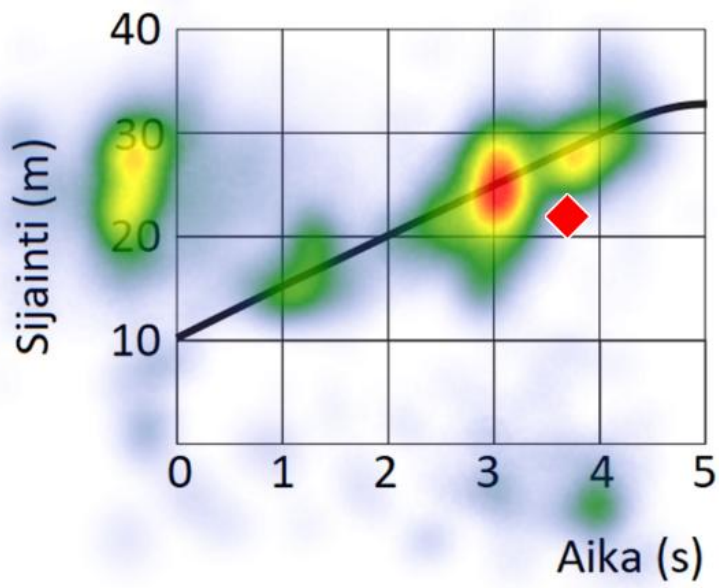
Testikysymykset 6-11

Tunnus	6	Varmuus	7	Varmuus	8	Varmuus	9	Varmuus	10	Varmuus	11	Varmuus
B01	D	3	C	3	F	1	C	3	F	4	A	1
B02	A	3	E	2	D	1	C	1	D	1	A	1
B03	A	3	E	3	A	2	C	4	A	3	B	1
B04	A	1	B	2	A	1	C	4	A	2	B	2
B05	A	2	B	3	D	2	D	2	D	2	A	2
B06	A	3	A	4	E	4	E	4	E	3	E	1
B07	A	1	A	1	A	1	A	3	D	2	A	1
B08	A	2	B	2	A	2	C	1	A	2	B	1
B09	A	3	C	3	D	1	D	2	D	2	A	1
B10	A	1	D	2	A	1	C	1	A	1	B	1
B11	B	2	B	2	F	2	C	2	A	3	A	1
B12	A	3	C	4	E	3	C	2	D	4	B	1
B13	A	1	B	1	F	1	C	1	A	2	B	1
B14	A	1	B	1	A	1	C	1	A	1	B	1
B15	A	1	B	1	A	1	C	1	A	2	B	2
B16	A	2	B	2	A	2	C	1	A	2	B	1
B17	A	1	B	1	D	2	D	2	D	1	A	2
B18	A	3	B	3	A	2	C	2	A	3	B	2

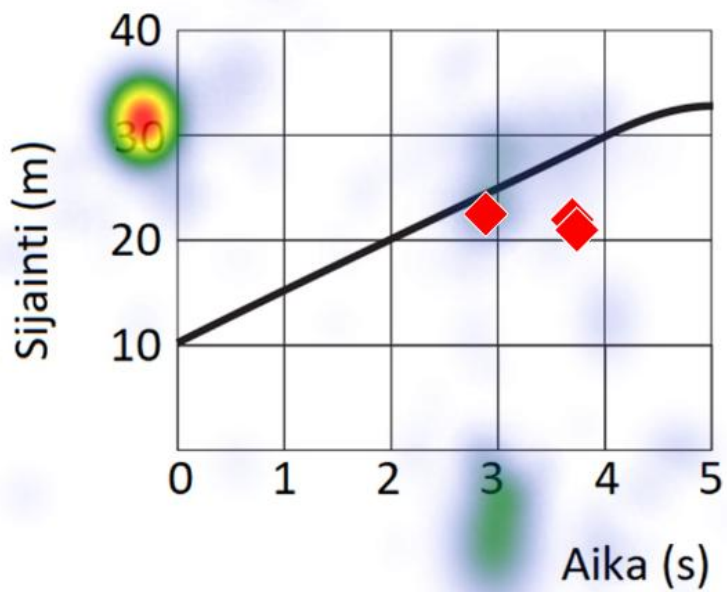
Liite D Tehtävien 5, 5M, 18 ja 18M kumulatiiviset lämpökartat



Kuva 37. Tehtävä 5 oikein vastanneet (päällä) ja väärin vastanneet (alla)

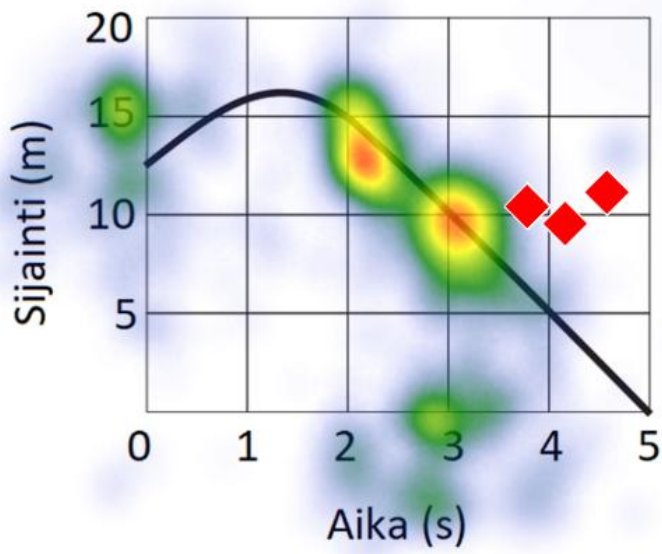


- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

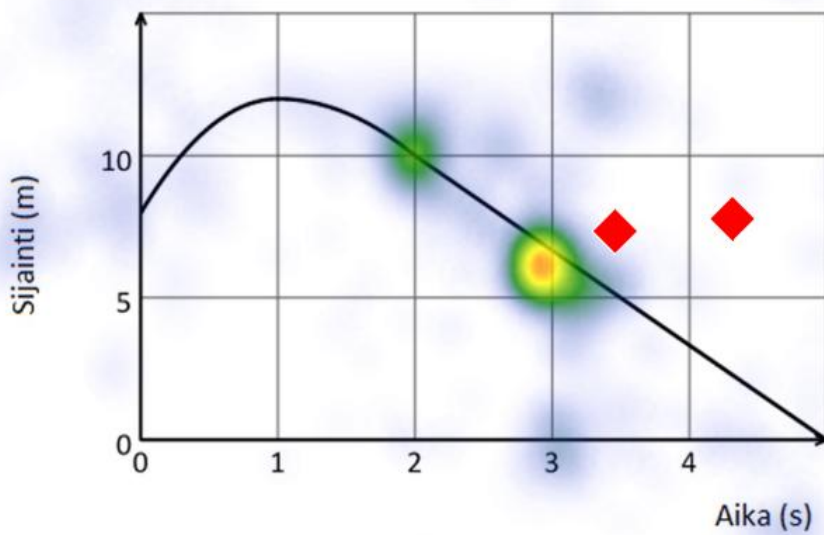


- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

Kuva 38. Tehtävä 5M oikein vastanneet (päällä) ja väärin vastanneet (alla)

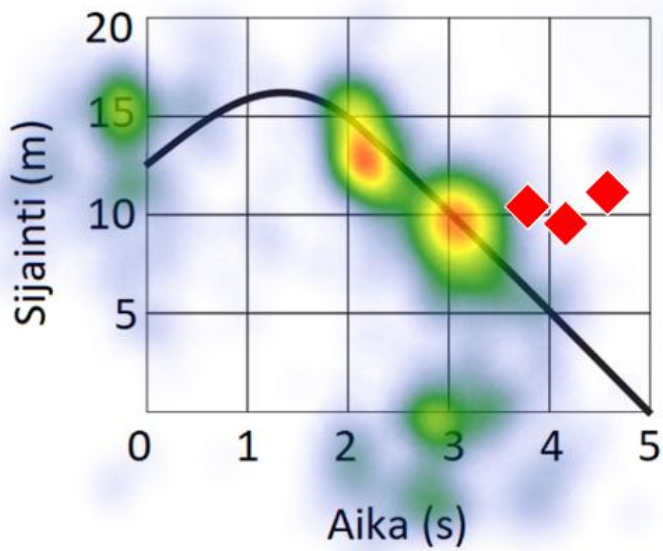


- A) $-5,0 \text{ m/s}$
- B) $30,0 \text{ m/s}$
- C) $-2,0 \text{ m/s}$
- D) $-3,3 \text{ m/s}$
- E) $10,0 \text{ m/s}$
- F) $5,0 \text{ m/s}$

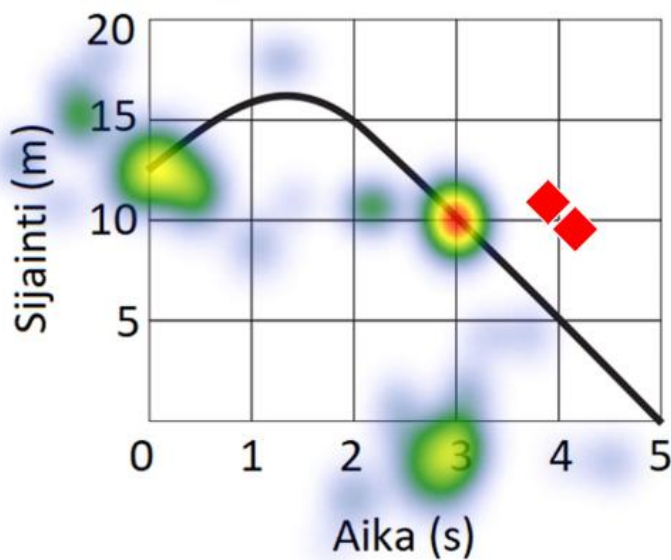


- A) $-3,3 \text{ m/s}$
- B) $-2,0 \text{ m/s}$
- C) $-0,67 \text{ m/s}$
- D) $-2,3 \text{ m/s}$
- E) $7,0 \text{ m/s}$
- F) $5,0 \text{ m/s}$

Kuva 39. Tehtävä 18 oikein vastanneet (päällä) ja väärin vastanneet (alla)



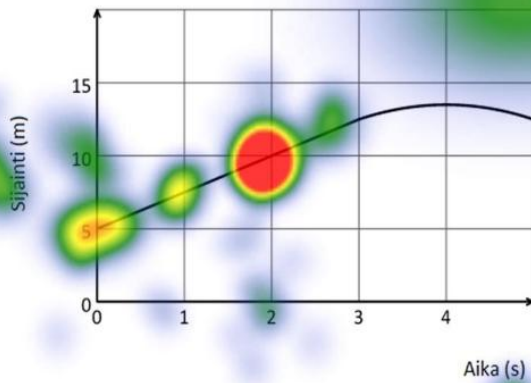
- A) -5,0 m/s
- B) 30,0 m/s
- C) -2,0 m/s
- D) -3,3 m/s
- E) 10,0 m/s
- F) 5,0 m/s



- A) -5,0 m/s
- B) 30,0 m/s
- C) -2,0 m/s
- D) -3,3 m/s
- E) 10,0 m/s
- F) 5,0 m/s

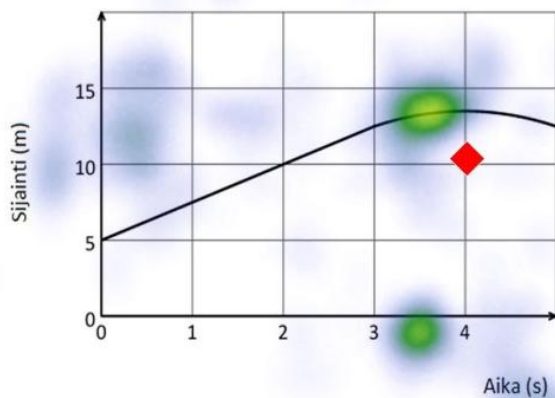
Kuva 40. Tehtävä 18M oikein vastanneet (päällä) ja väärin vastanneet (alla)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

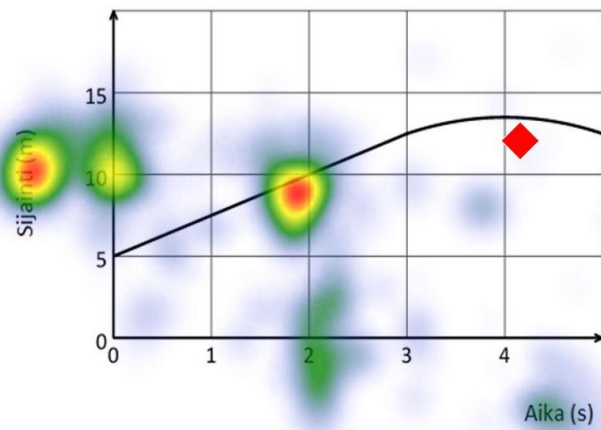
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

Kuva 41. Tehtävä 5, kun 5 oikein ja 5M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

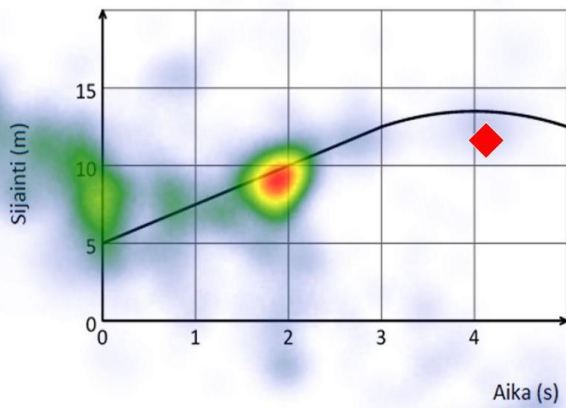
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

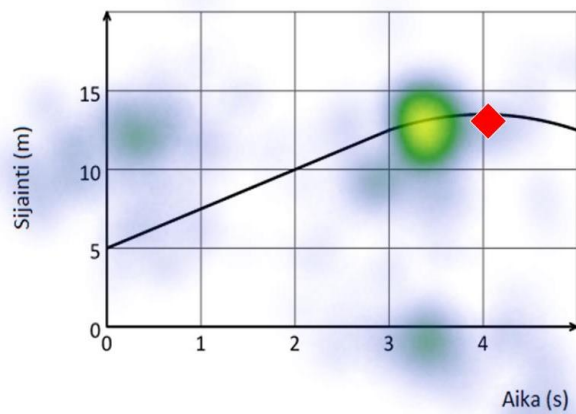
Kuva 42. Tehtävä 5, kun 5 väärin ja 5M oikein A-Ryhmä (B-ryhmässä ei ole yhtään tulosta)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

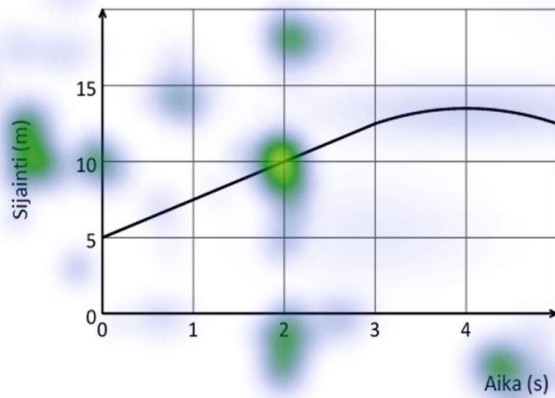
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

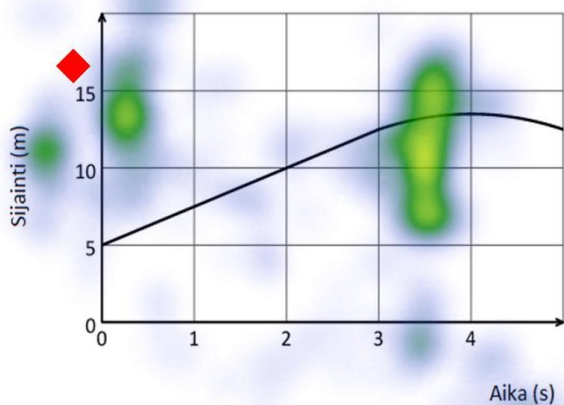
Kuva 43. Tehtävä 5, kun 5 oikein ja 5M oikein (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

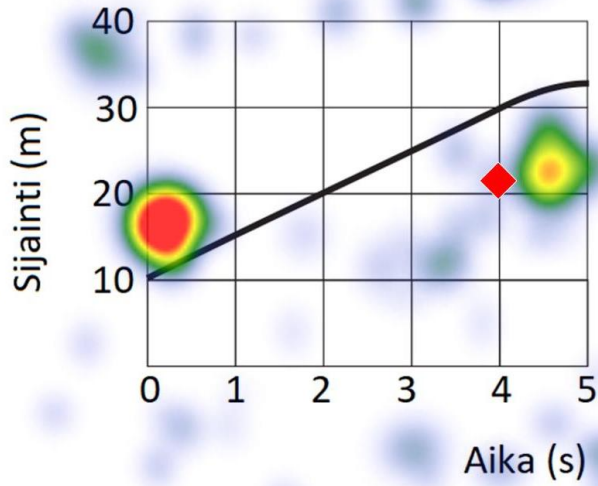
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 2\text{s}$?



- A) 0,5 m/s
- B) 8,5 m/s
- C) 2,5 m/s
- D) 5,0 m/s
- E) 10,0 m/s

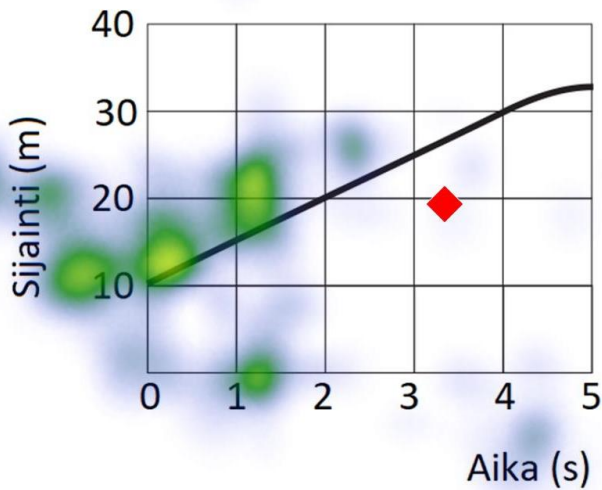
Kuva 44. Tehtävä 5, kun 5 väärin ja 5M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

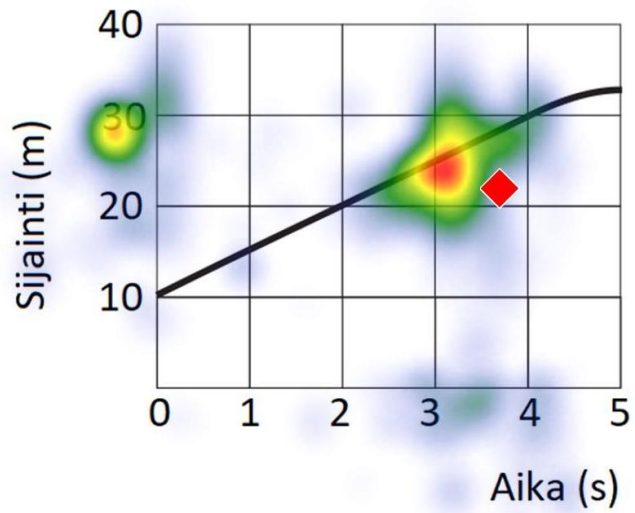
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

Kuva 45. Tehtävä 5M, kun 5 oikein ja 5M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

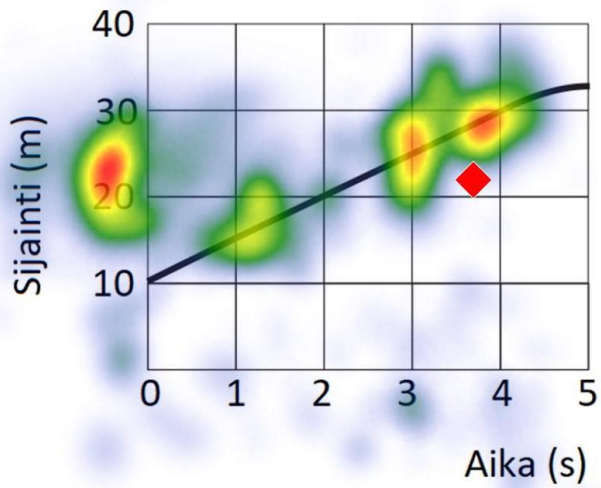
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

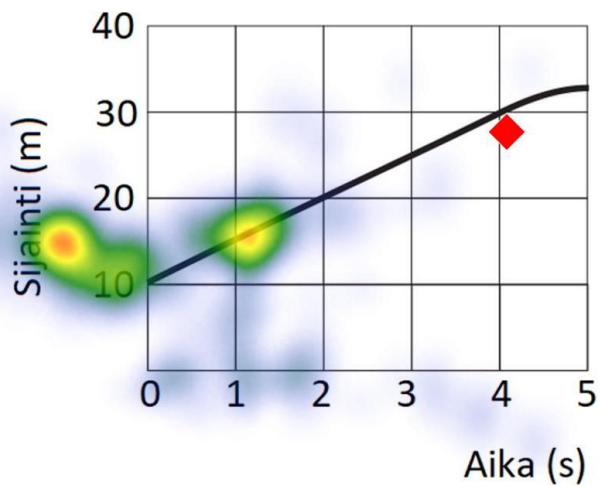
Kuva 46. Tehtävä 5M, kun 5 väärin ja 5M oikein A-ryhmä (B-ryhmässä ei ole yhtään tulosta)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

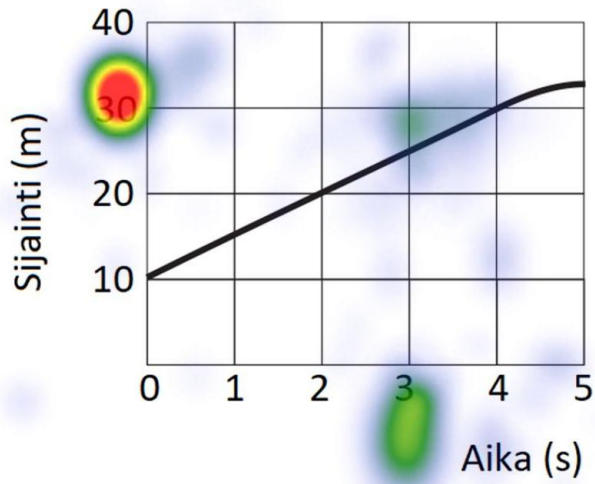
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

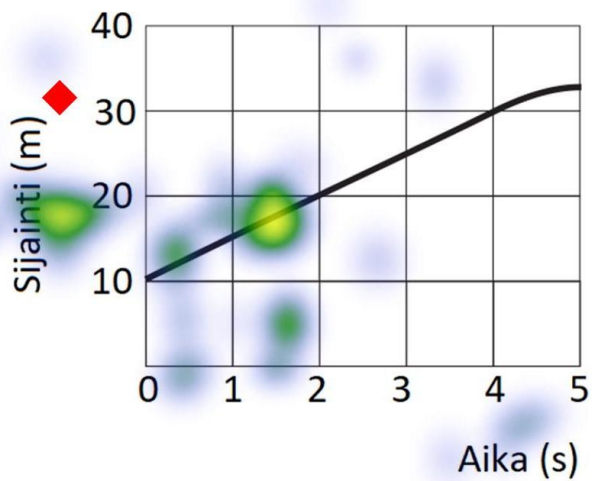
Kuva 47. Tehtävä 5M, kun 5 oikein ja 5M oikein (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

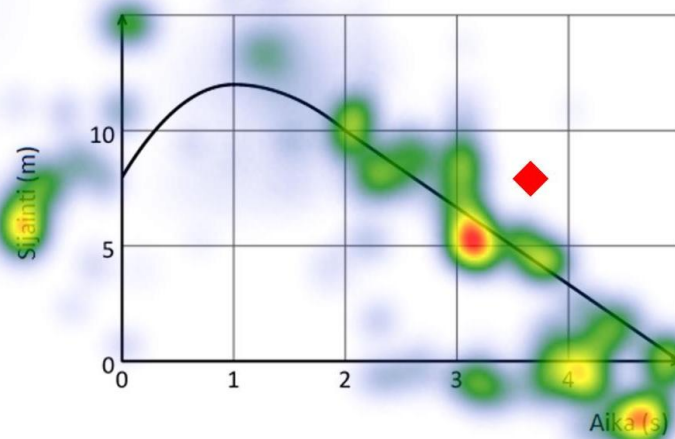
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3$ s?



- A) 55,0 m/s
- B) 7,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 8,3 m/s
- E) 25,0 m/s

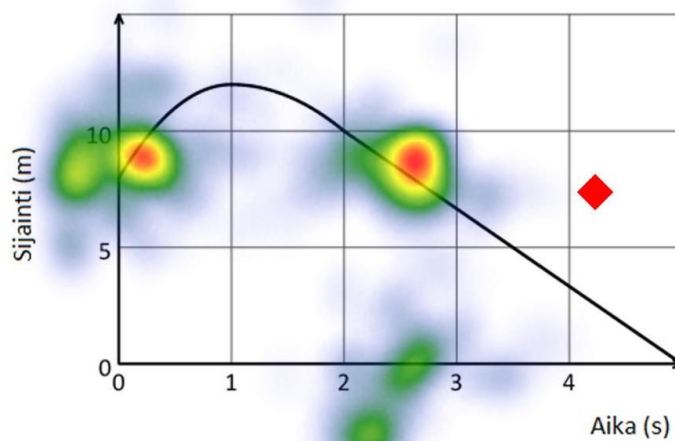
Kuva 48. Tehtävä 5M, kun 5 väärin ja 5M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

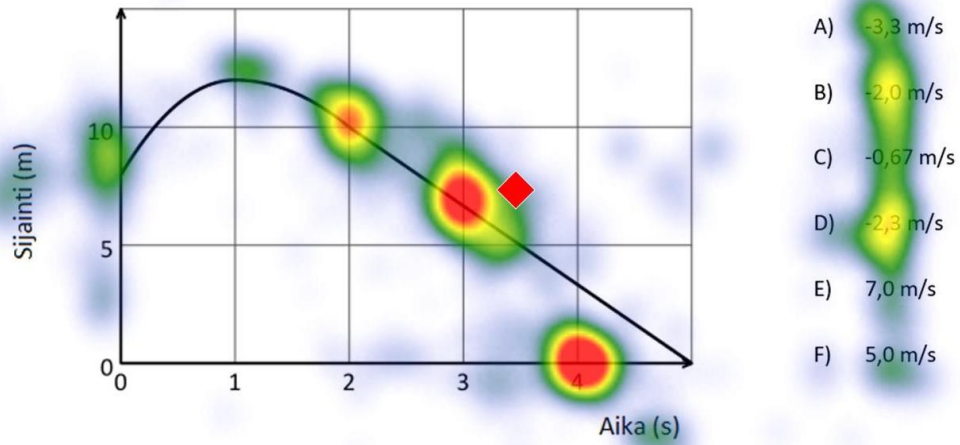
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

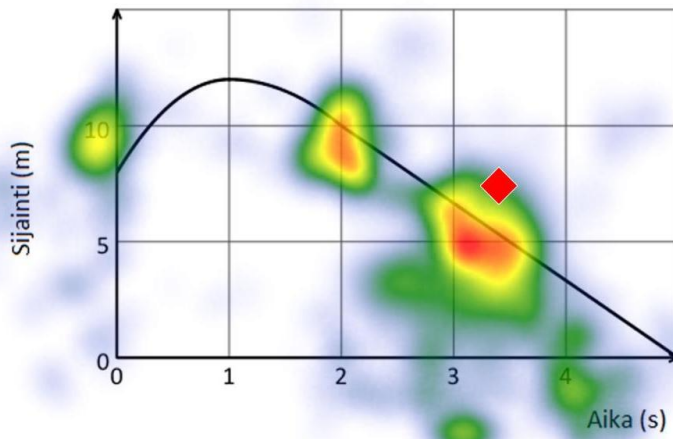
Kuva 49. Tehtävä 18, kun 18 oikein ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



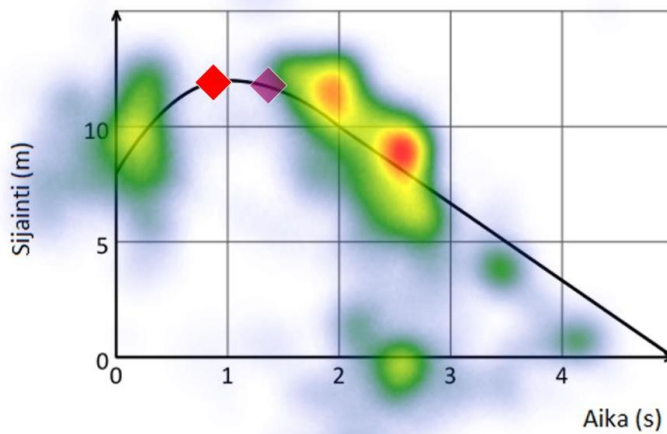
Kuva 50. Tehtävä 18, kun 18 väärin ja 18M oikein A-ryhmä (B-ryhmässä ei ole yhtään tulosta)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

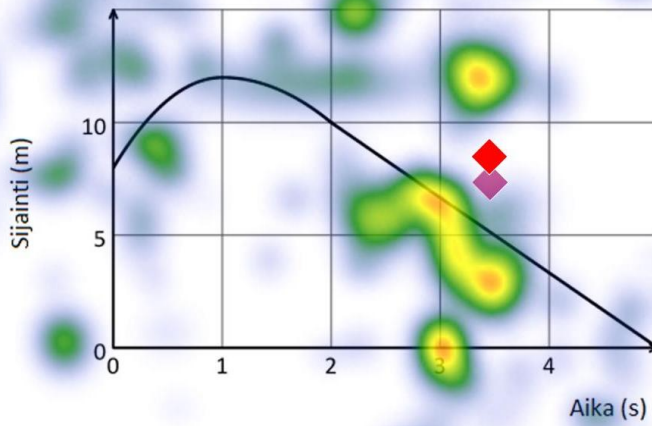
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3\text{ m/s}$
- B) $-2,0\text{ m/s}$
- C) $-0,67\text{ m/s}$
- D) $-2,3\text{ m/s}$
- E) $7,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

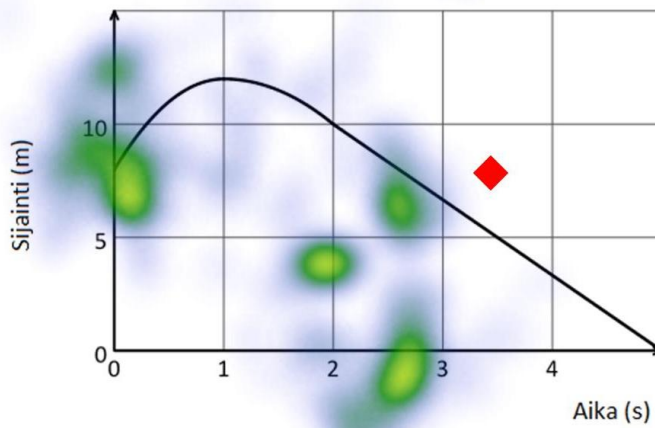
Kuva 51. Tehtävä 18, kun 18 oikein ja 18M oikein (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3 \text{ m/s}$
- B) $-2,0 \text{ m/s}$
- C) $-0,67 \text{ m/s}$
- D) $-2,3 \text{ m/s}$
- E) $7,0 \text{ m/s}$
- F) $5,0 \text{ m/s}$

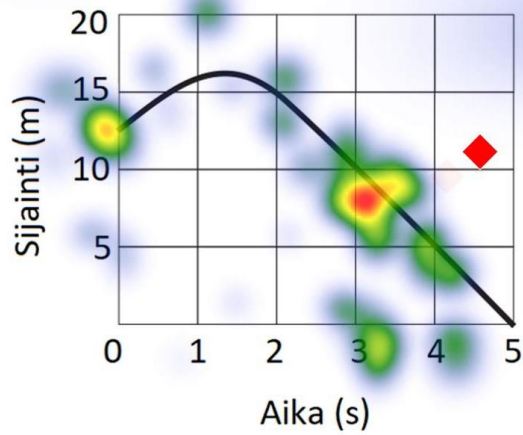
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-3,3 \text{ m/s}$
- B) $-2,0 \text{ m/s}$
- C) $-0,67 \text{ m/s}$
- D) $-2,3 \text{ m/s}$
- E) $7,0 \text{ m/s}$
- F) $5,0 \text{ m/s}$

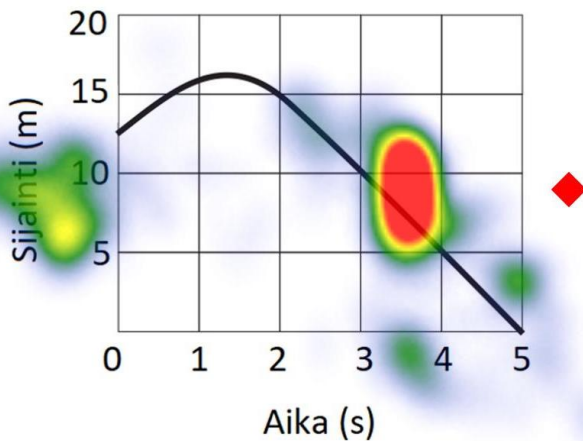
Kuva 52. Tehtävä 18, kun 18 väärin ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

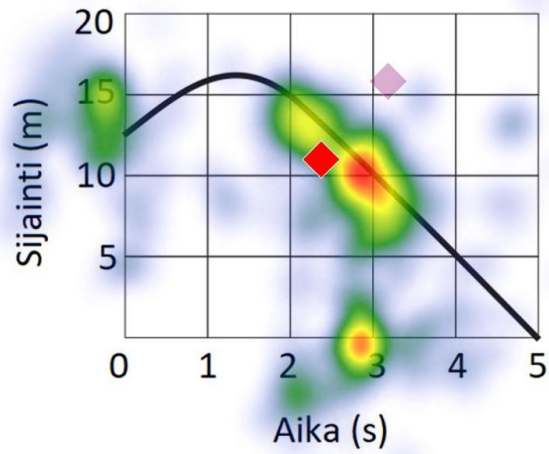
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Kuva 53. Tehtävä 18M, kun 18 oikein ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

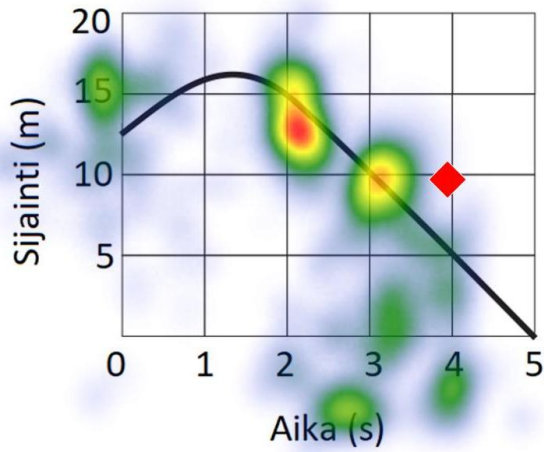
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) 5,0 m/s
- B) 30,0 m/s
- C) -2,0 m/s
- D) -3,3 m/s
- E) 10,0 m/s
- F) 5,0 m/s

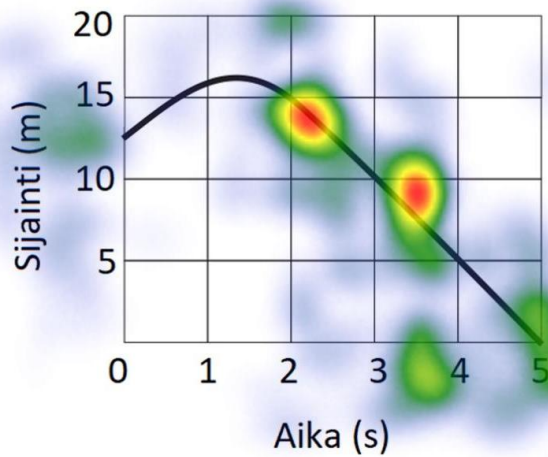
Kuva 54. Tehtävä 18M, kun 18 väärin ja 18M oikein A-ryhmä (B-ryhmässä ei ole yhtään tulosta)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

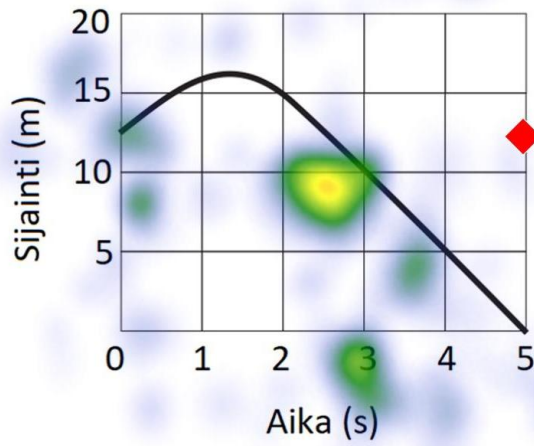
Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

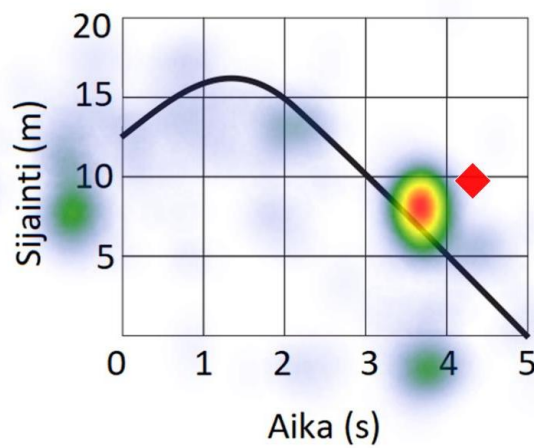
Kuva 55. Tehtävä 18M, kun 18 oikein ja 18M oikein (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Alla oleva kuvaaja näyttää kappaleen sijainnin ajan suhteen. Mikä on kappaleen nopeus ajan hetkellä $t = 3\text{s}$?



- A) $-5,0\text{ m/s}$
- B) $30,0\text{ m/s}$
- C) $-2,0\text{ m/s}$
- D) $-3,3\text{ m/s}$
- E) $10,0\text{ m/s}$
- F) $5,0\text{ m/s}$

Kuva 56. Tehtävä 18M, kun 18 väärin ja 18M väärin (ylempi A-ryhmä, alempi B-ryhmä)

Liite E: Tilastollinen analyysi katselukerroista kulmakerroin ja pistemäisen AOI -kentän ruutuihin

Kulmakerroin tulkinta -kentän data

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	,147	1	,701
Order	5,773	1	,016
ACCURACY	7,729	1	,005

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 5, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

Case source is	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	1,53476	,470928	,84112	2,80043
order B	,49937	,252338	,18548	1,34445

a. Trial = exercise 5, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	,35551	,224279	,10325	1,22418
1,00	2,15579	,493821	1,37602	3,37745

a. Trial = exercise 5, AOIName = kk tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	129,057	1	,000
Order	2,585	1	,108
ACCURACY	,328	1	,567

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 5M, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	3,47126	,640366	2,41802	4,98326
order B	5,21477	,910605	3,70337	7,34298

a. Trial = exercise 5M, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	3,94741	,868946	2,56411	6,07698
1,00	4,58574	,620971	3,51678	5,97962

a. Trial = exercise 5M, AOIName = kk tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	,079	1	,778
Order	4,467	1	,035
ACCURACY	,564	1	,453

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 18, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	1,38400	,358534	,83297	2,29956
order B	,64856	,172428	,38517	1,09208

a. Trial = exercise 18, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	,81571	,264281	,43227	1,53928
1,00	1,10040	,240931	,71644	1,69012

a. Trial = exercise 18, AOIName = kk tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	,079	1	,779
Order	,090	1	,764
ACCURACY	,545	1	,460

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 18M, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	,99122	,440838	,41457	2,36993
order B	1,19014	,476036	,54342	2,60654

a. Trial = exercise 18M, AOIName = kk tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	,86153	,416738	,33383	2,22338
1,00	1,36929	,504315	,66527	2,81836

a. Trial = exercise 18M, AOIName = kk tulkinta

Pistearvo tulkinta -kentän data

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	110,816	1	,000
Order	4,574	1	,032
ACCURACY	1,537	1	,215

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 5, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	4,81585	,947842	3,27448	7,08279
order B	2,79202	,434536	2,05798	3,78787

a. Trial = exercise 5, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	3,07395	,650968	2,02973	4,65538
1,00	4,37415	,706816	3,18676	6,00398

a. Trial = exercise 5, AOIName = pistearvo tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	,483	1	,487
Order	14,635	1	,000
ACCURACY	4,831	1	,028

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 5M, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	3,62659	,472298	2,80960	4,68115
order B	,42522	,245758	,13698	1,31999

a. Trial = exercise 5M, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	,94471	,349710	,45730	1,95161
1,00	1,63234	,484130	,91276	2,91921

a. Trial = exercise 5M, AOIName = pistearvo tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	144,680	1	,000
Order	,898	1	,343
ACCURACY	,072	1	,788

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 18, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	6,06850	1,644245	3,56821	10,32078
order B	8,30944	1,547321	5,76856	11,96950

a. Trial = exercise 18, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	7,40834	1,660614	4,77442	11,49534
1,00	6,80663	1,557938	4,34615	10,66006

a. Trial = exercise 18, AOIName = pistearvo tulkinta

Tests of Model Effects^a

Source	Wald Chi-Square	Type III	
		df	Sig.
(Intercept)	83,450	1	,000
Order	,006	1	,940
ACCURACY	,062	1	,803

Dependent Variable: GlancesCount

Model: (Intercept), Order, ACCURACY^a

a. Trial = exercise 18M, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

Case source is DataSet33	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
order A	4,38074	,894019	2,93653	6,53522
order B	4,27425	1,069395	2,61754	6,97953

a. Trial = exercise 18M, AOIName = pistearvo tulkinta

Estimates^a

ACCURACY	Mean	Std. Error	95% Wald Confidence Interval	
			Lower	Upper
,00	4,50659	1,013926	2,89960	7,00419
1,00	4,15489	,964460	2,63617	6,54856

a. Trial = exercise 18M, AOIName = pistearvo tulkinta