

**Lisensiaatintutkimus**

# **Kinesteettiset kokeet kinematiikan graafisen esityksen opetuksessa**

**Hilkka Koljonen-Toppila**

**2005**

Ohjaajat: Professori Heimo Saarikko  
Dosentti Ismo Koponen

Tarkastajat: Professori Heimo Saarikko  
KT Kalle Juuti

HELSINGIN YLIOPISTO  
FYSIKAALISTEN TIETEIDEN LAITOS  
PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingin yliopisto

HELSINGIN YLIOPISTO ) HELSINGFORS UNIVERSITET ) UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto ) Fakultet/Sektion ) Faculty		Laitos ) Institution ) Department
Tekijä ) Författare ) Author		
Työn nimi ) Arbetets titel ) Title		
Oppiaine ) Läroämne ) Subject		
Työn laji ) Arbetets art ) Level	Aika ) Datum ) Month and year	Sivumäärä ) Sidoantal ) Number of pages
Tiivistelmä ) Referat ) Abstract		
Avainsanat ) Nyckelord ) Keywords		
Säilytyspaikka ) Förvaringsställe ) Where deposited		
Muita tietoja ) Övriga uppgifter ) Additional information		

## Esipuhe

Tämä tutkimus on tehty Helsingin yliopistossa fysikaalisten tieteiden laitoksella professori Heimo Saarikon ja yliopistonlehtori Ismo Koposen ohjauksessa. Kiitän heitä lämpimästi työni aikana saamistani asiantuntevista neuvoista ja kannustuksesta. Kiitän lisäksi Ismo Koposta tutkimusaiheeni tarkentumisesta kinesteettisiin kokeisiin. Kiitän emeritusprofessori Kaarle Kurki-Suoniota Beichnerin testitehtävien suomennosteni viimeistelystä.

Kiitän lämpimästi Helsingin normaalilyseon lehtoreita Marjatta Saarista ja Timo Kärkkäistä mahdollisuudesta toteuttaa tutkimukseeni liittyviä kinesteettisiä kokeita heidän fysiikan oppitunneillaan. Kiitän myös opetuskokeiluissani mukana olleita Helsingin normaalilyseon lukion opiskelijoita.

Kiitän aviomiestäni dosentti Esko Toppilaa mielenkiintoisista tutkimukseeni liittyvistä keskusteluista. Kiitän lapsiani Anttia, Annia ja Tuomasta sekä äitiäni agronomi Oili Koljosta kannustuksesta jatko-opintojeni aikana.

Helsingissä 7.8.2005

*Hilkka Koljonen-Toppila*

Kuinka on mahdollista,  
että matematiikka sopii niin ihmeen hyvin reaalisiin objekteihin,  
vaikka se on kokemuksesta riippumattoman inhimillisen ajattelun tuote?

Albert Einstein (1920)

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>LÄHTÖKOHTIA</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GRAAFINEN ESITYS</b> .....	<b>3</b>
2.1	LIIKKEEN YMMÄRTÄMISESTÄ.....	3
2.2	FYSIIKASTA OPETUSSUUNNITELMISSA.....	8
2.3	GRAAFISESTA ESITYKSESTÄ REAALIKOKEESSA .....	10
<b>3</b>	<b>OPPIMISPROSESSI</b> .....	<b>14</b>
3.1	INTUITIOSTA.....	14
3.2	TIEDONVASTAANOTTOTAVOISTA, OPPIMISTYYLEISTÄ JA OPISKELUORIENTAATIOSTA .....	15
<b>4</b>	<b>KINESTIIKKA OPETUKSESSA</b> .....	<b>17</b>
4.1	KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELYÄ.....	17
4.2	KINESTEETTISISTÄ OPPIJOISTA .....	18
4.3	KINESTEETTISEN OPETUKSEN MÄÄRITELMÄT.....	19
4.4	KINESTEETTISEN OPETUKSEN MATERIAALEISTA JA KOKEILUISTA .....	19
<b>5</b>	<b>TUTKIMUSONGELMAT, NIIDEN RAJAAMINEN JA MITTARIT</b> .....	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>OPETUSKOKEILUJEN TUTKIMINEN</b> .....	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>OPETUSKOKEILUT</b> .....	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>TUTKIMUKSEN TULOKSET</b> .....	<b>33</b>
8.1	ANALYSOINTIMENETELMÄT .....	33
8.2	MITTARI 1: ANNETUN KUVAAJAN KALTAISEN LIIKKEEN TUOTTAMINEN .....	35
8.3	MITTARI 2: MONIVALINTATEHTÄVIEN VASTAUKSET .....	41
8.4	MITTARI 3: MONIVALINTATEHTÄVIEN VASTAUSTEN PERUSTELEMINEN .....	43
8.5	MITTARI 4: KURSSIKOKEEN TULOKSET JA TEHTÄVÄANALYYSI.....	46
<b>9</b>	<b>POHDINTAA</b> .....	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>TUTKIMUKSEN ARVIOINTIA</b> .....	<b>52</b>
10.1	TUTKIMUSTULOSTEN ARVIOINTIA .....	52
10.2	TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTIA .....	55
<b>11</b>	<b>TUTKIMUSONGELMIEN VASTAUKSET</b> .....	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>61</b>

## 1 Lähtökohtia

”Suomen tutkimus- ja koulutusjärjestelmää on sen kaikilla tasoilla kehitetty voimakkaasti puolentoista viime vuosikymmenen aikana. Yliopistolaitosta, sen tutkimusta ja yliopistoihin eri kanavien kautta suuntautuvaa julkista rahoitusta on merkittävästi vahvistettu. Samanaikaisesti on luotu ammattikorkeakoulujärjestelmä, jonka tehtäviin kuuluu työelämäsuuntautuneen korkeakouluopetuksen ohella soveltava tutkimus- ja kehitystyö. Suomen lähtökohtana on niin sanottu ”korkean polun strategia”, joka perustuu voimakkaaseen tutkimus- ja tuotekehityspanostukseen sekä koulutustason nostamiseen.”(Rantanen 2004)

Osana kokonaistavoitteesta on hyvä luonnontieteiden osaamisen taso. Tavoitteeksi on asetettu suomalaisen matematiikan ja luonnontieteiden osaamisen nostaminen OECD-maiden parhaaseen neljännekseen ja lisätä matematiikan samoin kuin fysiikan ja kemian kirjoittajien määrää ylioppilaskirjoituksissa. Osaamisen tasoa pyrittiin nostamaan matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen kehittämishankkeella vuosina 1996 – 2002 (LUMA- projekti, lyhenne sanoista LUonnontieteet ja MAtematiikka). Huhtikuussa 1996 opetusministeri julkisti tavoitteen toteuttamiseksi talkoo-ohjelman. Hankkeeseen kuului 120 pilottikoulua, joista yksi oli Helsingin normaalilyseo. LUMA-hankkeen eräs tärkeä painopistealue oli opetusmenetelmien kehittäminen. Käytännössä se tarkoitti konkreettisempaa opetusta, jossa ongelmanratkaisu painottuu, oppilaskeskeisten työtapojen kehittämistä sekä toiminnallisuuden, kokeellisuuden ja tutkimuksellisuuden lisääntymistä. Kokeilun aikana koulut saivat rahaa lukion opetuksen kokeellisuuden lisäämiseen ja uuden tekniikan hankkimiseen. Koulujen osalta hanke merkitsi sitoutumista opetuksen kehittämiseen, muiden opettajien kouluttamiseen ja taloudelliseen panostukseen.( Seppälä 1997, Parviainen 2004 )

Ensimmäinen LUMA-tavoite on saavutettu. Kansainvälisessä PISA-tutkimuksessa Suomi sijoittui OECD-maiden kärkipäähän jo vuonna 1999. Vuonna 2003 Suomi oli PISA tutkimuksessa paras OECD maa kaikilla osa-alueilla.

Toista LUMA-tavoitetta ei ole vielä saavutettu. Ylioppilastutkintoa varten fysiikan vähimmäistavoitteena oli 9000 vastaajaa, mutta vain 7135 vastasi fysiikkaan vuoden 2003 keväällä. Kemian osalta tilanne oli vielä huonompi, sillä vastaajia oli 3667 kun tavoite oli 8000. Pitkään matematiikkaan vastasi 12711 kun tavoite oli 16000.

Luonnontieteiden osaajien vähäinen määrä vaikeuttaa asetetun korkean polun strategian tavoitteiden saavuttamista. Teknillisiin korkeakouluihin pääseminen on erittäin helppoa. On jouduttu oppilaskiintiöiden täyttämiseksi jopa ottamaan sisään ”kukkaisteekkareita”. Heikko karsinta osaltaan näkyy teknisten yliopistojen huonossa kansainvälisessä menestyksessä. Shanghailaisen yliopiston laatima maailman yliopistojen ranking-lista osoittaa, että Teknillinen korkeakoulu on kaukana maailman huipputasosta, ja sijoitus Euroopan teknillisten korkeakoulujenkin listalla on häntäpäässä. Muut Suomen tekniikan yliopistot eivät mahdu maailman 500 parhaan yliopiston listalle. (Tiuri 2004 a ja b)

Vaikka LUMA-hanke on loppunut, tehdään sen tavoitteiden toteutumiseksi työtä esimerkiksi Helsingin, Kokkolan ja Iisalmen LUMA-keskuksissa, joiden tavoitteena

on antaa opettajille täydennyskoulutusta ja oppilaille kunnollisissa laboratorio-olosuhteissa mahdollisuus kokeelliseen työskentelyyn (Parviainen 2004 ).

Kokeellisuuden lisääntyessä omien mittaustulosten käsittelyyn liittyvä graafisen esityksen määrä on lisääntynyt. Tietokoneet ovat mahdollistaneet uusia mittauksia ja myös vähentäneet mittaamiseen käytettyä aikaa. Mittausohjelmilla saadaan joko suoraan tuotettua graafisia esityksiä tai niitä on mahdollista tuottaa mittaustuloksista ohjelmallisesti erilasten käyränsovitusten avulla. Mittaustulosten graafisen esityksen tulkinta on muodostunut opetuksessa entistä keskeisemmäksi osa-alueeksi.

Arvioinnin monipuolistamiseksi tullaan painottamaan myös taitokriteerejä, joista Seppälän (Seppälä 1997) matematiikan osalta mainitsemat taito nähdä säännönmukaisuuksia ja riippuvuuksia, taito arvioida suuruusluokkia, taito esittää asioita suullisesti ja kirjallisesti sekä taito päätellä ja perustella liittyvät myös fysiikan opetuksen arviointiin oleellisena osana.

## 2 Graafinen esitys

Liikkeen kuvaaminen on keskeinen osa-alue fysiikan opetuksessa. Apuna liikkeen kuvaamisessa käytetään graafista esitystä. Opetusta ohjaa valtakunnallinen opetussuunnitelma. Se on normi, jota koulujen opetuksen tulee noudattaa. Valtakunnan tasolla opetussuunnitelman tavoitteet, myös graafisen esityksen osalta, realisoituvat ylioppilaskirjoituksissa, ja ne tarjoavat erilaisten valtakunnallisten kokeiden ja kilpailujen kanssa jokavuotisen mahdollisuuden verrata koulun opetusta muiden koulujen saavutuksiin. Pääsykoetehtävät antavat puolestaan mahdollisuuden verrata koulussa tavoitteiden toteutumista jatko-opintolaitosten vaatimustasoon.

### 2.1 Liikkeen ymmärtämisestä

Jo muinaiset kreikkalaiset noin 500 eKr. pyrkivät ymmärtämään liikettä. Kappaleen liike on kuitenkin osoittautunut vaikeasti ymmärrettäväksi ilmiöksi. Liikkeen kuvaaminen on vaatinut historian aikana useiden tiedemiesten panosta. Seuraavaksi käsitellään joitakin keskeisiä liikkeen kuvaamiseen liittyviä käsityksiä ja oivalluksia.

Pythagoralaiset uskoivat, että avaruus on diskreetti, eli heillä oli kokonaislukuihin perustuvan matematiikan mukainen käsitys tilasta. Järkytyksekseen he huomasivat, että neliön lävistäjää ei voida esittää sivujen ja kokonaislukujen suhteina. Kuitenkin sen pystyi selkeästi piirtämään. Tästä he päättelivät, että algebra ja geometria ovat yhteismitattomia.

Atomistit yrittivät ensimmäisinä selittää liikettä. Heidän mukaansa liike ei ollut mahdollista "täydessä". Toisin sanoen tarvitaan "tyhjää" liikkeen olemassa olemiseksi. Mutta "tyhjä" on mahdottomuus, koska se ei ole mitään, eikä siis ole olemassa. Koska liikkeen voi kuitenkin havaita, täytyy sen johtua aistien vajavaisuudesta (Russell 1967). Loogisen todistuksen ajatukselle esitti **Zenon** (n. 450 eKr.) paradoksiensa muodossa. Näillä paradokseilla oli merkittävä vaikutus kreikkalaisen matematiikan kehityksessä. Zenonin paradoksit liittyvät liikkeeseen, aikaan ja äärettömyyteen (<http://koti.mbnet.fi/tjamtjam/stuff/mae1.pdf>., [http://matwww.ee.tut.fi/~eturunen/historia\\_02.pdf](http://matwww.ee.tut.fi/~eturunen/historia_02.pdf)).

#### 1. paradoksi: *Dikotomia*

Liikkuvan kappaleen on kuljettava  $1/2$  matkasta ennen kuin se voi kulkea koko matkan ja  $1/4$  matkasta ennen kuin  $1/2$  jne. Koska äärettömän monessa pisteessä ei voi vieraila äärellisessä ajassa, on liike mahdotonta.

#### 2. paradoksi: *Akhilleus ja kilpikonna*

Jotta Akhilleus tavoittaisi kilpikonnan, hänen on ensin päästävä pisteeseen, jossa kilpikonna oli liikkeelle lähtiessään, sitten taas pisteeseen, jossa kilpikonna oli edellä tarkasteltuna hetkenä jne. Akhilleus on siis aina kilpikonnan jäljessä, joten liike on mahdotonta.

#### 3. paradoksi *Nuoli*

Lentävä nuoli on jokaisena ajanhetkenä tietyssä paikassa. Se ei siis voi liikkua. Täten lentävä nuoli on aina levossa ja liike on illuusio.



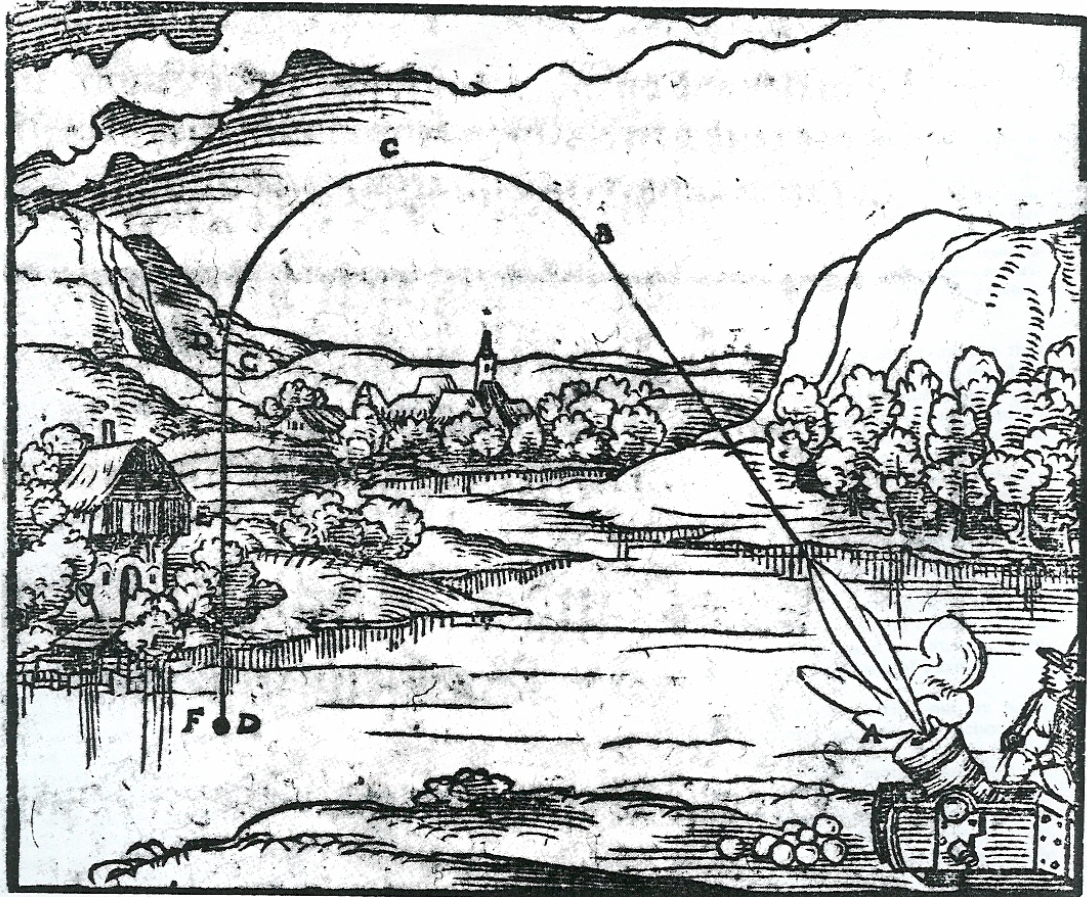
#### 4.paradoksi *Stadion*

Kappaleet B ja C liikkuvat (B oikealle ja C vasemmalle) yhden kappaleen osan verran suhteessa kappaleeseen A. Kappaleen A suhteen kappaleet B ja C liikkuvat lyhimmissä mahdollisessa hetkessä kumpikin yhden kappaleen osan verran, mutta toisiinsa nähden ne liikkuvat kaksi kappaleen osaa. Tästä voidaan päätellä, että aika voidaan jakaa pienempiin osiin.

Paradoksit perustustuvat pythagoralaiseen diskreettiin avaruuteen. Kappaleen on oltava jossakin kullakin ajanhetkellä. Tästä seuraa, että sen täytyy kulkea äärettömän monen pisteen kautta, joten kulkuaika tulee äärettömäksi. Niinpä kappale ei voi liikkua. Paradoksien suuri merkitys oli siinä, että osa filosofiista uskoi, että aisteihin ei voi luottaa ja keskittyi kehittämään metafysiikkaa. Toiset puolestaan yrittivät kehittää fysiikkaa välittämättä niistä ongelmista, joita he eivät pystyneet selittämään. (<http://solmu.math.helsinki.fi>)

**Aristoteles** (384 - 322 eKr.) toi matematiikkaan luvun ja suureen eron. Hän väitti, että suuretta voitiin jakaa rajatta. Täten hän kiersi Zenonin paradoksien esiintuomat vaikeudet. Aristoteles määritteli liikkeen paikan muutoksena. Hän huomasi, että tarvitaan koordinaatisto, jonka suhteen liikettä tarkastellaan. Aristoteleelle kaikkien kappaleiden luonnollinen tila on lepotila ja jokaiseen liikkeeseen on olemassa syy. Hän tunnisti kahdenlaisia syitä tai voimia: Ensimmäinen on jokaisen kappaleen luontainen voima tai pyrkimys etsiä luonnolliselle paikalleen. Toinen on kontaktivoima (veto tai poistovoima), jota käytti jokin ulkoinen kappale tai väliaine. Hän ei hyväksynyt pitkän kantaman voimia. Aristoteles uskoi, että painavammat kappaleet putoavat nopeammin ja nopeus on verrannollisena niiden painoon. Aristoteles uskoi myös, että jos mikään voima ei vaikuta, niin kappale siirtyy välittömästi lepotilaan. Aristoteleen fysiikka oli paremminkin kvalitatiivista kuin kvantitatiivista. Itse asiassa hän uskoi että kvantitatiivinen fysiikka on mahdotonta. (Halloun ja Hestenes 1985, Karttunen 1998).

**Impetusteoria** oli keskiaikainen korjaus Aristoteleen selityksiin liikkeestä. Impetusteorian peruseriaate on seuraava: Kun esim. henkilö saa kappaleen liikkeeseen, niin hän antaa sille tietyn määrän impetusta, joka on eräänlainen voima, joka saa kappaleen liikkumaan siihen suuntaan jossa liike alkoi. Suunta voi olla ylös- tai alaspäin, sivulle tai ympyräliikkeen tapainen. Liike jatkuu impetuksen ansiosta, vaikka henkilö irrottaa otteensa kappaleesta. Impetusteorialla ja Aristoteleen fysiikalla on sama näkemys siitä, että tarvitaan jokin syy, jotta kappale liikkuisi. Kuvassa 2-1 annetaan havainnollistus kanuunan kuulan lentoradalle. Selitys radan muodolle on seuraava: Ensimmäisessä vaiheessa (a) kappaleen saama impetus voittaa kappaleen painon ja kappale liikkuu pitkin suoraa viivaa siihen suuntaan, johon se saatettiin liikkeelle. Toisessa vaiheessa (c) impetuksen kuluessa kappaleen paino aiheuttaa sen, että kappale alkaa pudota alaspäin alkuperäiseltä radaltaan. Kolmannessa vaiheessa, kun alussa saatu impetus on käytetty loppuun, kappale putoaa suoraan alaspäin. (McGloskey 1983 a).

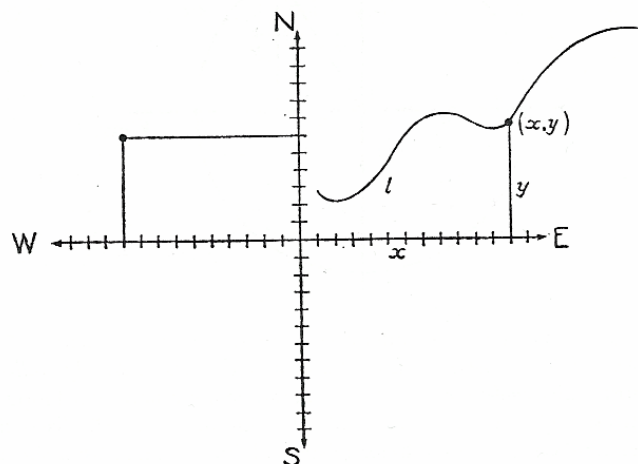


**Kuva 2-1.** Walther Hermann Ryffin vuonna 1582 esittämä havainnollistus impetusteoriasta. Tykin kuulan lentorata jakautuu kolmeen vaiheeseen kappaleen impetuksen ja kappaleen painon välisen suhteen mukaan. (McGloskey 1983a).

**Galilei** (1564 - 1642) käytti heiluria ajan mittaamiseen ja tutki kappaleen putoamista. Galilei tutki kaltevalla tasolla tapahtuvaa liikettä ja siihen liittyviä lakeja, kun kappaleen liike oli kulmassa vaakatasoon nähden. Galilei otti käyttöön käsitteen jatkuvuus, jolla hän tarkoitti kappaleiden kykyä liikkua suoraviivaisesti ja tasaisesti ilman syytä. Hänen näkemyksensä poikkesi Aristoteleen näkemyksestä, jonka mukaan liike aiheutuu voimasta. Vakuututtuaan siitä, että maapallo kiersi aurinkoa, hän yritti todistaa tämän. Kaikki hänen todistuksensa, kuten vuorovesi-ilmio, olivat joko riittämättömiä tai virheellisiä. Suurimpia vaikeuksia aurinkokeskeisessä maailmankuvassa olivat seuraavat vastaväitteet: 1) Aurinko näyttää liikkuvan. 2) Jos maa pyörii, niin linnut eivät voi päästä kotipesälleen, koska ne eivät pysty lentämään niin nopeasti kuin maa pyörii. Näiden ilmiöiden selittämiseksi Galilei otti käyttöön suhteellisen liikkeen käsitteen, mikä lienee Galilein suurin vaikutus fysiikkaan. "Lintujen ei tarvitse erikseen huolehtia Maan vauhdissa pysymisestä, vaan sen asian puolesta olisi sama vaikka ne olisivat ikiuudessa." (Koestler 1961, Landau ym. 1985, Prause 1969, Sorbel 2000).

**Descartesin** (1596 - 1650) suuri keksintö oli koordinaatisto (Kuva 2-2), jossa jokainen piste voidaan ilmoittaa lukuparin  $(x,y)$  avulla. Jos piste kulkee tason yli, niin yhtälö yhdistää pisteen piirtämän käyrän kaikkien pisteiden koordinaatit, ja yhtälöä

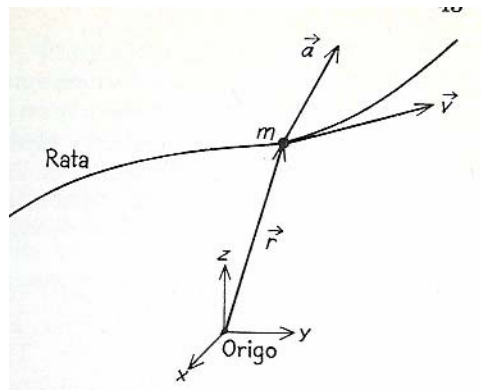
sanotaan käyrän yhtälöksi. Nyt voitiin ensimmäistä kertaa esittää liikettä havainnollisesti kuvaajan avulla. Käyrien yhtälöt voivat olla miten monimutkaisia tahansa, niin niiden algebralliset ja analyttiset ominaisuudet voidaan tulkita geometrisesti koordinaatiston avulla. Tasoa varten tarvitaan kaksi koordinaattia, tavallista kolmiulotteista avaruutta varten kolme koordinaattia. Mekaniikan ja suhteellisuusteorian geometriassa tarvitaan neljä koordinaattia (Bell 1963). Koordinaatiston käyttö mahdollistaa liikkeen jakamisen komponentteihin. Koulussa liike esitetään aina kartesiolaisessa koordinaatistossa.



**Kuva 2-2. Käyrän kuvaaja kartesiolaisessa koordinaatistossa (Bell 1963).**

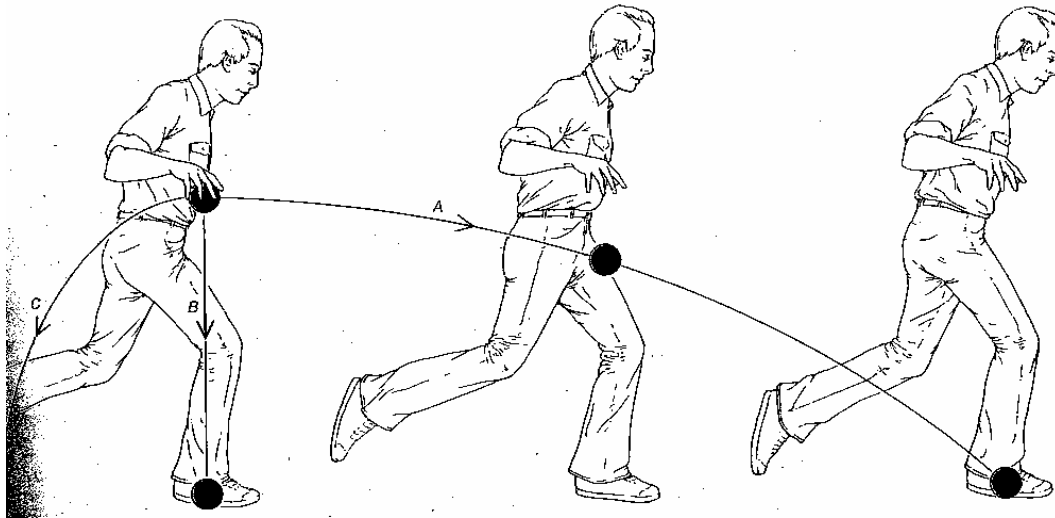
**Newton** (1642 - 1727) johti Keplerin kolmen lain pohjalta lain yleisestä gravitaatiosta, joka on nykyaikaista maailmankuvaa kaikkein eniten hahmottanut Newtonin laki. Newton pohjasi mekaniikan tutkimuksensa Keplerin planeettalakeihin sekä mm. Galilein vapaan putoamisliikkeen tutkimuksiin ja Huygensin ympyräliikkeen lakeihin. Newton kehitti differentiaali ja integraalilaskennan, jotta mekaniikan järjestelmä soveltuisi mielivaltaisten liikkeiden kuvaamiseen. Newtonin liikeyhtälö on differentiaalilaki, joka antaa kappaleen kiihtyvyyden, kun kappaleeseen vaikuttavat voimat tunnetaan. Voima ei ole kappaleen liikkeen syy vaan liiketilän muutoksen syy. Newtonin liikeyhtälön ja gravitaatiolain pohjalta taivaankappaleiden liikkeen hallinta on mahdollista. "Olennaista Galilein ja Newtonin luomassa mekaniikan järjestelmässä on yleisen maailmankuvan kannalta se, että tässä on luotu ensimmäinen empiirisen todennettavuuden vaatimukset tyydyttävä teoria, jossa samalla vallitsee kausalisuus- ehdoton syy-vaikutus-suhde. Differentiaaliyhtälö on tämän kausaliteetin tiivistymä. "Mekaniikassa liikkeen kuvailussa (Kuva 2-3) perustana ovat käsitteet paikka tai paikkavektori, aika, nopeus(vektori) ja kiihtyvyys(vektori) (Laurikainen 1973). Näiden suureiden avulla liikettä voidaan havainnoida mielivaltaisessa aika-paikka-, aika-nopeus- ja aika-kiihtyvyys-koordinaatistossa. Koordinaatisto valitaan siten, että sen avulla havaitaan mahdollisimman helposti ne liikkeen ominaisuudet, joista ollaan kiinnostuneita. Koordinaatistosta toiseen voidaan siirtyä analyttisin keinoin.

**Lagrange** (1736 - 1813) ja **Hamilton** (1805 - 1865) kehittivät mekaniikan formalismia, joka on huomattavasti abstraktimpaa ja tehokkaampaa kuin Newtonin formalismi. Lagrangen ja Hamiltonin formalismi on opiskelijoiden matemaattisen osaamisen vuoksi koulussa liian vaativaa, joten opetuksessa pitäydytään Newtonin mekaniikassa ([theory.physics.helsinki.fi/](http://theory.physics.helsinki.fi/)).



**Kuva 2-3.** Massapisteen paikkavektori ( $\vec{r}$ ), nopeus ( $\vec{v}$ ) ja kiihtyvyys ( $\vec{a}$ ) samana hetkenä (Laurikainen 1973).

**Intuitiiviset uskomukset** liikkeestä vaikuttavat sekä siihen miten ihmiset ajattelevat hypoteettisista tilanteista että miten he kokevat todelliset objektit. McGloskeyn (McGloskey 1983a) opiskelijat kävelivät lattialla pallo kädessään. Tehtäväksi heille annettiin pudottaa kävelyn aikana pallo (Kuva 2-4) niin, että se putoaa lattialle merkittyyn kohtaan. Tutkimuksen mukaan vain 45 prosenttia opiskelijoista tiesi, että pallo jatkaisi matkaa eteenpäin (lentorata A), kun se pudotetaan kävelijän kädestä kävelijän jatkaessa matkaa eteenpäin. Opiskelijoista 49 prosenttia ajatteli, että pallo putoaisi suoraan alaspäin ja osuisi maahan suoraan irrotuskohtan alapuolelle. Kuusi prosenttia ajatteli pallon lähtevän pudotessaan taaksepäin (lentorata C).



**Kuva 2-4.** Opiskelijoiden käsityksiä pallon lentoradasta, kun se päästetään putoamaan kävelijän kävelyn aikana (McGloskey 1983a).

Aristoteliset väärinkäsitykset vapaasta putoamisesta ovat yleisiä opiskelijoilla ja vaikeita oikaista. Useimpien ihmisten käsitys liikkeestä on paremminkin impetusteorian kuin Newtonin mekaniikan mukainen, jos he eivät ole saaneet fysiikassa koulutusta tai ovat suorittaneet vain yhden fysiikan kurssin. Maalaisjärkeen (common sense) pohjautuvat arkikäsitykset pitäisi ottaa vakavasti huomioon opetuksessa, sillä arkikäsitysten pohjalta pyritään kuvaamaan kokemusten merkitystä luonnollisella kielellä. Siksi arkikäsityksiä pitäisi käsitellä vaihtoehtoisina hypoteeseina ja tarkastella niitä tieteellisen proseduurin aikana. (Halloun & Hestenes 1985, Hestenes & ym. 1992, McGloskey 1983a).

## **2.2 Fysiikasta opetussuunnitelmissa**

Vuoden 1994 opetussuunnitelma oli aikaisempiin opetussuunnitelmiin nähden paljon väljemmin kirjoitettu, joten se jätti kouluille suuren vapauden koulukohtaisen opetussuunnitelman kirjoittamiselle ja toteuttamiselle. Koulujen opetussuunnitelmatyötä helpottamaan ilmestyi kirjojen kustantajilta valmiita ainekohtaisia opetussuunnitelmaehdotuksia ja myös opas (Meisalo ja Lavonen 1994) fysiikan ja kemian opetussuunnitelman kirjoittamista varten.

### **Fysiikka valtakunnallisessa lukion opetussuunnitelmassa**

Lukion opetus pohjautuu peruskoulun opetuksen pohjalle. Peruskoulun opetuksen perusteissa vuodelta 1994 todetaan, että fysiikan ja kemian opetuksen tehtävänä on ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun, tiedonhankintaan ja tietojen keräämiseen elämän eri tilanteissa. Eräänä keskeisenä kvantitatiivisen tason tavoitteena on, että oppilas osaa muodostaa yksinkertaisia malleja, erityisesti graafisen esityksen pohjalta, sekä käyttää niitä fysiikan ilmiöiden selittämisessä. (OPS 1994)

Lukion opetussuunnitelman perusteissa 1994 puolestaan todetaan fysiikan opetuksen tavoitteista seuraavasti:

”Tavoitteena on, että opiskelija

- saa tyydytystä luontaiselle tiedon ja ymmärtämisen tarpeelleen sekä saa vaikutteita, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta fysiikkaa kohtaan,
- osaa jäsentää käsitystään luonnon rakenteista ja ilmiöistä fysiikan käsitteiden ja periaatteiden avulla,
- oppii ymmärtämään, kuinka luonnosta ja sen ilmiöistä saadaan tietoa tekemällä havaintoja ja mittauksia ja
- osaa suunnitella ja tehdä yksinkertaisia luonnonilmiöitä koskevia kokeita sekä kykenee tulkitsemaan ja arvioimaan kokeellisesti saatua tietoa ja esittämään sitä muille.”

Mekaniikan kurssin opetuksen sisällöstä lukion opetussuunnitelman perusteissa 1994 on kirjoitettu seuraavasti:

”Syvennetään mekaniikan keskeisten osa-alueiden hallintaa. Perehdytään mekaniisiin vuorovaikutuksiin sekä statiikan ja dynamiikan perusteisiin kokeellisen tutkimuksen avulla. Tutkitaan etenemis- ja pyörimisliikkeisiin liittyviä ilmiöitä kokeellisesti ja perehdytään niiden avulla Newtonin lakeihin. Syvennetään kokeellisen menetelmän hallintaa.”

Kokeellisuus didaktisena periaatteena kuvataan opetussuunnitelman perusteissa seuraavalla tavalla:

Fysiikan opetukselle on luonteenomaista eteneminen havaintoja ja mittauksia tekemällä tai kokeellisiin tutkimuksiin perustuvaa tietoa hyväksi käyttämällä kohti kokeellisia luonnonlakeja. Tiedon graafisella esittämisellä on tässä prosessissa keskeinen asema. Ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä algebrallinen tulkinta ohjaa suureiden täsmälliseen käyttöön sekä peruslakien kvantitatiiviseen esittämiseen ja niiden perusteella tehtäviin ennusteisiin.”

Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994 antoivat kouluille hyvin vapaat kädet muodostaa koulukohtainen opetussuunnitelma opettajien omien näkemysten pohjalta. Meisalon ja Lavosen (1994) oppaassa Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa tähdennetään kokeellisuuden tärkeyttä fysiikan opetuksessa, ja kuinka kokeellisuuden

myötä graafisen esityksen merkitys korostuu tulosten ymmärtämisessä, tulkinnassa ja arvioinnissa sekä kvalitatiivisella että kvantitatiivisella tasolla. Koska tietokoneella tehtäviin erilaisiin mittauksiin saadaan havainnollinen graafinen esitys nopeasti mittaushjelman työkalujen avulla, rutiinityön määrä pienenee oleellisesti ja aikaa jää enemmän ilmiön pohtimiseen ja uusien suureiden etsimiseen (suorien sovituksilla tai akselien muunnoksilla). Oppaassa korostetaan algebrallisen tulkinnan tärkeää merkitystä ilmiöiden selittämisessä, sillä sen avulla voidaan suureita käyttää täsmällisesti kvantitatiivisella tasolla ja siten päästä esittämään peruslakeja ja niihin pohjautuvia ennusteita. Lukion opetussuunnitelmassa asetetut tavoitteet laajenevat kvantitatiiviseen suuntaan (Lavonen ja Meisalo 1997).

Kokeellisuuteen ja tulostenkäsittelyyn liittyvää graafista esitystä on pohdittu Kurki-Suonion K. ja R. (1994) kirjassa Fysiikan merkitykset ja rakenteet. Fysikaalisten esitysten abstraktisuusaste lisääntyy, kun siirrytään mittaustulosten numeerisesta esityksestä graafisen esityksen kautta suureiden välisiin algebrallisiin relaatioihin. Graafinen esitys on ensisijainen menetelmä, kun havainnollistetaan riippuvuuksia. Sen avulla voidaan pohtia monia metodisesti tärkeitä kokeellisen tutkimuksen kysymyksiä: tutkimuksen huolellisuutta, mittaustarkkuutta, häiritsevien tekijöiden vaikutuksia, tarvittavien idealisointien luonnetta ja niistä luopumisen merkitystä, tasoituksen ja interpoloinnin merkitystä, todetun lain pätevyysaluetta ja ekstrapoloinnin merkitystä sen induktiivisena yleistyksenä.

Graafinen esitys on käsitteenmuodostuksen tärkeä välivaihe ja se liittyy kokeelliseen lähestymistapaan. Graafisen esityksen tulosten käsittelyssä tarvittavat verrannollisuus ja lineaarinen riippuvuus tulisi oppia mahdollisimman varhain, sillä suureiden tasolle päästään vain kvantifioinnin kautta. Lakien tasoon liittyy myös matemaattisten esitystapojen opettamista. Käsitteenmuodostuksessa hierarkkiset tasot edustavat erilaisia abstraktiotasoa. Hierarkiatasolta toiselle tapahtuvan siirroksen edellytyksenä on kunkin aiheen kielen taso, sillä se luo fysikaalisen kielenkäytön perustan. Teorian taso on ylimpänä tavoitetasona. (Kurki-Suonio K. ja R. 1994)

## **Fysiikka Helsingin normaalilyseon lukion opetussuunnitelmassa**

Helsingin normaalilyseon lukion fysiikan opetussuunnitelman tavoitteet ovat seuraavat:

”Lukion luonnontieteiden opetus välittää kuvaa ihmisen elinympäristöstä, ihmisen ja ympäristön vuorovaikutussuhteesta sekä auttaa näkemään luonnontieteelliseen tietoon perustuvan yksilöllisen ja yhteisöllisen vastuun merkityksen. Opetuksen tehtävänä on auttaa ymmärtämään luonnontieteiden ja teknologian mahdollisuuksia ja rajoituksia. Luonnontieteiden opetus tukee osaltaan opiskelijan valmiuksia osallistua yhteiskunnassa tapahtuvaan päätöksentekoon.

Opiskelun tavoitteena on, että opiskelija

- saa tyydytystä luontaiselle tiedon ja ymmärtämisen tarpeelleen sekä vaikutteita, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta luonnon ilmiöihin ja luonnon rakenteisiin
- oppii ymmärtämään, miten luonnosta ja sen ilmiöistä saadaan kestävä tietoa tekemällä havaintoja ja mittauksia, sekä hankkimaan ja käyttämään tietoja
- oppii tutkimaan kokeellisesti elämän ja ympäristön, maailmankuvan sekä teknologian kannalta merkittäviä ilmiöitä
- oppii ymmärtämään, millä tavalla fysiikan käsitteet, lait ja teorit perustuvat kokeellisen tutkimuksen ja teoreettisen pohdiskelun vuorovaikutukseen
- osaa jäsentää käsitystään luonnon rakenteista ja ilmiöistä fysiikan käsitteiden avulla
- oppii ymmärtämään, miten teknologia soveltaa fysiikkaa

- kykenee osallistumaan luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon
- saa tarpeelliset tiedot, taidot ja valmiudet opintojen jatkamiseksi.

Opiskelu perustuu kokeelliseen, tutkivaan työskentelyyn, jossa on keskeistä ilmiöiden ja syy-seuraussuhteiden havaitseminen, ymmärtäminen ja jäsentäminen. Kokeellisuus voi olla kurssista, aihepiiristä, opetuksen vaiheesta ja välineistä riippuen opiskelijoiden omakohtaista työskentelyä, opettajan esittämiä demonstraatioita, vierailujen, videoiden tai vain kerronnan avulla tapahtuvaa toimintaa. Kurseihin kuuluu usein tärkeänä osana kokeellinen työ ja siihen liittyvän selostuksen tekeminen.”

Helsingin normaalilyseossa lukion opetussuunnitelman perusteissa mainittu mekaniikan opetus tapahtui kursseilla: Mekaniikka ja Mekaniikan jatkokurssi. Mekaniikka oli järjestyksessä kolmas lukion fysiikan kurssi ja se oli sijoitettu lukion ensimmäisen vuoden keväälle ja sen yhteydessä opetettiin opetuskokeiluun liittyvä kinematiikka. Mekaniikan jatkokurssi yhdeksäntenä fysiikan kurssina oli sijoitettu kolmannen opiskeluvuoden syksylle. Kurssien sisällöt ovat seuraavat:

#### **Mekaniikka**

”Kurssi keskittyy mekaniikan keskeisiin suureisiin ja lainalaisuuksiin. Aiheita ovat tasainen ja muuttuva liike, statiikka sekä dynamiikka. Erityistä huomiota kiinnitetään dynamiikan peruslakiin ja sen kokeelliseen luonteeseen, liikeyhtälöön sekä kappaleiden välisiin vuorovaikutuksiin. Kurssilla otetaan käyttöön erilaisia laskennallisia apuvälineitä, luodaan kokeellisten tulosten pohjalta ilmiöitä selittäviä malleja sekä tutustutaan mekaanisen maailmankuvan ja tähtitieteen historiaan.”

#### **Mekaniikan jatkokurssi**

”Syvennetään ja laajennetaan kursseissa 1, 2 ja 3 opittuja mekaniikan perusteita. Syventäminen tapahtuu muun muassa hyödyntämällä laskennallista derivointia ja integrointia. Perehdytään käyräviivaiseen liikkeeseen, pyörimisliikkeeseen ja keskeisliikkeeseen sekä mekaniikan keskeisiin säilymlakeihin. Tutustutaan gravitaatiovuorovaikutukseen ja gravitaation alaiseen liikkeeseen ja planeettaliikkeeseen. Syvennetään statiikkaan liittyvien ilmiöiden laskennallista hallintaa. Mahdollisuuksien mukaan kerrataan muidenkin fysiikan alueiden sisältöjä.”

## **2.3 Graafisesta esityksestä reaalikokeessa**

Ylioppilastutkintolautakunnan fysiikan jaoksen jäsen Jari Lavonen (1999) on tarkastellut lukion fysiikan mekaniikan ja graafisen esityksen sekä reaalikokeen sisältöjä ja tehtävyytyyppejä monipuolisesti. Keskeisiin sisältöihin hän lukee mm. kinematiikan perusprobleemat. Lavonen jakaa tehtäviä soveltamisen ja ongelmanratkaisun suhteen ja toteaa, että käytännössä oppilaita ohjataan oppitunneilla soveltamaan ja ratkaisemaan ongelmia erilaisten projektien, tutkimusten ja tehtävien parissa.

Lavonen luokittelee ensin tehtävät avoimiin ja suljettuihin. Avoimen tehtävän avoimuus voi olla tehtävän annossa, lähtötilanteen tarkastelussa, lakien käyttöön liittyvien oletusten tekemisessä jne. Toinen tapa on luokitella tehtävät myös niiden kognitiivisen vaatimustason mukaan tai niiden muodon perusteella muistamis-, soveltamis- ja tuottamistehtäviin. Soveltavat tehtävät edellyttävät tietojen soveltamista ja ne voivat olla mm. graafisia tehtäviä. Probleematehtävissä looginen päättely ja koko ongelmanratkaisuprosessi korostuu.

Laskennallisissa tehtävissä korostuu laskennallinen hallinta, ja se edellyttää matemaattisia operaatioita. Laskennallisissa tehtävissä matemaattisuus on keino

täsmälliseen ilmaisuun eikä arvo sinänsä. Ongelmanratkaisutehtävä, joka vaatii matemaattisia operaatioita, on hyvä laskennallinen tehtävä. Laskennallisen tehtävän pohjana voi olla mittaustulokset tai graafinen esitys.

Graafisilla menetelmillä voidaan saada havainnollinen yleiskuva olennaisista tekijöistä ja päästä tulkinnan kannalta riittävään tarkkuuteen. Lavonen kirjoittaa, että graafisen esityksen tulkintaan liittyvät tehtävät testaavat myös kokeellisesti hankitun tiedon tulkitsemisen ja selittämisen taitoja. Jos tehtävässä annetaan käyrän asemasta mittauspisteet, tehtävällä mitataan myös kokeellisesti hankittujen tietojen esittämisen taitoja. Tehtävillä voidaan myös mitata kokeellisen tutkimuksen suunnittelun taitoja.

Lavonen nostaa esiin graafisen esityksen opetussuunnitelman ja reaaliavustusten kannalta.

*” Opetussuunnitelman perusteissa korostetaan, että fysiikan opiskelussa graafisella esityksellä on keskeinen asema. Tiedon esittäminen graafisesti ja graafisesti esitetyn tiedon tulkitseminen on myös oleellinen taito, jota tarvitaan jatko-opinnoissa. Lukion keskeisenä tavoitteena on kehittää opiskeluvälmiuksia. Graafisia esityksiä vaivaa tällä hetkellä suunnaton epätarkkuus: akselit piirretään vapaalla kädellä, pisteet sijoitetaan koordinaatistoon miten sattuu, akseleita ei nimetä, ... . Graafiset esitykset kannattaa tehdä ylioppilaskokeissa millimetripaperille ja niiden laatimisessa on käytettävä viivainta.”*

Lavosen mukaan ylioppilasvastauksissa esiintyy graafisessa esityksessä seuraavaksi mainittuja tyypillisiä puutteita:

- puutteet koordinaatistossa, kuten akseleissa, tunnuksissa ja jaotuksissa
- kaikki pisteet eivät mahdu kuvaan
- kulmakerroin määritetään havaintopisteistä
- graafinen tasoitus puuttuu

Samantapaisia puutteita vastauksissa ovat kirjanneet myös Arminen (2003) sekä Nurmela ja Ahtee (1998).

Ylioppilastutkintolautakunnan jäsen Erkki Arminen (2003) pohdiskelee artikkelissaan ”Kevään 2003 ylioppilaskirjoitusten fysiikan koe” tehtävien vaatimia sekä fysikaalisia että matemaattisia taitoja seuraavasti:

*”... arvostelussa pyrittiin noudattamaan tavallista lievempää linjaa mm. siten, että sanallisissa vastauksissa fysikaalisesti hyvinkin epämääräiset ilmaukset tulkittiin kokelaan eduksi ja että virheistä ei juurikaan sakotettu, mikäli oikeatkin asiat vastauksesta löytyivät.*

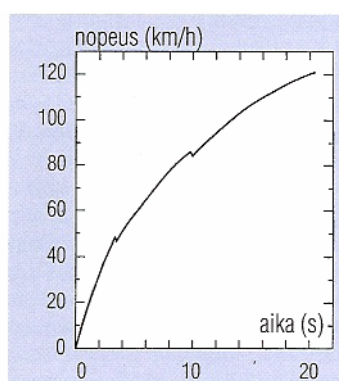
Koesuoritusten perusteella osaamattomuus oli liittynyt fysiikan eikä matematiikan hallintaan. Arminen kuitenkin painottaa, että fysiikka on eksakti luonnontiede, jonka kieli on matematiikka. Siksi matematiikkaa on osattava riittävästi, jotta matemaattisten mallien, suureyhtälöiden, skalaari- ja vektoryhtälöiden käsittely onnistuu. Siten mm. algebran perusasiat, graafinen derivointi ja integrointi kuuluvat osattaviin matematiikan taitoihin.



Arminen (1997) on analysoinut kevään 1997 ylioppilaskirjoitusten kahta osittain kinematiikan alueeseen liittyvää koetehtävää 1 ja 15 (Kuva 2-5). Tehtävään 1 saatiin yli 7000 vastausta, joiden keskiarvo oli 3,50, mikä oli myös koko kokeen keskiarvo. Tehtävä liittyi Toyota Corollan kiihdytystestin nopeuskuvaajaan c)-kohdasta lähes kaikki opiskelijat saivat kaksi pistettä laskettuaan keskikiikiihtyvyyden oikein. a)-kohdan kiihtyvyyden kuvailu nopeuden muuttuessa tuotti usein yhden pisteen perustelujen puuttumisen vuoksi. Vastauksissa ei osattu perustella mikä suure kiihtyvyys on, tai miten se saadaan nopeuden kuvaajasta. b)-kohdassa piti pohtia syitä, miksi kiihtyvyys ei pysynyt vakiona. Perusteluiksi esitettiin virheellisesti ilmanvastusta ja kitkaa. Vain 94 vastausta oli kuuden pisteen arvoisia, joissa perusteluna oli selitys, että maksimiteholla voima pienenee kaavan  $F = P/v$  mukaan.

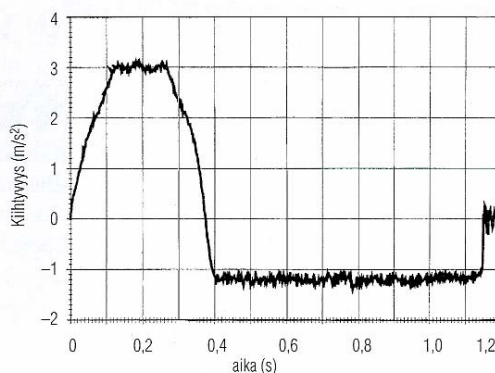
**Tehtävä 1.** Tekniikan Maailman koeajossa saatiin Toyota Corolla -autolle oheisen kuvion mukainen nopeuden kuvaaja.

- Kuvaile, miten auton kiihtyvyys muuttuu nopeuden kasvaessa.
- Pohdi syitä, joiden vuoksi kiihtyvyys ei pysy vakiona.
- Määritä auton keskikiikiihtyvyys aikavälinä 4,0 s ... 16,0 s.



**Tehtävä 15.** Tietokoneeseen kytketty kiihtyvyyssanturi kiinnitettiin puuparruun, joka tönäistiin liikkeelle pitkin lattiaa. Mittauksessa saatiin tietokoneen näyttöön oheisen kiihtyvyyden kuvaaja.

- Selitä kuvaajan muoto.
- Määritä parrun nopeus hetkellä 0,8 s
- Määritä parrun ja lattian välinen kitkakerroin.



**Kuva 2-5. Kevään 1997 reaalikokeen fysiikan tehtävät 1 ja 15 (Arminen 1997).**

Tehtävässä 15 analysoitiin kiihtyvyyssanturilla mitattua kuvaajaa. Ylimääräisen kokeen kirjoittajien keskiarvo oli 3,49 ja pakollisen kokeen kirjoittajilla 2,83. Tehtävä vaati jalan ja parrun välisen vuorovaikutuksen ymmärtämistä. a)-kohdan yleisin virhe oli väite, että kiihtyvyys alkaa pienentyä tai kiihtyvyys vaihtaa merkkiä, kun jalan kontakti parruun loppuu. Kinematiikan alueeseen liittyvä parrun nopeuden laskeminen graafisesti integroimalla suoritettiin kahdesta vaihtoehdosta hankalammalta aikaväliltä, jolloin saatu tulos oli epätarkka.

Nurmela ja Ahtee (1998) ovat tarkastelleet vuoden 1998 reaalikokeen kokeellisia tehtäviä, joista tehtävä 15 (Kuva 2-6.) liittyy kinematiikan (t,v)-kuvaajaan, jossa kuvaaja tosin pitää nivoa liikkeeseen vaikuttaviin voimiin.

**15.** Levyn vaikuttavaa ilmanvastusta tutkittiin siten, että levy kiinnitettiin pieneen vaunuun, joka pääsee liikkumaan vaakasuoralla ilmatyynyradalla. Vaunu tönäistiin liikkeelle, jonka jälkeen sen nopeutta mitattiin tietokoneeseen liitettyllä ultraäänianturilla. Levyn ja vaunun yhteinen massa oli 290 g.

Kokeessa saatiin oheisen taulukon mukaiset tulokset:

t (s)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
v (m/s)	1,08	1,03	0,99	0,96	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,76

a) Piirrä levyn nopeuden kuvaaja  $v = v(t)$ .  
 b) Minkä vuoksi kuvaaja ei ole lineaarinen?  
 c) Määritä levyn vaikuttava ilmanvastus hetkellä 0,6 s.

**Kuva 2-6. Kevään 1996 reaalikokeen fysiikan tehtävä 15 (Nurmela & Ahtee 1996).**

Tehtävään oli vastannut 2158 opiskelijaa pistekeskisarvolla 3,43. Kuvaajan muoto aiheutti ongelmia. Vaunun hidastuva liike näkyi kuvaajassa nopeuden pienenemisenä ajan kuluessa, mistä opiskelijan olisi täytynyt oivaltaa, että etenemistä vastustaa jokin voima. Koska liikkeen alkuvaiheessa kuvaaja ei ole lineaarinen, vaan nopeus pienenee aluksi jyrkemmin, niin voidaan päätellä, että vaunun liikettä vastustava voima on pienentynyt. Tällöin vaunun hidastuvuus on pienentynyt liikkeen edetessä. Useat opiskelijat olivat laskeneet kiihtyvyyden suoraan käyrän pisteiden välisestä erotuksesta.

Graafisen esityksen avulla annettua tietoa on vaikea tulkita, vaikka graafiset esitykset esiintyisivät ammattikirjallisuudessa toistuvasti. Tämä käy esille Salmelinin (1997) väitöskirjasta, jossa hän tutki lääketieteellisten julkaisujen mm. tilastograafisten kuvien ominaisuuksia. Esiintyvät tutkimustulokset keskittyivät harvoin tietotyyppeihin. Useimmiten kuvattuja muuttujia oli enintään kaksi. Kuvista 33 % oli virheellisiä ja erilaisilla tavoilla huonolaatuisia oli 84 %. Lääkärilukijoista yli 60 % ei tunnistanut yhtään kuviin tehdyistä tahallisista virheistä ja huonolaatuisuuksista. Laajimmin ymmärrettiin yksinkertaisia pylväskuvioita ja niiden muunnelmia.

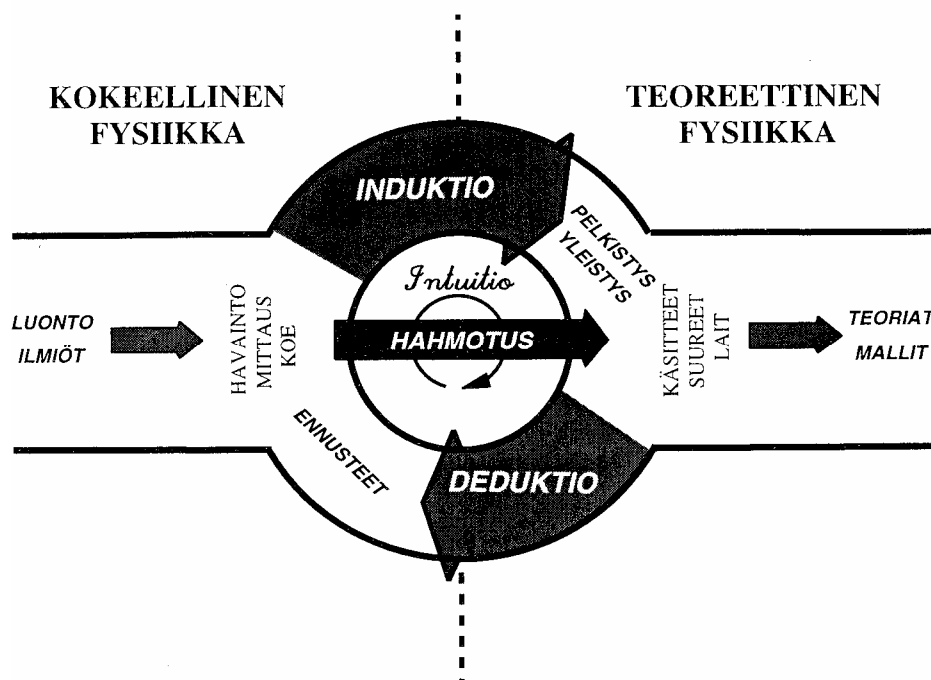
### 3 Oppimisprosessi

Oppiminen on monipuolinen prosessi. Yksilö saa informaatiota ympäristöstään aistiensa välityksellä ja pyrkii muodostamaan kokonaiskuvaa elinympäristöstään. Intuutiolla, tiedonvastaanottotavoilla, oppimistyyleillä ja opiskeluorientaatiolla on selkeä merkitys oppimisprosessissa.

#### 3.1 Intuutiosta

Yksilö pyrkii aktiivisesti tulkitsemaan ja ymmärtämään ympäröivää maailmaansa. Prosessi, jonka aikana yksilö rakentaa fyysikaalisesta ja sosiaalisesta ympäristöstään teorianomaisia käsitteellisiä rakenteita, alkaa jo kehityksen varhaisvaiheista, jopa vauvaiästä lähtien. Prosessi on luonteeltaan intuitiivinen. Intuitiivisesti muodostettujen käsitysten muuttaminen on vaikeaa, ja on havaittu, että monet oppilaat eivät muuta opetuksen ansiosta vääriä ennakkokäsityksiään kouluaikaanaan, vaan pitävät niistä kiinni jopa pitkälle korkeakouluopintoihin asti (Hakkarainen & ym. 1999).

Intuitiivisen metodin perusajatus on, että ihminen voi oman sisäisen näkemyksensä pohjalta sanoa, mikä on totta. Intuitio on ajattelun ainoa perusta, ja se on luonteeltaan tunneperäistä ja psykologisten lakien alaista. Vaikka intuitiiviset oivallukset ovat ratkaisevia tieteen edistymisen kannalta, ne eivät yksinään riitä tieteelliselle tiedolle perusteluksi (Kuva 3-1). Jotta intuitiiviset oivallukset saadaan muunnetuksi tieteelliseksi tiedoksi, pitää niistä saaduille tuloksille pystyä antamaan perustelut. Vaikka käsitteenmuodostuksen tasojen sisäisissä ja välisissä prosesseissa voidaan erottaa induktioaskeleita ja deduktioaskeleita, niin intuitiota tarvitaan kytkemään niitä yhteen. (Kurki-Suonio, K. & R. 1994)



Kuva 3-1. Hahmottamisen kaksisuuntainen dynamiikka (Kurki-Suonio, K. & R. 1994).

Dreyfusien H. ja D. kuvauksen mukaan asiantuntijuus kehittyy vaiheittain. Esimerkiksi aloittelijan toiminta on suunnitelmien ja sääntöjen kaavamaisista noudattamista, kun taas asiantuntija löytää ratkaisut intuitiivisesti ilman erityisiä ponnisteluja. Asiantuntija pystyy myös tarvittaessa perustelevaan ratkaisujaan. Asiantuntijalla saattaa olla tietoa 50 000 - 100 000 tilanteesta, mikä on enemmän kuin ihmisen sanavarastossa on sanoja (Hakkarainen & ym. 1999).

Asiantuntija voi myös intuition perusteella sanoa, miten ilmiön pitää käyttäytyä ja etenkin miten se ei ainakaan voi käyttäytyä. Richard Feynman (1985) kirjoittaa yleistajuisessa kirjassaan intuition ja kokemuksen tuomasta varmuudesta. Uransa aikaisemmassa vaiheessa Feynman toteaa Wheelerin kanssa keskustellessaan: *"Minua vaivasi, että hän oli ilmeisesti laskenut nämä tulokset. Ymmärsin vasta myöhemmin, että Wheelerin kaltainen ihminen näkee heti kaiken, minkä hänelle esittää ongelmassa. Minun oli pakko laskea, mutta hän näki."*

Myöhemmin Feynman itse esiintyy keskustelussa näkijänä, kertoessaan kollegansa laskussa esiintyneestä virheestä:

*"Hän kuvittelee, että seuraan laskelmaa vaihe vaiheelta, mutta sitä minä en tee. Minulla on erityinen esimerkki siitä, mitä hän yrittää analysoida, ja tiedän sen ominaisuudet vaistomaisesti ja kokemukseni perusteella. Joten, kun yhtälö sanoo, että asian pitäisi käyttäytyä näin-ja-näin, ja tiedän, että se on väärin, hyppään pystyyn ja sanon, "Odota! Jossakin on virhe!""*

### **3.2 Tiedonvastaanottotavoista, oppimistyyleistä ja opiskeluorientaatiosta**

Oppimistyylyllä tarkoitetaan oppijalle luonteenomaisia kognitiivisia (älyllisiä), affektiivisia (tunteisiin liittyviä) ja fysiologisia tekijöitä. Siihen sisältyvät myös kognitiiviset tyylit eli tiedon prosessointitavat (Laine & ym. 2002). Prashingin (Freese & ym. 1999) näkemyksen mukaan vasen aivopuolisko huolehtii 'peräkkäisestä prosessoinnista', analyysistä ja asioiden erittelemisestä osiinsa sekä eri osien loogisten yhteyksien tarkastelusta. Oikea aivopuolisko on syntetisoija, joka hallitsee kokonaisuuksia ja suorittaa intuitiivisia päätelmiä. Jos kumpikaan aivopuolisko ei dominoi, niin molempia ajattelutapoja voidaan hyödyntää tarvittaessa. Tehokkaan oppimisen kannalta olisi aiheellista aktivoida eri aivopuoliskojen välistä kytkentää eli harjoitella analyttisyyttä ja holistisuutta (kokonaisvaltaisuutta). Suggestopedisessä opetuksessa otetaan molemmat aivopuoliskot huomioon eli luodaan siltoja niiden välille (Laine & ym. 2002). Jos oikea aivolohko on hallitsevampi, niin ajattelu tapahtuu kokonaisuuksista lähtien, deduktiivisesti, jolloin annetusta tehtävästä on saatava selkeä kokonaiskuva ennen aloittamista. Parhaiten tällainen henkilö vastaanottaa visuaalista tai taktiilis-kinesteettistä tietoa (Laine & ym. 2002).

Aivopuoliskojen käyttö liittyy oppimisympäristö-mielitymisiin. Useimmat ihmiset käyttävät oppimisessaan sekä visuaalista, auditiivista että kinesteettistä vastaanottokanavaa. Monilla on mieltymyksiä siihen, mikä näistä kanavista on oppimisen kannalta tehokkain. Visuaalisilla näkeminen on tärkeää. He prosessoivat nopeasti, luovat mielikuvia ja kaavioita sekä oppivat paremmin kirjojen kuin luentojen perusteella. Auditiiviset prosessoivat korvillaan. Kuuleminen ja oma sisäinen puhe on heille tärkeää. Auditiivinen tyyppi etenee loogisessa järjestyksessä ja

tarvitsee aikaa selittääkseen asian itselleen. Hän oppii parhaiten luennoilla. Kinesteettiselle henkilölle tunne ja liike ovat tärkeitä. He haluavat saada käsityksen asiasta aktiivisesti itse osallistumalla, tekemällä ja kokeilemalla. Ilmapiiri, viihtyminen ja toiminta on heille tärkeää, eivätkä he jaksaa istua pitkään yhdessä paikassa. Asioiden 'väärä' järjestys ei haittaa heitä, mutta he tarvitsevat prosessointiaikaa. (Freese & ym. 1999, Laine & ym. 2002)

Freese, Johansson, Mäkelä ja Ollilainen tekivät aivopuoliskotestin 80 yliopistotason opintojen eri vaiheissa olevalle opiskelijalle. Heidän mukaansa kanavien osuudet vaihtelivat jonkin verran riippuen siitä, miten kriteerit asetetaan. Kinesteettinen kanava oli heikoin ja sen osuus vaihteli 0 - 28 %. Tämä vastaa Farwellin (2005) 20 % ja Jesterin (1999) 15 -20 % tulosta kinesteettisten opiskelijoiden määrästä. Freese & ym. saivat tulokseksi, että auditiiivinen ja visuaalinen vastaanottokanava oli huomattavasti voimakkaampia kuin kinesteettinen kanava. Auditiiivisuus näytti liittyvän 'vasen-aivoisuuteen' ja kinesteettisyys 'oikea-aivoisuuteen'. Tutkimuksen mukaan vastaanottokanavatestin suhteelliset pistemäärät osoittivat hyvin suurta samankaltaisuutta kaikissa pääaine- ja opiskeluvaihe-ryhmissä. Visuaalinen ja auditiiivinen kanava saivat selkeästi enemmän pisteitä kuin kinesteettinen.

Opiskeluorientaation mukaan taas opiskelijat jakaantuivat kolmeen ryhmään: Ensimmäiseksi olivat 'Pintasuuntautuneet ulkoisesti ohjautuvat opiskelijat'. Heidän tiedonkäsityksensä oli kehittymätön. He jättivät vastuun oppimisesta opettajalle ja kokonaisuuksien sijasta keskittyivät pienempiin yksityiskohtiin. Toiseksi olivat 'Syväsuuntautuneet ja itseohjautuvat opiskelijat', jotka ottivat vastuun omasta opiskelustaan ja pyrkivät ymmärtämään oppimaansa. Heillä oli korkein suoritusmotivaatio ja he suosivat työskentelyä ryhmässä. Kolmannen ryhmän 'Itsenäiset opiskelijat' halusivat työskennellä yksin. He olivat voimakkaimmin itseohjautuvia ja teoreettisesti ajattelevia opiskelijoita, eivätkä he tarvitse ulkoista kannustusta eivätkä stimulaatiota. He olivat syväsuuntautuneita ja heidän tiedonkäsityksensä oli hienostunein. Pintasuuntautuminen oli suurinta fukseilla ja syväsuuntautuminen puolestaan jatko-opiskelijoilla.

Erilaiset tiedonkäsitykset ohjaavat oppimista. Vaikka nämä käsitykset eivät ole tiedostettuja, niillä on silti vaikutusta siihen, miten opiskelija oppii tai miten hän suhtautuu opiskeluun. Opiskelutyyli ei kuitenkaan määrää opiskeluorientaatiota eikä päinvastoin, mutta opiskeluorientaatiolla on ilmeisesti suurempi merkitys kuin opiskelutyyllillä (Freese & ym. 1999).

## 4 Kinestiikka opetuksessa

### 4.1 Käsitteiden määrittelyä

Tässä tutkimuksessa esiintyville tai siihen läheisesti liittyville käsitteille käytetään seuraavia merkityksiä:

Intuitio (lat. *intueri*, nähdä) tarkoittaa sisäisen näkemyksen kautta saatua välitöntä oivallusta

Intuitiivinen tarkoittaa välittömään oivallukseen perustuvaa näkemyksellisyyttä (Taskutietojätti, Gummerus Oy 1984)

Intuitiivinen tapa tulkita kuvaajia tarkoittaa opiskelijoiden perusteluja, joissa monivalintatehtävän valinta on joko oikein tai väärin. Valinnan perustelu on annettu joko pelkästään sanallisesti kuvailemalla tai pohjautuu oman liikkumisen aikaansaamaan kokemukseen.

Fysikaalinen ajattelumalli tarkoittaa perustelua, joka on fysikaalinen ja fysiikkaan kuuluva

Fysikaalinen perustelu tarkoittaa perustelua, joka on annettu laskulla ja/tai fysiikan ilmiön/käsitteiden kannalta mielekkäällä sanallisella esityksellä

Kinematiikka (kreik.) tarkoittaa oppia kappaleiden liikkeistä (Tasku tietojätti, Gummerus Oy 1984)

Kinesteettinen lahjakkuus on eräs tiedon vastaanottotavoista, joita muita voidaan erottaa *visuaalinen, auditiivinen, taktiilinen ja kinesteettinen* puoli, jotka harvoin esiintyvät täysin puhtaina, sillä useimmilla on käytössään useita tapoja vastaanottaa tietoa

Kinestesia (kreik.) tarkoittaa liiketuntoa, liikeaistia, lihas- tai jänneaistia eli niitä ihmisen tai eläimen aistitoimintoja, jotka havaitsevat sen oman liikkeen. Tämä aistimus välittyy mm. lihaksiin ja jänteisiin tuntohermojen välityksellä. (Tasku tietojätti, Gummerus Oy 1984)

Kinesteettinen tarkoittaa liikkeen aistimusta koskevaa tuntemusta tai kokemusta.

Kinestiikka tarkoittaa havainnointia, joka tapahtuu hyödyntämällä kinestesiaa.

Taktiilinen oppimistyyli tarkoittaa tiedon vastaanottotapaa, joka käyttää tuntoaistia oppiakseen uutta. Myös tunteet ja fyysiset tuntemukset ovat taktiiliselle oppijalle tärkeitä. Huomio kiinnittyy helposti sanattomaan viestintään; ilmeisiin, eleisiin ja äänenpainoihin. Taktiiliselle oppijalle oppimisen kannalta tärkeitä ovat oppimisilmapiiri, tunteet, elämykset ja kosketus. Oppimista edistää kuullun tai nähdyn kirjoittaminen tai piirtäminen. (internet)

Reduktionismi "tutkii maailmaa sellaisten fysikaalisten osien kokonaisuutena, jotka voidaan erottaa toisistaan ja tutkia erillisinä. Reduktionismi ja analyttinen matemaattinen mallintaminen nousivat aikanaan modernin luonnontieteen tehokkaimmiksi älyllisiksi välineiksi."(Wilson 2001)

## **4.2 Kinesteettisistä oppijoista**

Pienellä lapsella oppiminen tapahtuu kinesteettisesti, ensin koko kehon avulla ja myöhemmin pelkkä esineiden koskettelu riittää. Kahdeksan vuoden ikäisenä lapsi pystyy jo oppimaan visuaalisesti ympäristöönsä havainnoimalla. Yhdentoista vanhana hän kykenee oppimaan audittiivisesti. Kaksitoistavuotiaaksi asti lapset oppivat kuitenkin parhaiten kinesteettis-taktiilisesti (Laine & ym. 2002).

Motorisen kehityksen perusta kehon aistimuksissa on lyhyesti seuraava:  
*"Oma keho viestittää lapselle liike- ja tasapainoaistimuksia (vestibulaarinen prosessointi), lihas- ja jänneaistimuksia (kinesteettinen prosessointi) sekä tuntoaistimuksia (taktiilinen prosessointi). Tasapainon ja vakaan asennon saavuttaminen ja ylläpitäminen edellyttää näköaistin, korvan tasapainoaistin sekä lihas- ja jänneaistin virheetöntä yhteistoimintaa. Sisäkorvan aistireseptorit lähettävät jatkuvasti tietoa asennon muutoksista, liikkeen suunnista ja tasoista."*  
(Ahonen & ym. 2004)

Lihasten ja nivelten liikkeistä ja asennoista saadaan tietoa kinesteettisen eli lihas- ja jänneaistin välityksellä. Suurin osa tiedosta ei tule tietoisuuteen, vaan lapsen liikettä ohjaavat aivoihin tallentuneet muistikuvat kehon osien sijainnista ja toiminnasta. Ympäröivässä tilassa liikkumista ohjaa näköaistin lisäksi tasapainoaistin ja kinesteettisen aistin tuoma tieto. Esimerkiksi esineiden etäisyyksien arvioinnissa ei riitä pelkkä esineiden näkeminen, vaan aivot tajuavat etäisyyden luonteen kehon liikeaistimuksen kautta. Kun näköhavainto yhdistyy motorisiin toimintoihin, pystyy lapsi muuttamaan kehonsa asemaa ja liikettä käytettävän tilan suhteen saaden samalla tietoa itsensä ja ympäristön esineiden etäisyyksien suhteen. Kinesteettiset tyypit käyttävät ilmaisun apuna kehoaan ja erilaisia eleitä.

Kinesteettinen oppija oppii parhaiten tekemällä ja kokeilemalla, kehon liikkeiden avulla. Oppimistilanteissa kinesteettisen oppimistyylin omaavalle oppijalle tulisi tarjota toimintaa ja liikettä. He oppivat parhaiten, kun taktiiliset ja kinesteettiset kokemukset yhdistetään. (Laine & ym. 1999)

"Kinesteettis-analyttinen oppija ajattelee järjestelmällisesti ja oppii parhaiten, kun koko kehon käyttäminen oppimistilanteessa on mahdollista. Vaihe vaiheelta etenevä, hyvin organisoitu ryhmätyöskentely edistää heidän oppimistaan, samoin kuin liikkumisen mahdollistava oppimisympäristö. Käsien kosketeltavat materiaalit ovat heille tärkeitä ja he ovat kiinnostuneita oppimisasipeleistä, simulaatioista, roolipeleistä ja kilpailuista. He oppivat tekemällä asiat jaksoittain. (Laine 1999, s.128-129)"

"Kinesteettis-globaaliset oppijat hankkivat tietoa intuitiivisesti. He käyttävät koko kehoa oppimisen tukena strukturoimattomasti. He haluavat asioista ensin kokonaiskuvan, minkä jälkeen yksityiskohtien ymmärtäminen on helpompaa. Todellisissa tilanteissa työskentely ja erilaiset fyysiset harjoitukset auttavat heitä

keskittymään asiaan. Asioiden ideoiminen ja kokonaisuuksien suunnittelu on heille helppoa, mutta yksityiskohtainen suunnittelu ja toteutus vaikeaa. Oppimisympäristön tulisi mahdollistaa aktiivinen oppiminen. (Laine 1999, s. 128-129)"

### 4.3 Kinesteettisen opetuksen määritelmät

Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan kinesteettiselle opetukselle esittää kaksi määritelmää, suppeampi ja laajempi.

<b>Määritelmä (suppea )</b>	<b>Kinesteettinen opetus on ilmiön opetusta siten, että käsitys ilmiöstä saadaan oman kinesteettisen kokemuksen kautta.</b>
-----------------------------	---

Tämän suppean määritelmän mukaan kinesteettinen opetus rajataan käsittämään opetusta, jossa opiskelija saa tuntuman ilmiöön puhtaasti oman kehon liikkeen avulla, toisin sanoen kinesteettisen aistimuksen kautta. Esimerkkinä tällaisesta opetuksesta on kinestiikkavaunujen (Pascon manuaali) käyttö opetuksessa. Kinestiikkavaunujen avulla tilanteita varioimalla voidaan havainnollistaa Newtonin lakeja, liikemäärän säilymistä ja erilaisia törmäyksiä ja saada kehon tuntemuksen avulla suora tuntuma ilmiöön. Kehon tuntuman avulla saatua kuvaa ilmiöstä voidaan sitten selittää teorian avulla.

Useissa tilanteissa kinesteettistä opetusmenetelmää käytetään kuitenkin vain osana tulkintaprosessia. Tällöin kinesteettinen kokemus yhdistetään esim. visuaaliseen havaintoon ilmiöstä ja oppiminen tapahtuu sekä kinesteettisen kokemuksen että visuaalisen havainnon yhdistämisen kautta. Siksi kinesteettiselle opetukselle tarvitaan myös laajempi määritelmä:

<b>Määritelmä (laaja )</b>	<b>Kinesteettinen opetus on ilmiön opetusta siten, että opetustapahtumaan liittyy osana kinesteettinen koe, jonka antamaa kokemusta käsitellään myös muilla esim. analyttisillä menetelmillä.</b>
----------------------------	---

Esimerkiksi Beichnerin (1996) opetuskokeilu kuuluu laajan määritelmän piiriin. Opetuksen aikana videoidaan opiskelijan omaa liikettä ja tallennetta analysoidaan monipuolisesti jälkikäteen. Oppimiseen liittyy oleellisena osana kahden vaiheen, kinesteettisen ja visuaalisen osan, yhdistäminen. Liikkeen suorittamisesta opiskelija saa kinesteettisen kokemuksen ja analysointi tapahtuu visuaalisesti.

### 4.4 Kinesteettisen opetuksen materiaaleista ja kokeiluista

Monissa opetus- ja oppimistilanteissa on hyödynnetty kinestiikkaan liittyviä harjoituksia, joista saatu kokemus jää lihasmuistiin. Pasco (Pfister 1995) on valmistanut mekaniikan opetusta varten ns. kinestiikkavaunuja sekä yksi- että kaksiulotteisia kokeita varten. Opiskelija istuu vaunussa ja pitää kiinni vaunun sivustan kahvoista. Kehon lihakset, jänteet ja nivelet kokevat liiketilan, kiihtyvyyden/tukivoiman muutokset, jotka jäävät lihasmuistiin. Kinesteettinen kokemus voi jäädä paremmin opiskelijan muistiin kuin joku muu opetustapahtuma.



Kypärän käyttö on useissa kokeissa aiheellista turvallisuussyistä. Ohjekirjoissa (Pfister 1995, 1996) on 15 yksiulotteisilla vaunulla tehtävää koetta, jotka liittyvät mm. Newtonin lakeihin, opiskelijoiden virhekäsityksiin Newtonin laeista, liikemäärän säilymiseen sekä yksinkertaiseen harmoniseen liikkeeseen. Kaksiulotteisia kokeita on 8 ja ne liittyvät mm. keskeisliikkeeseen, paraboliseen lentorataan ja Foucault'n heiluriin.

Pascon kinestiikkavaunuilla tehdyt kokeet ovat pääsääntöisesti luonteeltaan kvalitatiivisia kokeita. Näistä esimerkkinä voiman ja vastavoiman lakiin liittyvässä kokeessa opiskelijat istuvat jalat vastakkain vaunussa. Toinen opiskelija asettaa jalkansa kourussa naapurivaunun reunalle. Kun hän suoristaa jalkansa nopeasti, niin molemmat vaunut lähtevät liikkeelle vastakkaisiin suuntiin. Oppilaiden massoista riippuen vaunut päätyvät samoille tai erilaisille etäisyyksille lähtökohtaan nähden. Opiskelijoita ja ponnistustapoja varioimalla saadaan kuva massojen ja lähtönopeuksien välisestä suhteesta.

Kaksi koetta on luonteeltaan kvantitatiivisia, sillä niistä voidaan piirtää graafinen esitys. Toinen niistä liittyy keskeisvoiman  $F_c = mv^2/r$  todentamiseen. Toinen opiskelijoista istuu 2-ulotteisessa kinestiikkavaunussa ja toinen opiskelija pitää kiinni köydestä, joka on liitetty jousivaa'an välityksellä vaunuun. Keskeisliikkeen keskipisteessä seisova opiskelija saattaa vaunun keskeisliikkeeseen toisen opiskelijan kanssa, joka vetää vaunua radan tangentin suunnassa. Keskeisvoima  $F_c$  mitataan jousivaa'asta, kun vaunun liike on saatu mahdollisimman tasaiseksi. Pyörivän systeemin (vaunu ja opiskelija) massa mitataan henkilövaa'alla. Vaunun keskinopeus  $v = 2\pi r/T$  ympyräradalla määritetään mittaamalla radan säde ja liikkeen jaksonaika  $T$ . Varioimalla keskinopeutta saadaan mittaustuloksina nopeus-voima-koordinaatistoon pisteitä, joiden kautta sovitettu kuvaaja on muodoltaan paraabeli. Tässä työssä kinesteettinen osuus on ympyräliikkeen tuottaminen, jolloin liikettä tuottava opiskelija tuntee köyden vetävän ympyräliikkeen säteen suunnassa ulospäin. Vaunussa oleva opiskelija puolestaan joutuu pitämään kiinni vaunusta ja tuntee käsissään, että kiinni pitämättä luisuisi köyden suunnassa ulospäin radalta. Tulosten käsittely tapahtuu graafisesti.

Sokoloff, Thornton ja Laws (1999) ovat suunnitelleet reaaliaikaisiin fysiikan laboratoriotöihin sarjan oppaita (RealTime Physics), jotka on tarkoitettu käytettäväksi laboratoriossa tietokoneisiin liitettyjen mittaustulosten yhteydessä. Harjoituksissa opiskelijan rooli on aktiivisempi kuin normaaleissa harjoituksissa. Esimerkiksi kinematiikan kuvaajiin liittyvät harjoitukset tehdään ultraäänianturin avulla joko itse liikkuen tai kiskolla liikkuvan kitkattoman vaunun tai vaunujen avulla (korvaa ilmatyynyradan). Näissä harjoituksissa opiskelija seuraa liikettään / vaunun liikettä tietokoneen kuvaruudulta, jonne piirtyy liikkeen reaaliaikainen kuvaaja. Opiskelijalle annetaan liikkumisohjeita tai hänen tulee liikkua valmiin kuvaajan osoittamalla tavalla eri koordinaatistoissa. Opiskelijan ajattelua ja ymmärtämistä ohjataan kysymysten avulla. Esimerkiksi aika-matka-kuvaajissa on kysymyksiä:  
"Kumpi esineistä A ja B liikkuu nopeammin?" "Kumpi aloittaa edestä?"  
"Määrittele mitä tarkoitat sanalla "edestä"."  
"Mitä leikkauspiste tarkoittaa?"

Heuvelen (Heuvelen 1996) työkirja ActivPhysics sisältää mm. simulaatioita, animaatioita, Java työkaluja, videopätkiä ja ääniraitoja helpottamaan opiskelijoiden ymmärtämistä. Oheinen kirjan harjoitus liittyy kinematiikkaan:

*Kysymys 1 -  $x_0$ :n merkitys: Aseta alkunopeus ja kiihtyvyys nolaksi ja kokeile aloitushetken paikan asetuksia. Mikä on  $x_0$ :n merkitys?*

*Kysymys 5 - Negatiivisen  $a$ :n merkitys, jos  $v$  on negatiivinen: Aseta alkupaikaksi asema - 48 m ja alkunopeudeksi nolla. Kokeile useita negatiivisia kiihtyvyyksiä. Mitä negatiivinen kiihtyvyys kertoo liikkeestä, jos kappaleella on negatiivinen nopeus? Aloita kiihtyvyydestä  $a = 1,0 \text{ m/s}^2$ .*

Nämä harjoitukset eivät ole varsinaisia kinesteettisiä kokeita, mutta ne sopivat oppimateriaaliksi kinesteettisesti lahjakkaille opiskelijoille, sillä harjoituksiin sisältyy omaa tekemistä ja kuvaan liikettä.

Champagne, Klopfer ja Anderson (1980) ovat tutkineet tekijöitä, jotka vaikuttavat klassisen mekaniikan oppimiseen. Heidän mielestään klassisen mekaniikan oppimista voidaan parantaa sillä, että opetuksessa käydään läpi Aristoteleen malli, jota opiskelijat käyttävät intuitiivisesti. Aristoteleen näkemystä verrataan Newtonin malliin. Vertailu voidaan tehdä käsittelemällä Aristoteleen, Galilein ja Newtonin alkuperäisten kirjoitusten osia. Koska käsiteltävä abstrakti formaali systeemi ei ole helposti visualisoitavissa, tarvitaan joitakin kokeita liikkeestä. Jotta saadaan selville kvalitatiivinen ero kitkattoman ja kitkallisen systeemin välillä, on omakohtainen kokeiden tekeminen lähes kitkattomalla ilmatyynyradalla tai hiilihappojäällä hyvin oleellista.

Alkuperäinen malli korvautuu uudella mallilla hyvin hitaasti lukuisten yritysten ja erehdysten kautta. Tietokonesimulaatiot ja kokeet yhdessä ovat rohkaisseet opiskelijoita esittämään selvemmin käsityksiään Aristoteleen ja Newtonin malleista. Jotta opiskelijat alkaisivat tutkimaan eri mallien perusoletuksia, on opettajan saatava opiskelijat toistuvasti muotoilemaan kausaalisia malleja ja testaamaan niiden toimivuutta.

Goldberg ja Andersson (1989) ovat kiinnittäneet opetuskokeiluissaan erityistä huomiota nopeuden negatiivisiin arvoihin graafisissa esityksissä. Sen lisäksi, että opiskelijat piirsivät todellisesta liikkeestä havaintojensa pohjalta graafisia esityksiä, he teetättivät opiskelijoilla kappaleiden liikkeitä graafisten esitysten pohjalta. Saadakseen selville oppilaiden kyvyn tulkita  $v(t)$  käyriä, joissa nopeuden merkki vaihtui, opiskelijoita pyydettiin kuvaamaan kuvaajaa ja sitten tuottamaan vastaava liike mm. liikuttamalla sormea pöydän pintaa pitkin. Hyväksyttävää vastausta varten opiskelijoiden piti liikuttaa palloa tai sormea vakionopeudella yhteen suuntaan, hidastaa ja muuttaa suuntaa, kasvattaa nopeutta vastakkaiseen suuntaan ja sitten jatkaa vakionopeudella.

Samamuotoista kuvaajaa käytettiin voimaan liittyvissä opetuskokeiluissa. Opiskelijan piti momenttiavaimen avulla tuottaa voimia, jotka vaihtoivat merkkiä. Ongelmaksi osoittautui, että aika-akselin leikkaava voiman nousevan suoran kuvaaja tulkittiin kasvavaksi voimaksi, vaikka momenttiavaimesta käytettävää voimaa piti pienentää, kun lähestyttiin aika-akselia negatiiviselta puolelta ja kasvattaa voimaa, kun kuvaaja loittoni positiivisilla voiman arvoilla aika-akselista. Ongelmat olivat

samansuuntaisia voimakuvioiden ja nopeuskuvaajien tulkinnessa. Näissä opetuskokeiluissa oli etenkin voimaan liittyvä kinesteettinen kokemus yhdistetty hyvin konkreettisesti graafiseen esitykseen ja myös sen sanalliseen tulkintaan.

Kunnas ja Ahtee (1991) ovat toteuttaneet peruskoulun 9. luokalla kinematiikan peruskäsitteiden opetuksen yhteydessä projektin, jossa liikeilmiöitä käsitellään oppilaan oman liikesuorituksen näkökulmasta. Projekti jakaantui kolmeen osaan: 1) eri tyyppisiin liikkeisiin tutustuminen ja liikkeen luokittelu, 2) oppilaiden omien hiihtosuoritusten tutkiminen, 3) liikuntasuoritusten tutkiminen videokuvista. Tutkimuksessa käytetty hiihtolatu koostui pätkistä, joissa oli ylä- ja alamäkiä sekä tasaisia osuuksia. Työparista toinen hiihti ja toinen mittasi latuosuuden matkaan käytettyä aikaa. Mittaustekniikasta johtuen tulokseksi saatiin murtoviiva. Oppilaat muistelivat kuvaajaa tutkiessaan, missä oli ollut hitaasti hiihdetty ylämäki ja nopealaskuinen alamäki tai missä oli pysähtynyt hetkeksi. Tämän vertailun tuloksena oppilaat päätyivät esim. toteamukseen: "Alamäessä kuvaaja on jyrkempi kuin ylämäessä tai tasaisella." Tästä opiskelijat päättelivät, että mitä jyrkempi kuvaaja on, niin sitä suurempi nopeus on. Todettiin myös, että vaakasuora viiva kuvasi paikoillaan oloa. Nopeus yhdistettiin kulmakertoimeen opettajajohtoisesti. Oppilaat vertailivat kalvoille piirtämiään kuvaajia ja laskivat keskinopeutensa tietystä vaiheesta.

Voimistelusalissa oppilaiden suorittamia liikkeitä kuvattiin videolle. Liikkeet luokiteltiin etenemisliikkeeksi, heilahdus- ja värähdysliikkeeksi, pyörimisliikkeeksi ja yhdistetyksi liikkeeksi. Liikkeen analysoimista varten piirrettiin pysäytyskuvista television kuvaruutuun kiinnitetylle piirtoheitinkalvolle liikkeen rata. Kun kameran suljinnopeuden avulla saatiin pysäytyskuvien pisteiden aikaero, oli mahdollista piirtää taulukkolaskennan avulla (t,s)- ja (t,v)-kuvaajat. Kuvaajista todettiin mm. missä kohdassa liike oli ollut kiihtyvää tai hidastuvaa.

Projektista todettiin, että oppilaiden opiskelumotivaatio oli erittäin voimakas, kun tarkasteltiin heidän omia liikuntasuorituksiaan. Kuvaajien ja liikkeen yhdistäminen muistelemalla onnistui hyvin. Videokameran ja taulukkolaskennan käyttö mahdollisti graafisen esityksen tekemisen liikeilmiöistä helposti. Työskentelytapa korosti fyysikaalisen käsitteenmuodostuksen järjestystä eli havainnoista suureiden kautta kokeellisiin lakeihin. Projektiin käytettiin 15 % fysiikan kurssin aktiivitunneista. Projektin toteuttaminen vaati opettajalta paljon ylimääräistä työtä.

Thornton ja Sokoloff (1990) ovat tehneet opetuskokeilun, jossa liikeanturin avulla ensin mitattiin opiskelijan ja myöhemmin vaunun liikettä. Kinematiikan kuvaajia käsiteltiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tietokoneen näytölle saatiin opiskelijan liikkeestä reaaliaikaisesti paikan ja nopeuden kuvaajat. Toisessa vaiheessa kuvaajat olivat nopeudesta ja kiihtyvyydestä. Kuvaajia tuotettiin joko vapaasti liikkumalla tai mallikuvaajan mukaisesti. Opetukseen liittyi myös harjoituksia, joissa piti vastata mm. kysymyksiin nopea, hidas, poispäin, kohti graafisen esityksen perusteella tai piirtää esim. aika-paikka-kuvaajaa vastaava aika-nopeus-kuvaaja. Kuvaajien pohjalta piti tehdä myös kvantitatiivisia harjoituksia. Tietokonelaboroinnit olivat tavallisen luokkaopetuksen vastakohta. Opiskelijat olivat hyvin sitoutuneita opiskeluunsa. Yli 1500:n lukio- tai yliopisto-opiskelijan esi- ja jälkitestauksen perusteella on havaittu, että oppiminen ja opitun tiedon säilyminen on parantunut merkittävästi niillä opiskelijoilla, jotka käyttivät tietokonemateriaalia opiskelussa verrattuna niihin, joita opetettiin luennoilla. Esi- ja jälkitesteissä

kysymykset olivat monivalintakysymyksiä. Ne oli tehty aikaisempien avovastaus-testikysymysten pohjalta, ja ne antoivat selkeän käsityksen opiskelijan kinematiikan käsitteiden perustiedoista ja graafisesta esityksestä. Monissa monivalintakysymyksissä opiskelijoiden piti valita oikea kuvaaja kuvaajien joukosta. Esitesti tehtiin sen jälkeen kun kinematiikka oli opetettu tunneilla mutta ennen tietokoneharjoituksia laboratoriossa. Hyvin yksinkertaisiin kvalitatiivisiin kuvaajiin liittyvien vastausten virheprosentti oli 40 - 60 %. Yli 90 % pystyi vastaamaan matkaan liittyviin kuvaajiin oikein. Opiskelijoilla oli vaikeuksia tulkita negatiivisia nopeuksia. Esitestissä kiihtyvyyksikysymysten virheprosentti oli paljon suurempi kuin nopeuskysymyksillä. Suurin 93 % virheprosentti oli kysymyksessä, joka liittyi origoon suuntautuvaan kiihtyvyyteen. Tietokoneharjoitusten jälkeen opiskelijat eivät ymmärtäneet kiihtyvyyden kuvaajia yhtä hyvin kuin nopeuden kuvaajia, mutta osaaminen parantui kuitenkin oleellisesti.

On havaittu, että tietokoneella tehtävät laboratoriotyöt lisäävät opiskelijoiden mielenkiintoa, mutta että ne eivät välttämättä paranna opiskelijoiden fysiikan peruskäsitteiden ymmärtämistä kinematiikan osalta. Parannusta oppimistuloksiin saadaan, kun yhdistetään tietokoneella tehtävät laboratoriotyöt sopivaan opetussuunnitelmamateriaaliin. Yleisesti sanottuna opiskelijoiden ymmärrys fysikaalisista käsitteistä lisääntyy, kun heitä ohjataan opetussuunnitelman avulla tutkimaan sopivia ilmiöitä.

Susan Griss (1994), koreografi, tanssija ja alaluokkien opettaja, kirjoittaa, että liikkeen improvisointi tarjoaa vaihtoehdoisen tien ymmärrykseen etenkin niille oppilaille, jotka oppivat hyvin kehollis-kinesteettisellä tavalla. Lapset opiskelevat ääniaaltoja. He pohtivat kulkeeko ääni nopeimmin ilmassa, vedessä vai kiinteässä aineessa? Intuition perusteella oppilaiden vastaus on ilma. Lapsille kerrotaan kolmesta ”molekyylimallista”: Kiinteässä aineessa ”Molekyylit” ovat lähinnä toisiaan ja ilmassa kaukana toisistaan. Eri olomuotoja edustavissa riveissä olevat oppilaat lähettävät liikkeelle ”ääniaallon” taputtamalla toisiaan olkapäihin. Kiinteän aineen ryhmä lopettaa ensin ja ilmaryhmä viimeisenä. Grissin mukaan oppilaat ymmärtävät aallon etenemisnopeuden eri aineissa harjoituksen perusteella.

Grissin mukaan lapselle, joka ei pysy paikallaan, kinesteettinen opetus tarjoaa usein valtavan hyvän keinon oppimiseen. Toisen opettajan ongelmaoppilas on kinesteettisen opettajan arvossa pitämä oppilas. Tukahdutetun fyysisen energian purkaminen parantaa usein hämmästyttävästi keskittymiskykyä ja asiaan paneutumista.

Beichner (1996) on yhdistänyt opiskelijan oman liikkeen videoinnin ja siihen liittyvän analyysin oppimisen kannalta toimivaksi kokonaisuudeksi. Kinesteettinen kokemus saatiin omasta liikkeestä tai vaunun liikkumisesta. Opiskelijaan merkityn painopisteen liikkeestä piirrettiin graafinen esitys. Video ja graafinen esitys synkronoitiin samalle näytölle siten, että liikkeen senhetkinen asema graafisessa esityksessä näkyi korostettuna. Samalla syntyi opiskelijalla kognitiivinen linkki liikkeen ja kuvaajan välille. Tässä kohdassa visuaalinen oppiminen korostuu. Opiskelija saattoi käydä videon useita kertoja läpi sekä ryhmässä että opettajan johdolla. Opetuksen analyysi osoittaa, että mitä monipuolisempi opetussuunnitelma on, sitä enemmän opiskelijat oppivat. Yksittäisen tapahtuman analysoiminen ei anna riittävää kokemusta, jotta sillä olisi vaikutusta oppimiseen. Kun videoanalyysi yhdistetään muihin tietokonepohjasiin laboratoriotöihin ja simulaatiokokemuksiin, se ilman muuta auttaa opiskelijoita

kinematiikan graafisten esitysten tulkinnessa. Sama tulos voidaan saada, jos kaikki muut laboratoriotyöt korvataan videopohjaisilla laboratoriotöillä. Tosin haluttua vaikutusta ei saada, jos niitä käytetään yksinomaan lyhyinä demonstraatioina luennoilla.

Bernhard K. ja Bernhard J. (2000) ovat tutkineet pyörätuolin käyttöä kinematiikan graafisen esityksen opetuksessa. Opiskelija yrittää liikeanturin edessä pyörätuolia liikuttamalla tuottaa reaaliaikaisesti tietokoneen kuvaruudulla olevan mallikuvaajan mukaisen kuvaajan. Harjoitukset liittyvät aika-matka-kuvaajiin, joista myös on mahdollista saada esille aika-nopeus-kuvaaja. Pyörätuolilla tehtiin myös harjoitus liikkua ramppia ylöspäin, jolloin saatiin kinesteettinen kokemus tehdystä työstä. Tutkijoiden 7-vuotias tytär oli havainnut pyörätuolin liikkeestä Newtonin I lain todetessaan: "Sehän liikkuu itsestään." Julkaisussa myös todetaan, että liittämällä erilaiset graafiset esitykset välittömään kokemukseen saadaan suuri hyöty oppimisen kannalta. Harjoituksen erityismerkitys on siinä, kun omin käsin voidaan tuntea, että nopeuden muutos vaatii voimaa. Cooper ja Robertson (2002) kirjoittavat pyörätuolin käyttötekniikasta, että aiheuttamalla impulssi pyörän vanteeseen saadaan aikaan liikemäärän muutos pyörälle matkustajineen. Mitä suurempi impulssi on sitä suurempi on nopeuden muutos.

Euler, Braune, Schaal ja Zollman (2000) ovat järjestäneet sarjan kokeita, joissa opiskelijat opiskelevat liikkuvan polkupyörän kinematiikkaa. He halusivat erityisesti kiinnittää huomiota tavallisen opiskelijan ongelmiin erottaa nopeus ja kiihtyvyys toisistaan. Jotta tämä onnistuisi, he halusivat yhdistää polkupyörän kiihtyvyyden kinesteettisen kokemuksen ja tulosten analysoinnin toisiinsa. Opiskelijoiden täytyi kerätä mittaustietoa pitkän ajan kuluessa laboratorion ulkopuolella. Heidän rakentamansa uusi mittaus-analysointi-systeemi koostui seuraavista osista: elektroninen polkupyörän nopeusmittari mittaustiedon keruuta varten, ääninauha tiedon tallennukseen ja tietokone tiedon analysointia varten. Opiskelijat saattoivat nauhoittaa kaksikin tuntia tietoa tavalliselle äänikasetille. Tietokoneen avulla ääni saatettiin digitaaliseen pulssin muotoon. Opiskelijat saattoivat katsoa kuvaruudulta äänen intensiteetin riippuvuutta ajasta ja samalla kuunnella kovaäänisistä ääntä. Tämä metodi, jossa "soitettiin" liikkeeseen liittyvää mittaustietoa tarjosi erityisen näkemyksen nopeuteen ja kiihtyvyyteen. Yhtä pitkien matkojen päässä sijaitsevat pulssit edustivat vakionopeutta, kun taas pulssien välillä olevat muutokset liittyivät kiihtyvään liikkeeseen. Mittaustietojen perusteella oli myös mahdollista määrittää kvantitatiivisia arvoja nopeuksille ja kiihtyvyyksille. Tässä työtavassa kinesteettinen kokemus liittyi mittaustulosten hankkimiseen, kun taas tulosten tarkastelu tapahtui auditiivisesti ja graafisesti.

## 5 Tutkimusongelmat, niiden rajaaminen ja mittarit

Ylioppilaskirjoitusten tulosten perusteella ja jatko-opintojen kannalta opiskelijat osaavat liian heikosti tulkita graafisia esityksiä. Opetuksessa graafiseen esitykseen ei voida kuitenkaan käyttää aikaa oleellisesti enemmän kuin nykyään. Ainoaksi keinoksi jää graafisen esityksen opetuksen tehostaminen opetusta monipuolistamalla. Tutkimuksen työhypoteesina on, että oppilas voi oppia graafisen esityksen suoran tulkitsemisen omakohtaisen kokemisen kautta. Työhypoteesi jaetaan kolmeen tutkimusongelmaan, joihin etsitään vastauksia opetuskokeilujen avulla.

1. **Miten omakohtainen kokemus vaikuttaa graafisen esityksen tulkintaprosessiin?**
2. **Mikä on fyysikaalisen ajattelumallin osuus graafisen esityksen tulkinnasta?**
  - 2.1 Millaisen prosessin kautta oppilaat hahmottavat graafisen esityksen?
  - 2.2 Kuinka hyvin opiskelijat hallitsevat periaatetasolla fysiikan opetuksen tavoitteet graafisen esityksen osalta?
3. **Kuinka kinesteettiset kokeet soveltuvat kouluun?**
  - 3.1 Kuinka olemassa olevat laitteet ja ohjelmat soveltuvat kinesteettisiin kokeisiin?
  - 3.2 Mitkä ovat saavutetut hyödyt?

Tutkiminen rajataan graafisen esityksen osalta koskemaan vain niitä aika-matka-, aika-nopeus- ja aika-kiihtyvyys-kuvaajia, joissa akselistolla on jaotus merkittynä, jolloin kuvaajia on mahdollista selittää kvantitatiivisesti. Jokaista tutkimuslomakkeessa käytettyä kinematiikan kuvaajaa havainnollistetaan opetuksessa tietokoneen avulla toteutetuilla omakohtaisilla kinesteettisillä kokeilla. Kurssikokeen monivalintatehtävät liittyvät joko graafiseen derivointiin tai integrointiin.

Testimateriaalin ja opiskelijoiden tulostamien kuvaajien sekä kinesteettisistä kokeista saadun käytännön kokemuksen avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Apuna käytetään seuraavia mittareita:

### **Mittari 1: Annetun kuvaajan kaltaisen liikkeen tuottaminen**

Mittarin 1 avulla selvitetään miten hyvin opiskelijat pystyvät omalla liikkeellään tuottamaan annetun kuvaajan kaltaisen liikkeen? Mittarin 1 avulla vastataan tutkimusongelmiin 1 ja 3.

### **Mittari 2: Monivalintatehtävien vastaukset**

Mittarin 2 avulla selvitetään miten hyvin opiskelijat pystyvät tunnistamaan /päättämään / laskemaan oikean vastauksen sekä perustelemaan vastauksensa. Mittarin 2 avulla vastataan tutkimusongelmiin 1 ja 2.

### **Mittari 3: Monivalintatehtävien vastausten perustelevminen**

Mittarin 3 avulla selvitetään minkälaisen selityksen opiskelijat antavat kuvaajan mukaiselle liikkumiselle. Mittarin 3 avulla vastataan tutkimusongelmaan 2.

### **Mittari 4: Kurssikokeen tulokset ja tehtäväänalyysi**

Mittarin 4 avulla selvitetään opiskelijoiden kurssitavoitteiden toteutumista kurssin loputtua. Mittarin 4 avulla vastataan tutkimusongelmaan 2.

## 6 Opetuskokeilujen tutkiminen

### Materiaali ja menetelmä

Opetuskokeilujen yhteydessä tehdään kinesteettiset kokeet ja täytetään kinesteettisiin kokeisiin liittyvät testilomakkeet 1 – 3 (Liitteet 1 - 3), joiden avulla voidaan mitata kinesteettisten kokeiden välitöntä vaikutusta pre-post-analyysimenetelmän avulla. Testien avovastauksista saadaan tietoa opiskelijan kyvystä ja tavasta perustella vastaustaan.

Lisäksi Beichnerin testin pohjalta kehitetään testilomake 4 (Liite 4), joka täytetään kurssikokeen yhteydessä. Tämän loppukokeen monivalintatehtävän avulla saadaan tietoa opiskelijoiden osaamisen tasosta tulkita vaativia kinematiikan kuvaajia kurssin loputtua ja opiskelijoiden osaamista voidaan verrata kansainväliseen tasoon. Kolmannessa opetuskokeilussa tehdään ensimmäisen testin yhteydessä lisäksi kinesteettinen harjoitus ilman tietokoneita.

Kaikkien kolmen opetuskokeilun tutkimusasetelma (Cohen & Manion 1994) on oheisen kaavion mukainen:

		O <sub>1</sub>		O <sub>3</sub>		O <sub>5</sub>		
N	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	O <sub>7</sub>
		O <sub>2</sub>		O <sub>4</sub>		O <sub>6</sub>		

N = lukion mekaniikka I:n kurssin opiskelijat

X<sub>0</sub> = kurssin alun opetusta

O<sub>1</sub> = opiskelijoiden täyttämä testilomake 1 aika-matka-kuvaajaan liittyen

X<sub>1</sub> = opiskelijoiden suorittamat kinesteettiset kokeet aika-matka-kuvaajaan liittyen

O<sub>2</sub> = opiskelijoiden perustelut ja mahdolliset muutokset O<sub>1</sub>:ssä täytettyyn lomakkeeseen

X<sub>2</sub> = opettajajohtoista opetusta

O<sub>3</sub> = opiskelijoiden täyttämä testilomake 2 aika-matka- ja aika-nopeus-kuvaajaan liittyen

X<sub>3</sub> = opiskelijoiden suorittamat kinesteettiset kokeet aika-nopeus-kuvaajaan liittyen

O<sub>4</sub> = opiskelijoiden perustelut ja mahdolliset muutokset O<sub>3</sub>:ssä täytettyyn lomakkeeseen

X<sub>4</sub> = opettajajohtoista opetusta

O<sub>5</sub> = opiskelijoiden täyttämä testilomake 3 aika-kiihtyvyys-kuvaajaan liittyen

X<sub>5</sub> = opiskelijoiden suorittamat kinesteettiset kokeet sekä aika-kiihtyvyys- että aika-nopeus-kuvaajiin liittyen

O<sub>6</sub> = opiskelijoiden perustelut ja mahdolliset muutokset O<sub>5</sub>:ssä täytettyyn lomakkeeseen

X<sub>6</sub> = kurssin muiden aiheiden opetusta

O<sub>7</sub> = kurssikokeen yhteydessä täytetään testilomake 4 graafiseen esitykseen liittyvä monivalintatehtävä

### Opetuskokeilun testeihin osallistujat

Ensimmäisen opetuskokeilun Testeihin 1, 2 ja 3 osallistui kullakin kerralla 8 opiskelijan ryhmästä 7 opiskelijaa. Yksi opiskelija oli poissa 2 kertaa ja toinen yhden kerran. Vastauksia saatiin yhteensä 84 kappaletta. Testiin 4 osallistuivat kaikki kurssin kahdeksan opiskelijaa ja he vastasivat kaikkiin kahdeksaan monivalintatehtävään.

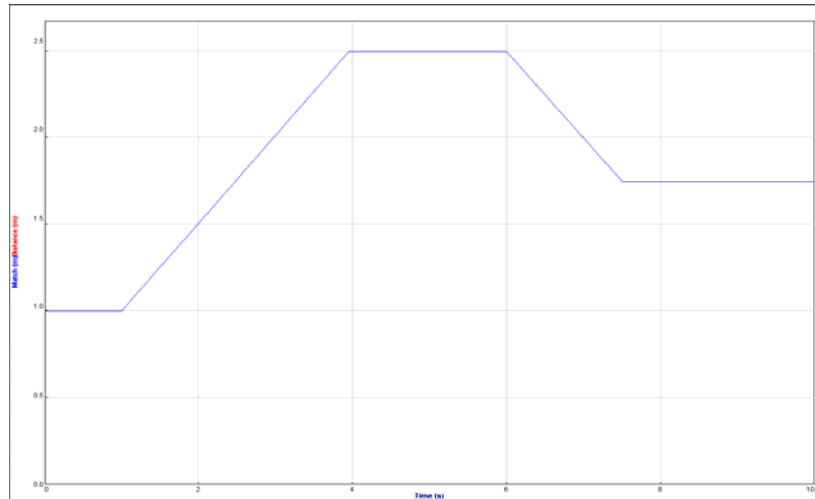


Toisen opetuskokeilun Testeihin 1, 2 ja 3 osallistui opiskelijoita seuraavasti: Testiin 1 osallistui 18 opiskelijaa, Testiin 2 osallistui 13 opiskelijaa ja Testiin 3 osallistui 20 opiskelijaa. Yhteensä ryhmässä oli 26 opiskelijaa ja vastauksia saatiin yhteensä 192 kappaletta. Testiin 4 osallistui kaksikymmentä kurssin opiskelijaa ja he vastasivat kaikkiin kahdeksaan monivalintatehtävään.

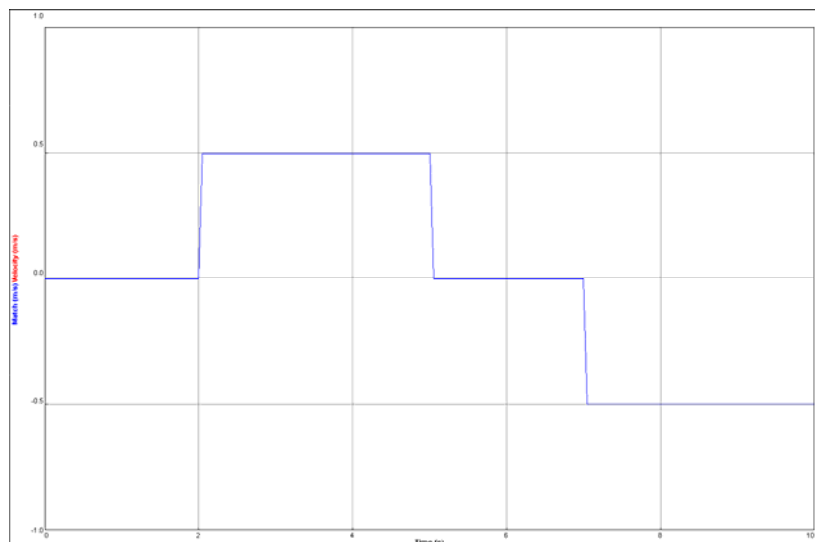
Kolmannen opetuskokeilun testeihin osallistui opiskelijoita seuraavasti: Testiin 1 ja 2 osallistui 17 opiskelijaa ja testiin 3 osallistui 15 opiskelijaa. Kurssilla oli 18 opiskelijaa. Yksi opiskelija oli poissa testistä 1 ja toinen opiskelija oli poissa testistä 2. Testistä 3 oli poissa kolme opiskelijaa. Testiin 4 osallistui 16 opiskelijaa ja he vastasivat kaikkiin kahdeksaan monivalintatehtävään.

## 7 Opetuskokeilut

Tutkimusta varten kerättiin materiaalia kolmen opetuskokeilun aikana, jolloin opiskelijat tekivät aika-matka-, aika-nopeus- ja aika-kiihtyvyys-kuvaajiin liittyviä kinesteettisiä kokeita. Jokaiseen opetuskokeiluun liittyi neljä testiä. Kaksi ensimmäistä testiä kohdistui kinesteettisiin kokeisiin, joissa opiskelijat yrittivät tietokoneita hyväksi käyttäen ultraäänianturin edessä kävelemällä tuottaa annettujen kuvaajien (Kuvat 7-1 ja 7-2) kaltaiset kuvaajat.

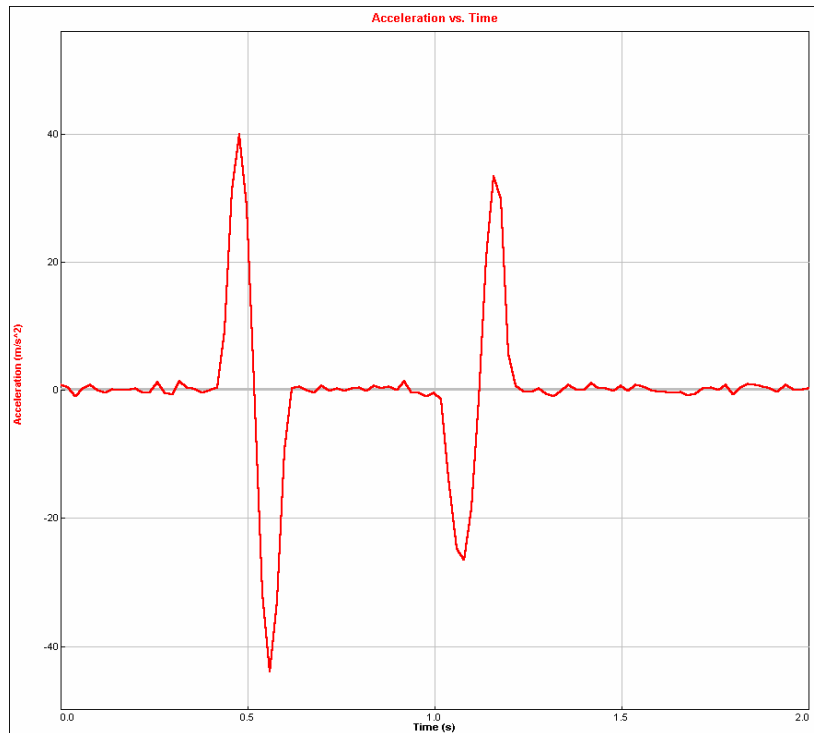


**Kuva 7-1.** Testin 1 kinesteettisessä kokeessa yritetään tuottaa ultraäänianturin edessä kävelemällä oikeisen aika-matka-kuvaajan kaltainen kuvaaja. Kuvassa on kaappauskuva opiskelijan näkymästä. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja matka-akselin 0 m - 2,5 m.



**Kuva 7-2.** Testin 2 kinesteettisessä kokeessa yritetään tuottaa ultraäänianturin edessä kävelemällä oikeisen aika-nopeus-kuvaajan kaltainen kuvaaja. Kuvassa on kaappauskuva opiskelijan näkymästä. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja nopeus-akselin  $\pm 1,0$  m/s.

Kolmannessa testissä liikutettiin kädellä kiihtyvyyssanturia ja tarkoituksena oli tuottaa paperilla annetun Testi 3 kuvaajan (Kuva 7-3) muotoinen kuvaaja. Kuvaajaan tuotettiin mittausohjelman työkaluilla nopeuskuvaaja. Kunkin kinesteettisen kokeen testikuvaajaan liittyy monivalintatehtäviä, joihin rengastetaan vastaus ennen kinesteettisiä kokeita. Kinesteettisten kokeiden jälkeen opiskelijat rengastivat uudelleen vastausvaihtoehdonsa ja perustelivat avovastausperiaatteella viimeisen vastausvaihtoehdonsa, miksi haluavat säilyttää ensimmäisen valintansa tai, miksi haluavat muuttaa valintaa.



**Kuva 7-3.** Testin 3 kinesteettisessä kokeessa yritetään tuottaa kiihtyvyyssanturia kädellä liikuttamalla oheisen aika-kiihtyvyyss-kuvaajan kaltainen kuvaaja. Aika-akselin skaala on 0 s - 2,0 s ja kiihtyvyyss-akselilla  $\pm 40 \text{ m/s}^2$ .

Neljäs testi on kahdeksaan kuvaajaan liittyvä monivalintatehtävä (Liite 4), joka on kurssikokeen pakollisena ensimmäisenä tehtävänä. Monivalintatehtävät ovat peräisin Robert J. Beichnerin julkaisusta *Testing student interpretation of kinematics graph* (Beichner 1994). Beichnerin testistä valituissa tehtävissä on akseleilla numerojaotus, jotta kuvaajan esitystapa olisi samanlainen kuin kinesteettisissäkin testeissä käytetty. Kuvat on kopioitu suoraan testistä. Graafisten esitysten akselit ja testin kysymykset ovat ensimmäisessä opetuskokeilussa tutkijan omia käännöksiä. Toiseen ja kolmanteen opetuskokeiluun opiskelijat saivat kielellisesti paremmat käännökset. Testin 4 ja Beichnerin testin tehtävänumeroiden välinen yhteys on esitetty taulukossa 7-1.

**Taulukko 7-1.** Testin 4 ja Beichnerin testin tehtävänumeroiden välinen yhteys.

Testi 4	1	2	3	4	5	6	7	8
Beichner	4	5	6	7	16	17	18	20

## **Kinesteettisten kokeiden toteutus**

Testit 1 - 3 kestivät 45 minuuttia, joista varsinaisten kinesteettisten kokeiden suorittamiseen varattiin opiskelijoille aikaa 20 minuuttia. Aika-matka-, aika-nopeus-kuvaajia tutkittaessa käytetään tietokoneeseen liitettyä Vernier-mittauslaitteistoa ultraääniantureineen. Aika-kiihtyvyys-kuvaajia tutkitaan kiihtyvyysanturin avulla. Kuvaajat kopioidaan Word-ohjelmaan, josta ne sitten tulostetaan verkkoprintterillä. Opetuskokeilujen aikana tapahtunut opetus on tarkemmin kirjoitettu liitteeseen 5.

Ultraäänianturi on useimmille opiskelijoille uusi mittalaite, joten sen toimintaperiaate käydään läpi ennen kinesteettisten kokeiden alkua. Testien 1 ja 2 kinesteettiset kokeet suoritettiin koulun ala-aulassa ensimmäisessä opetuskokeilussa kolmella laitteistolla ja jälkimmäisissä opetuskokeiluissa kuudella laitteistolla, jotka sijoitettiin kolmelle pituussuunnassa rinnakkain asetetulle pyörin varustetulle pöydälle, yksi laitteisto pöydän molempiin päihin. Laitteistot olivat valmiiksi koottuina pöydillä. Tietokoneisiin otettiin sähköt jatkojohtojen avulla käytävän eri puolilla olevista sähköpistokkeista. Jokainen mittauslaitteisto vaati kaksi pistoketta. Pöytien välimatka oli reilu metri. Opiskelijaryhmät mahtuivat toimimaan rinnakkain, eivätkä eri ryhmien opiskelijoiden harjoitukset haitanneet toisiansa. Opiskelijoiden täytyi varoa pöytien välissä lattialla olevia sähköjohtoja. Jatkojohdot oli teipattu pöytiin kiinni tietokoneen pistokkeiden päästä.

Kiihtyvyyteen liittyvät kinesteettiset kokeet tehtiin laboratorioluokassa tai auditoriossa. Auditoriossa tietokone oli edessä olevalla pöydällä ja kiihtyvyysanturi heti ylemmän penkkirivin pöydällä. Tällä asetelmalla jokainen ryhmän opiskelija näki kuvaruudun. Etummainen työpari käynnisti mittauksen ja takimmainen työpari suoritti kinesteettiset kokeet. Välillä opiskelijat vaihtoivat paikkoja. Opiskelijat lisäsivät kiihtyvyytkuvaajiin nopeuskuvaajan mittausohjelman työkaluilla.

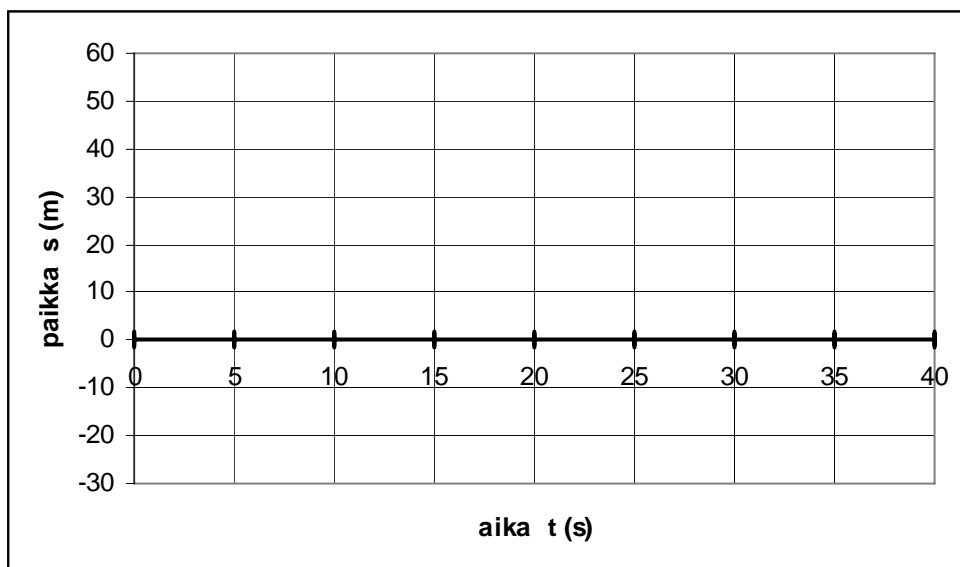
Kurssien aikana pyrittiin käsittelemään graafisen esityksen yhteyttä liikkeeseen mahdollisimman monipuolisesti. Jokaista kinesteettisesti havainnollistettua kuvaajatyyppiä käsiteltiin kokeellisuuden lisäksi myös teoreettisesti.

Toisen opetuskokeilun opetusta oli painotettu niin, että se tukisi kinematiikan graafisiin esityksiin liittyvää opiskelijoiden kielellistä ja käsitteellistä ymmärtämistä. Matkan ja paikan eroa pyrittiin erityisesti korostamaan. Matkan ja nopeuden vektoriesitys opetettiin ennen kuin opiskelijat siirtyivät tekemään kinesteettisiä kokeita. Opetuskokeilun aikana pyrittiin myös kiinnittämään opiskelijoiden huomiota liikkeen ja kuvaajan väliseen yhteyteen. Kinesteettisiä kokeita varten laadittiin työohjeet (Liitteet 1- 3). Opetuksessa otettiin myös korostetusti esille sekä graafinen derivointi että integrointi. Kurssilla opiskeltavien aiheiden käsittelyjärjestys oli poikkeuksellinen, sillä tutkijan pääsi ohjaamaan kinesteettisiä kokeita vasta 15.4.03.

Kolmannessa opetuskokeilussa kinesteettiset kokeet aloitettiin koulun pihamaalle piirretyn lukusuoran avulla. Opiskelijat liikkuivat opettajan ohjeen mukaisesti (Kuva 7-4) ryhmissä lukusuoralla tietyt ajanjaksot ja kirjasivat taulukkoon tietoja liikkeestään. Liikkeestä piirrettiin käsin kuvaaja koordinaatistoon. Testin 1 lomakkeen alkuosa täytettiin ennen pihamaalla tapahtuvaa liikkumisharjoitusta. Oppilaiden piirtämään kuvaajaan liittyvät kysymykset käsiteltiin luokassa piirtoheittimen avulla opettajajohtoisesti ennen Testiin 1 liittyviä kinesteettisiä tietokonekokeita. Muuten

kinesteettiset kokeet ja lopputesti olivat samat kuin aikaisemmissakin opetuskokeiluissa.

Aikaväli $\Delta t$ (s)	Paikka s (m)	Suunta (+ / -)	Suunnan kuvaus	Liikkumistapa
0 – 10				hidas kävely
10– 20				nopea kävely
20– 25				paikallaan
25 – 30				hölkkää
30 -40				kovaa juoksua



Kuva 7-4. Liikkumisharjoituksen taulukko ja kuvaajan akselisto.

Opiskelijoiden liikkumisharjoituksen kuvaajaan liittyvät seuraavat kysymykset:

1. Kuinka pitkän matkan etenit aikavälillä 5s – 15s ?
2. Mitä tarkoittaa liikkeen etenemisen kannalta jyrkästi ja loivasti nouseva suora?
3. Mitä tarkoittaa liikkeen etenemisen kannalta nouseva ja laskeva suora?
4. Mitä tarkoittaa, kun kuvaaja on vaakasuora?
5. Ilmoita laskulausekkeen avulla kuinka pitkän matkan liikut kaikkiaan testin aikana?

## 8 Tutkimuksen tulokset

Tässä luvussa käsitellään tulosten analysointimenetelmiä ja mittareiden avulla saatuja tuloksia.

### 8.1 Analysointimenetelmät

Tulosten analysointia varten kinesteettisten kokeiden monivalintatehtävien perustelut jaetaan vastaustyyppeihin: perustelu laskulla, perustelu sanallisella matematiikalla, perustelu muuten sanallisesti, perustelu kinestiikalla ja ei varsinainen perustelu. Oikeat ja väärät vastaukset jaetaan vielä oikeellisuusluokkiin: 1) perustelu oikein; 2) perustelu oikein, mutta fysikaalisesti tai kielellisesti puutteellinen; 3) perustelu väärin; 4) perustelu väärin ja fysikaalisesti tai kielellisesti puutteellinen.

Luokkaan ”perustelu laskulla” on otettu ne vastaukset, joissa esiintyy laskulauseke.

Luokkaan ”perustelu sanallisella matematiikalla” on otettu vastaukset, joissa on sanallisesti kuvattu vastauksen saamiseksi tarvittava laskutapa kuten opiskelijan A vastaus ”*1 – 2 s:n matkalla aikaa kuluu 1 s. Matka kasvaa 0,5 m, joten tulokseksi saamme helposti 0,5 m/s*”. Tähän luokkaan on otettu myös vastaukset, joissa vastausta perustellaan kuvaajaan liittyvillä ominaisuuksilla kuten opiskelija R: ”*Nopeus on nolla, koska siirtymä paikka-akselilla on nolla kyseisellä hetkellä*” tai opiskelija E: ”*Nopeus on negatiivinen 9 s:n kohdalla.*”

Luokkaan ”perustelu muuten sanallisesti” on otettu vastaukset, jotka pyrkivät kuvaamaan liikkeen etenemistä sanallisesti kuten opiskelija A: ”*En vaihda, koska matka ja aika molemmat kasvavat sinä aikana*”.

”Kinesteettiseksi perusteluksi” luokiteltiin ne vastaukset, joissa jollain tavalla viitataan kinesteettisestä kokeesta saatuun kokemukseen tai joissa vastauksen voi tulkita liittyvän henkilön liikkeeseen. Näistä vastauksista esimerkkinä on opiskelijoiden D perustelu ”*Testissä minä ainakin liikuin. Ja näkeehän sen kuvaajasta*” ja G perustelu ”*koska matka suurenee, jolloin liikutaan pois anturista*”.

Luokkaan ”ei varsinainen perustelu” valittiin vastaukset, joissa vastauksesta ei löydy kysymykseen liittyvää perustelua, kuten opiskelijan B perustelu ”*Aika-matka-kuvaajia on tullut katsottua aikojen saatossa, aika nopeus-kuvaajat ovat asia erikseen*” sekä opiskelijan F perustelu ”*Kokeissa ei ilmennyt mitään, mikä kumoaisi edelliset päättelyt. Lisäksi kokeet olivat niin sekavia, että järkipäättely tuntui varmimmalta tavalta saada oikeavastaus.*” että opiskelijan S perustelu: ”*En halua muuttaa oikeaa vastausta vääräksi. Siksi en muuttanut vastausta. Det är så lätt!*”

Opetuskokeilujen osalta selvitetään tilastollisen vertailun avulla (Liite 24) poikkeavatko opetuskokeilut toisistaan. Opiskelijoiden antamia vastauksia verrataan opetuskokeiluittain vastausten tyyppitysten ja luokitusten perusteella k-riippumattoman muuttujan Kruskallin ja Wallisin testillä sekä ei-parametrisellä Mannin ja Whitneyin testillä. Ei-parametrisellä Kolmogorovin ja Smirnovin testillä tutkitaan kinesteettisten perustelujen tilastollista riippuvuutta. Tilastolliset vertailut suoritetaan käyttäen SPSS

11.5 tilasto-ohjelmaa. Mikäli merkitsevyys on alle 0.1 tulos katsotaan trendiksi, jos se on alle 0.05 tulos on merkitsevä ja alle 0.01 se on erittäin merkitsevä.

### **Tilastolliset vertailut**

#### Testit 1 - 3:

Kruskallin ja Wallisin testin perusteella kolmen opetuskokeilun tulokset eroavat Testien 1 - 3 osalta toisistaan merkittävästi (Chi-Square 28.1 ja sig. 0.00). Mannin ja Whitneyyn testin avulla saatiin selville, että kolmas opetuskokeilu poikkeaa kahdesta ensimmäisestä opetuskokeilusta merkittävästi. Eroa on vastauksen perustelutyypin (Sig. 0.000) ja oikeellisuusluokituksen (Sig. 0.046) perusteella.

#### Testi 1:

Kolmannessa opetuskokeilussa tehtiin Testiin 1 liittyen 2 kinesteettistä koetta, toinen ilman tietokonetta ja toinen tietokoneen kanssa. Kruskallin ja Wallisin testin perusteella opetuskokeiluilla 1 - 3 ei ole eroa Testin 1 suhteen (Chi-Square 1.491 ja Sig. 0.475).

#### Kinesteettiset perustelut:

Kinesteettisten vastausten osuutta verrataan opetuskokeilut 1 - 2 yhdessä opetuskokeilun 3 suhteen. Kolmogorovin ja Smirnovin testin perusteella ne eivät eroa merkittävästi (Sig. 0.644) kinesteettisten perustelujen suhteen.

#### Testi 4:

Kruskallin ja Wallisin testin mukaan opetuskokeilujen välillä ei ollut Testin 4 osattujen tehtävien suhteen tilastollisesti merkittäviä eroja (Chi-Square 1.418 ja sig. 0.492).

Opetuskokeiluista saatua aineistoa käsitellään yhdistettynä, vaikka kolmannen opetuskokeilun vastaukset poikkeavat osittain merkittävästi muiden kahden opetuskokeilun vastauksista.

## **8.2 Mittari 1: Annetun kuvaajan kaltaisen liikkeen tuottaminen**

Kinesteettisten kokeiden avulla oli tarkoitus saada koko kehoa tai pelkästään kättä liikuttamalla aikaiseksi tietokoneen kuvaruudulle asennetun kuvaajan muotoinen kuvaaja. Tässä kappaleessa käsitellään kinesteettisiä kokeita; niiden toteutusta, suorittamista, niiden aikana tuotettuja kuvaajia ja saatuja käytännön kokemuksia. Tarkoituksena on selvittää miten hyvin opiskelijat pystyivät omalla liikkeellään tuottamaan annetun kuvaajan kaltaisen liikkeen?

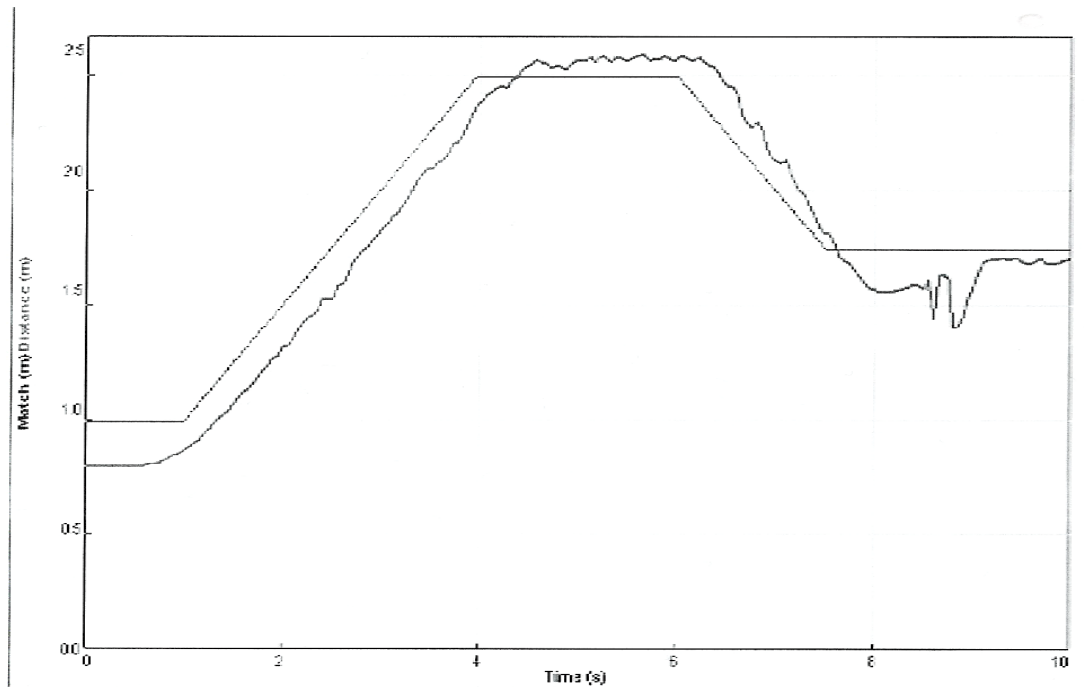
### **Aika-matka-kuvaajien tuottaminen**

Opiskelijat oppivat nopeasti pienen opastuksen jälkeen käyttämään annettuja laitteita ja työhön laadittuja ohjeita. Opiskelijat tekivät mielellään kinesteettisiä kokeita ja he pystyivät tuottamaan suhteellisen hyvin Testin 1 kuvaajan ja muita aika-matka-koordinaatistossa esitettyjä kuvaajia (Kuva 8-1 ja 8-2). Opiskelijoiden oli helppoa seurata mallikuvaajaa ja samalla tietokoneen piirtämää kuvaajaa kuvaruudulta ja reagoida näkemäänsä kuvaajaan oikeansuuntaisella liikkeellä. He oppivat nopeasti, miten eteenpäin ja taaksepäin meno sekä paikallaan olo näkyi kuvaajassa.

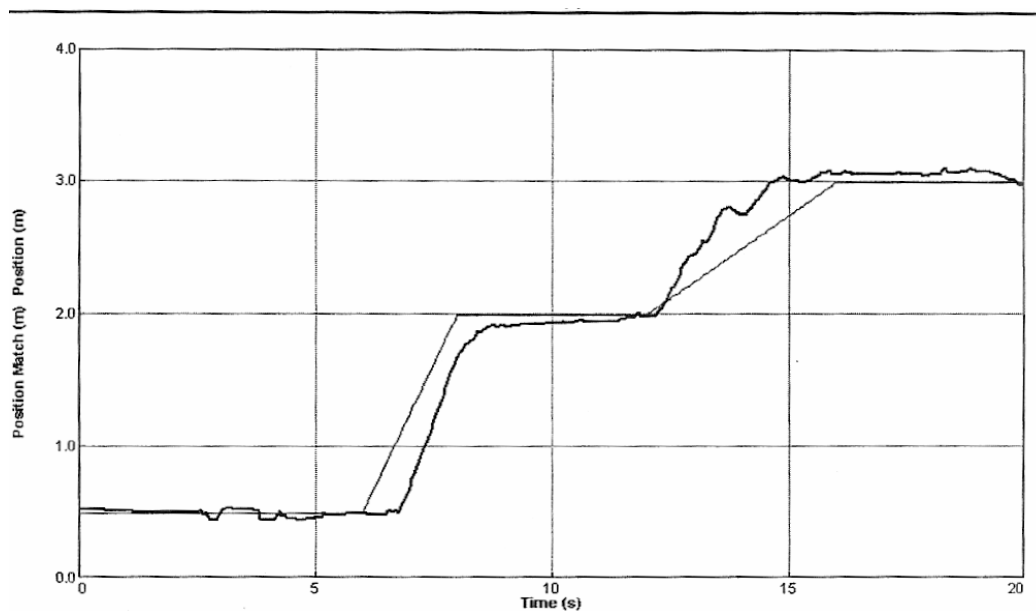
Opiskelijoiden yhteistyö ryhmissä toimi hyvin. Yksi opiskelija käynnisti mittauksen ja muut antoivat ohjeita liikkujalle. Sama opiskelija toisti useita kertoja saman kinesteettisen kokeen, sillä opiskelijat halusivat saada mahdollisimman tarkasti annetun kuvaajan mukaisia kuvaajia. Kinesteettisesti tuotetut paikkakuvaajat olivat hyvin mallikuvion muotoisia. Anturin avulla saaduissa kuvaajissa ei esiintynyt suurempia häiriöpiikkejä.

Kolmannessa opetuskokeilussa Testin 1 yhteydessä suoritettiin kaksi kinesteettistä koetta. Ensimmäinen oli liikkumisharjoitus, joka suoritettiin ilman tietokonetta tutkijan pihalle piirtämää koordinaatistoa käyttäen. Toinen tehtiin tietokoneen avulla kuten muissakin Testiin 1 liittyvissä harjoituksissa. Liikkumisharjoitus (Liite 6) tapahtui kahdessa ryhmässä, niin että ryhmät liikkuivat peräkkäin ensin aikavälin 0 s – 10 s ja sitten aikavälin 10 s – 20 jne. Liikkumisharjoituksen lepotauon aikana opiskelijat täyttivät taulukkoa ja sen pohjalta piirsivät kuvaajaa. Lopuksi he vastasivat piirtämäänsä kuvaajaan liittyviin kysymyksiin. Osa opiskelijoista halusi piirtää kuvaajan vasta kävelyn loputtua, vaikka heitä kehoitettiin piirtämään kuvaajaa sillä välin kun toinen ryhmä käveli. Opiskelijoilla näytti olevan hauskaa, kun he kulkivat opettajan ohjeiden mukaan. Jälkimmäinen ryhmä halusi päästä kävelemään pidempiä matkoja kuin ensimmäinen. Lopussa oli vauhti todella kovaa ja tunnelma hauska. Kysymyksistä 2 ja 3 näkee, että suoran jyrkkyyttä, nousevuutta ja laskevuutta käsiteltiin myös opettajajohtoisesti Testin 1 kinesteettisessä kokeessa. Näiden vastauslomakkeiden analysointi ei kuulu tutkimuksen piiriin.





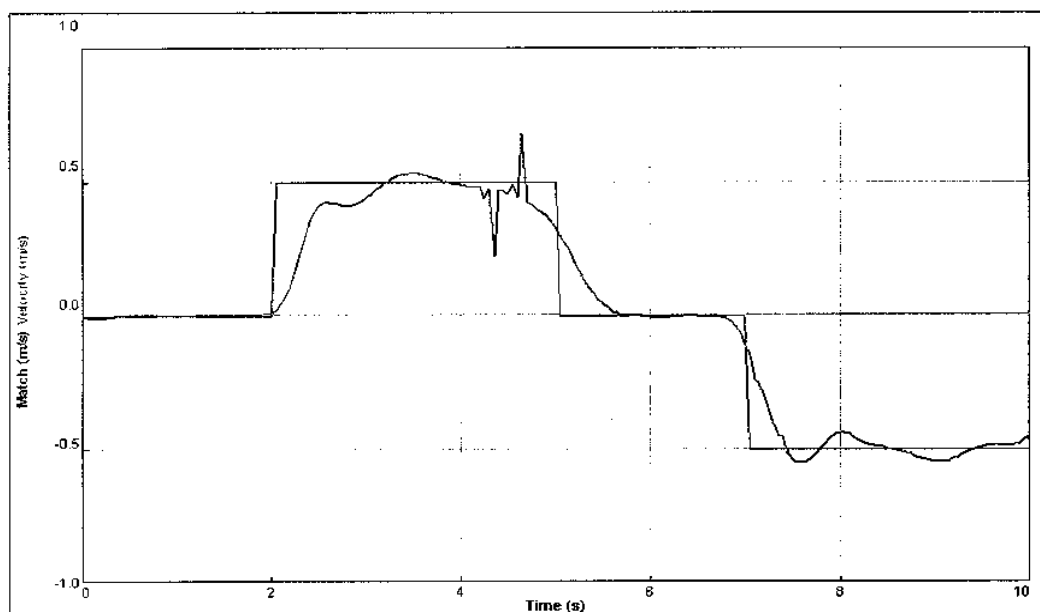
**Kuva 8-1.** Opiskelijan D (1. op. kok.) tuottama aika-matka-kuvaaja. Kuvakaappaus opiskelijan näkymästä. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja matka-akselin 0 m - 2,5 m.



**Kuva 8-2.** Opiskelijan L (3. op. kok.) tuottama aika-matka-kuvaaja. Kuvakaappaus opiskelijan näkymästä. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja matka-akselin 0 m - 2,5 m.

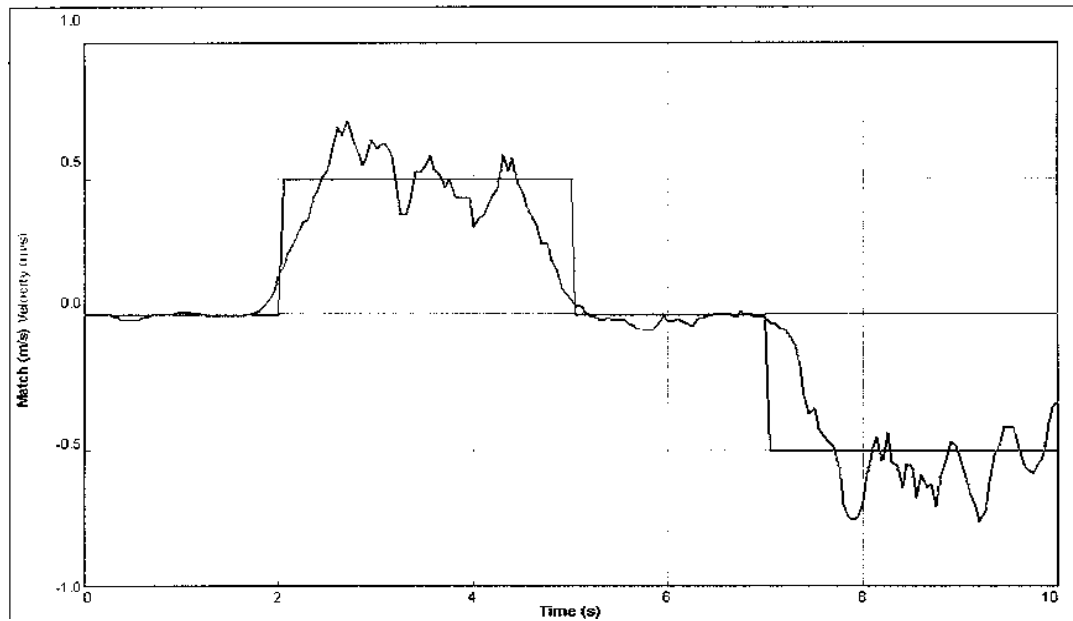
## Aika-nopeus-kuvaajien tuottaminen

Nopeuskuvaajan (Kuvat 8-3, 8-4 ja 8-5) tuottaminen on selvästi hankalampaa, sillä kuvaajan esittämää tasaista nopeutta on vaikea saada aikaan kävelemällä, etenkin kun kävelee anturista pois päin selkä edellä, jotta voisi havainnoida liikettä tietokoneen kuvaruudulta samanaikaisesti. Opiskelijoiden käyrissä esiintyi runsaasti häiriöpiikkejä. Häiriöpiikit saattoivat johtua epätasaisesta kävelystä tai muista anturin vastaanottamista ultraäänen hajaheijastuksista. Kuvassa 8-3 on esitetty kuvaaja, jossa häiriöpiikkejä on yritetty vähentää liikuttelemalla vaunussa suurta sermiä.

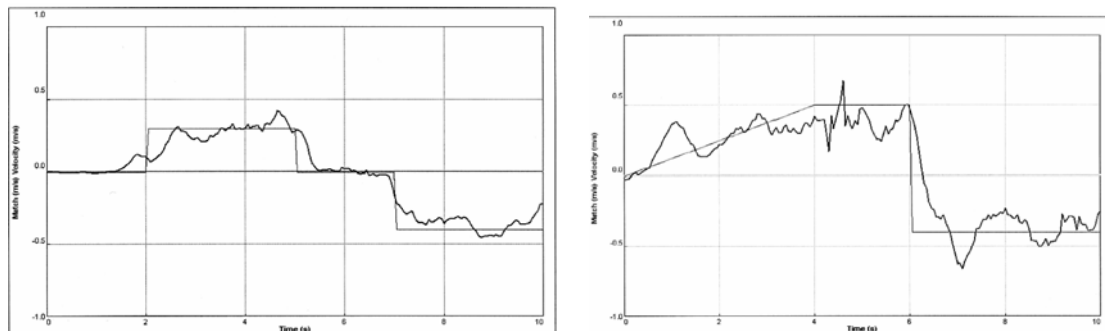


**Kuva 8-3.** Opiskelijan A (1. op. kok.) vaunun ja ison sermin avulla tuottama aika-nopeuskuvaaja. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja nopeus-akselin  $\pm 1,0$  m/s. Häiriöpiikkien määrä on saatu vähäiseksi lukuisten yrittämisten jälkeen. Kuvakaappaus opiskelijan näkymästä.

Nopeuden suunta ja vakioisuus oli jo paljon vaikeampaa tuottaa ja vaati enemmän ohjeita opettajilta kuin paikkaan liittyvä harjoitus. Nopeuskuvaajissa näkyy opiskelijoiden askeltaminen, sillä kuvaajat ovat rosoisempia kuin paikkakuvaajat. Kuvaajista näkyy kuitenkin selvästi, että opiskelijat pystyvät seuraamaan kuvaajaa. Opiskelija E (3. op. kok.) totesi nopeustestin jälkeen yrittäessään liikkua aika-matka-kuvaajan mukaan: ”Nythän tämä on täysin simppeä nopeuskuvaajaan verrattuna”.



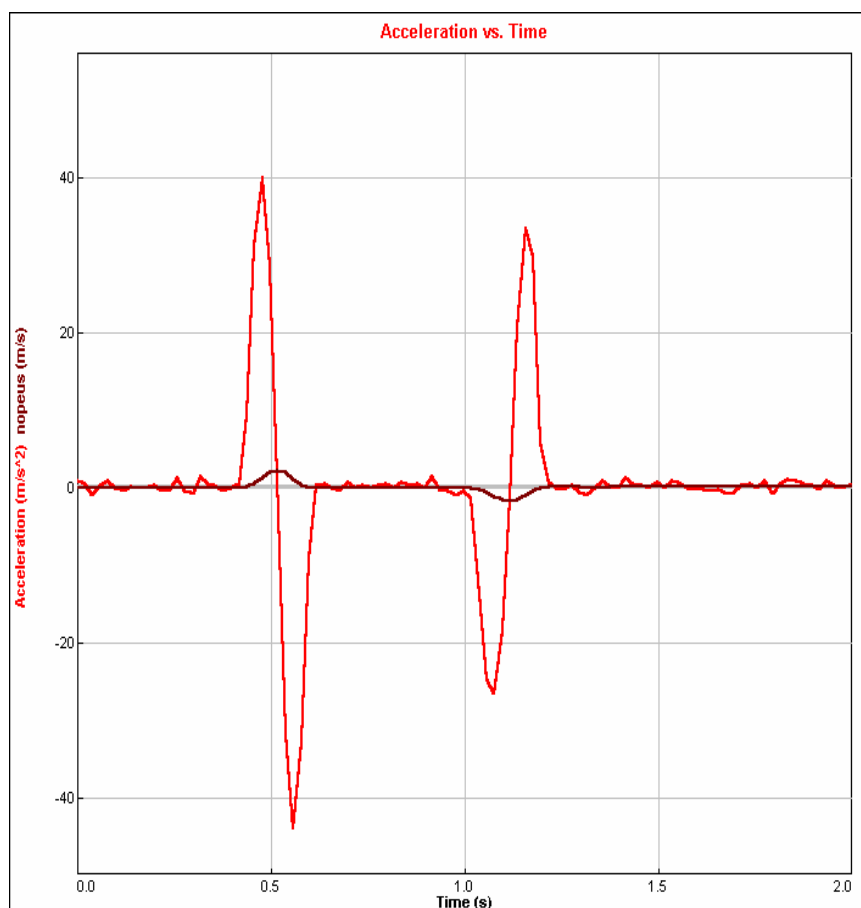
**Kuva 8-4.** Opiskelijan E (1. op. kok.) tavallisesti kävelemällä tuottama aika-nopeus-kuvaaja. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja nopeus-akselin  $\pm 1,0$  m/s. Häiriöpiikkien määrä on saatu vähäiseksi lukuisten yrittämisten jälkeen. Kuvakaappaus opiskelijan näkymästä.



**Kuva 8-5.** Tavallisesti kävelemällä opiskelijan E (3. op. kok.) tuottamat aika-nopeus-kuvaajat. Aika-akselin skaala on 0 s -10 s ja nopeus-akselin  $\pm 1,0$  m/s.

## Aika-kiikthyvyys-kuvaajien tuottaminen

Tutkija kertoi kiihtyvyyssanturin toimintaperiaatteesta anturin käyttöohjeen pohjalta ennen opiskelijoiden kokeellista työskentelyä. Jokainen ryhmä perehtyi jonkin aikaa kiihtyvyyssanturin toimintaan eli anturin kalibrointiin pöydän tasolle sekä liikutteluun nuolen suunnassa suoraa pitkin. Testin 3 kinesteettisenä kokeena annetaan opiskelijoille tehtäväksi tuottaa testissä käytetyn kuvaajan muotoinen käyrä kiihtyvyyssanturin avulla.



**Kuva 8-6.** Testin 3 kinesteettisen kokeen aika-kiikthyvyys-kuvaaja, jossa näkyy myös LoggerPro-ohjelman työkaluilla tuotetun nopeusmuuttujan kuvaaja. Aika-akselin skaala on 0 s - 2,0 s ja kiihtyvyyss-akselin  $\pm 40 \text{ m/s}^2$ .

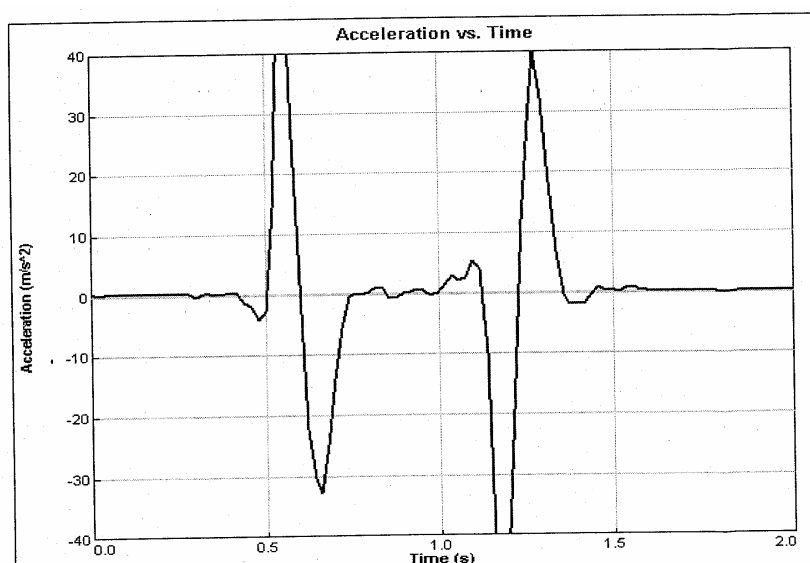
Opiskelijoilla oli alussa ongelmia oppia käyttämään kiihtyvyyssanturia nuolen suunnassa. Pienen harjoittelun jälkeen opiskelijat pystyivät tuottamaan Testin 3 (Kuva 8-6) kuvaajan ensimmäisen osan, joka saadaan kun käsi työnnetään suoraksi pöytää pitkin suoraan eteenpäin. Opiskelijoita piti neuvoa miten he voisivat tuottaa kuvaajan jälkimmäisen osan eli osan jossa käsi vedetään takaisin kohti lähtöpistettä. Sitten tutkija neuvoi opiskelijoita määrittelemään ohjelmallisesti uuden muuttujan, nopeus, samaan koordinaatistoon kiihtyvyysskuvaajan kanssa. Sitten opiskelijoita pyydettiin pohtimaan kiihtyvyyden merkkiä ja nopeuden kasvua tai pienenemistä. Kun tutkija poikkesi työparien luokse, monet puuhasivat anturilla täysin omiaan eivätkä olleet miettineet annettua tehtävää. Jokaisen työryhmän kanssa piti erikseen käydä

perusteellisesti läpi, miten kiihtyvyyden merkki vaikutti nopeuden itseisarvoon ja nopeuden suuntaan, sillä tämä kohta on opiskelijoille erikoisen vaikea.

Jokaiselle ryhmälle piti neuvoa, miksi käden liike pöydällä koukusta suoraksi eteen saattoi sisältää sekä positiivisen että negatiivisen kiihtyvyyden. Kiihtyvyyssanturin positiivisen kiihtyvyyden suunnasta käytiin myös ryhmittäin keskusteluja luokan opettajan ja tutkijan johdolla. Nopeuden kuvaajan lisääminen työohjeen 3 (Liite 3) mukaan onnistui monelta ryhmältä ilman apua ja nopeuskuvaajan näkeminen kiihtyvyyden kuvaajan kanssa samassa koordinaatistossa tuntui selventävän joidenkin opiskelijoiden käsitystä kiihtyvyyden merkin ja nopeuden välisestä yhteydestä.

Opiskelijoiden tuottamat kuvaajat ovat testikuvaajan muotoisia. LoggerPro-ohjelman työkaluilla saadaan uusi muuttuja määriteltyä samaan koordinaatistoon nopeuden kuvaajan kanssa kuten kuvassa 8-6.

Opiskelijaryhmä B, E ja G (3. op. kok.) on tuottanut kuvaajan (Kuva 8-7), jonka yhteyteen he ovat kirjoittaneet työohjeeseen liittyvän pohdinnan. Pohdinnan perusteella opiskelijaryhmä oli oivaltanut, että kiihtyvyyssanturilla saa näkyviin vain nopeuden muutokset. Toisaalta kinesteettisen kokeen aikana opiskelijoille ei ole selvinnyt, että liikuttaessa kättä anturin positiiviseen suuntaan kiihtyvyys voi olla sekä positiivista (kiihdytettäessä) että negatiivista (jarrutettaessa). Opiskelijat ovat muuttaneet akselien jaotusta saadakseen tarkemman kuvan kiihtyvyyden muutoksista liikkeen eri osissa.



Kuvaaja 1 (tehtävä 3 b)

#### Tehtävä 3c

Kappaleen (käden) nopeudella ei sinänsä ole merkitystä. Kiihtyvyyssanturi mittaa ainoastaan nopeuden muutoksen, eli kiihtyvyyden.

#### Tehtävä 3d

Kun kappale liikkuu negatiiviseen suuntaan, kiihtyvyys on negatiivista. Vastaavasti liikkeen kohdistuessa positiiviseen suuntaan, kiihtyvyys on positiivista.

**Kuva 8-7.** Testin 3 harjoitukseen liittyvä kiihtyvyysskuvaaja (3. op. kok.). Aika-akselin skaala on 0 s - 2,0 s ja kiihtyvyyss-akselilla  $\pm 40 \text{ m/s}^2$ .

### 8.3 Mittari 2: Monivalintatehtävien vastaukset

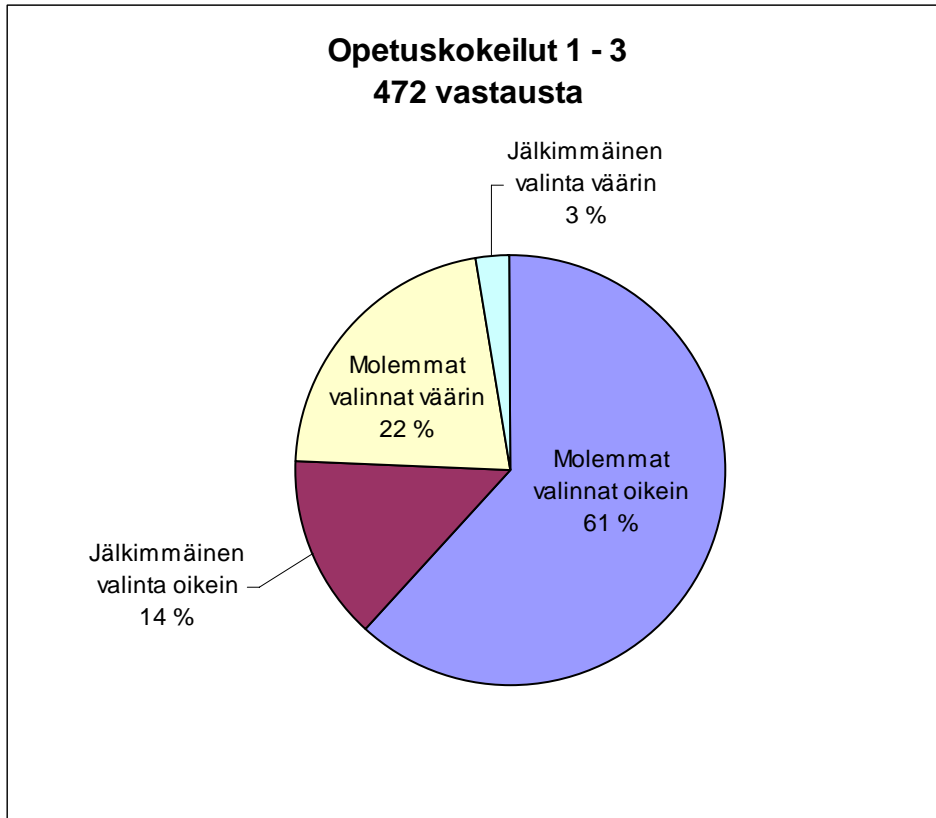
Tässä luvussa käsitellään Testien 1 - 3 monivalintatehtäviin liittyviä tuloksia. Tarkoituksena on selvittää miten hyvin opiskelijat pystyivät tunnistamaan / päättämään / laskemaan/ monivalintatehtävien kuvaajista oikean vastauksen sekä antamaan vastaukselleen oikean perustelun?

Kinesteettisten kokeiden vaikutus näkyy vastauksissa, joissa väärä valinta on muutettu oikeaksi tai oikea valinta muutettu vääräksi. Kuvassa 8-8 esitetään monivalintatehtävien tulokset. Taulukosta 8-1 ja kuvasta 8-9 nähdään monivalintatehtäviin liittyvien perustelujen oikeellisuus.

**Taulukko 8-1. Testien 1 - 3 monivalintatehtävien tulokset kaikkien opetuskokeilujen osalta. Valintavaihtoehtoja on verrattu opiskelijoiden antamiin sanallisiin perusteluihin.**

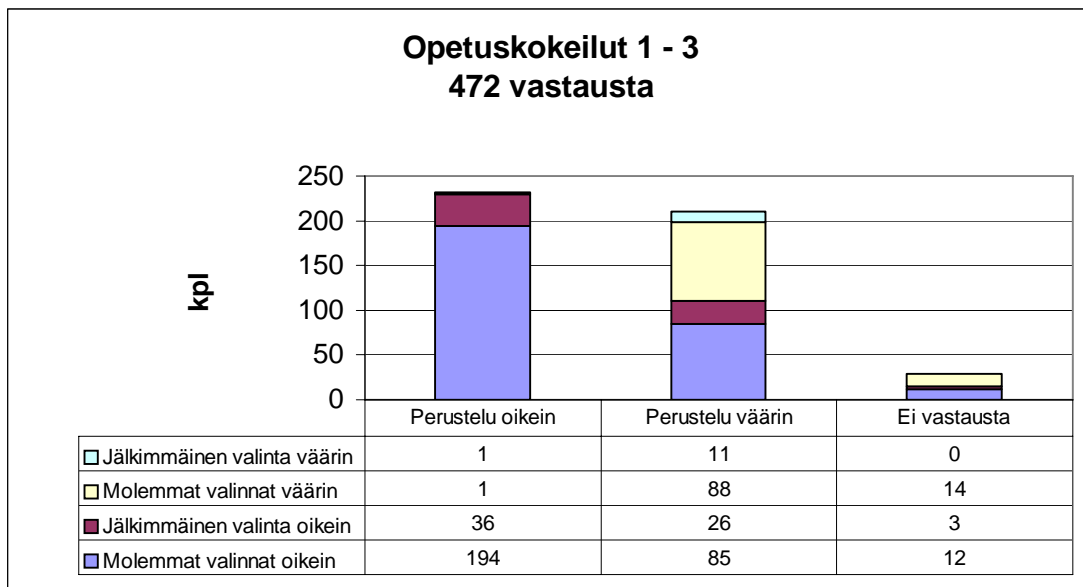
Testit 1 - 3		Valinnat 1 ja 2 oikein. Perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinta 1 väärin ja valinta 2 oikein. Perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinta 1 on oikein tai väärin. Valinta 2 väärin. Perustelu on väärin tai vastaamatta	
		oikein	väärin	ei vast.	oikein	väärin	ei vast.	väärin	ei vast.
<b>I opetus-kokeilu</b>	<b>Opiskelijat / Kaikki vastaukset</b>	27	17	8	5	2	3	14	8
	(7,7,7) / 84	32,1 %	20,2 %	9,5 %	6,0 %	2,4 %	3,6 %	16,7 %	9,5 %
<b>II opetus-kokeilu</b>	<b>Opiskelijat / Kaikki vastaukset</b>	67	42	2	13	17	0	50	1
	(18,13,20) / 192	34,9 %	21,9 %	1,0 %	6,8 %	8,9 %	0 %	26,0 %	0,5 %
<b>III opetus-kokeilu</b>	<b>Opiskelijat / Kaikki vastaukset</b>	100	26	2	18	7	0	38	7
	(17,17,15) / 196	51,0 %	13,3 %	1,0 %	9,2 %	3,6 %	%	19,4 %	3,6 %
<b>Kaikki opetus-kokeilut yhdessä</b>	<b>Kaikki vastaukset yhteensä 472</b>	41,1 %	18,0 %	2,5 %	7,6 %	5,5 %	0,1 %	21,6 %	3,4 %

Opetuskokeilujen monivalintatehtävien vastauksista 2/3 säilyy oikeina myös kinesteettisten kokeiden jälkeen. Alussa annetuista vääristä vastauksista 1/3 muutetaan oikeiksi kinesteettisten kokeiden aikana saadun kokemuksen pohjalta.



**Kuva 8-8.** Opetuskokeilujen 1 - 3 monivalintatehtävien tulokset prosentteina. Valinnoista ensimmäinen tehtiin ennen kinesteettisiä kokeita ja jälkimmäinen valinta kinesteettisten kokeiden jälkeen.

Vaikka vastausvaihtoehto kinesteettisen testin lopussa on oikein, niin ainoastaan 2/3 vastausten perusteluista voidaan hyväksyä oikeiksi. Kinesteettisten kokeiden jälkeen oikeaksi muutettujen vastausten perusteluista vähän yli puolet on hyväksyttävän taseisia perusteluja (Kuva 8-9).



**Kuva 8-9.** Opetuskokeilut 1 - 3. Opiskelijoiden monivalintatehtävien ja perustelujen oikeellisuus.

## 8.4 Mittari 3: Monivalintatehtävien vastausten perusteleminen

Tässä luvussa käsitellään opiskelijoiden antamia perusteluja. Tarkoituksena on selvittää, miten opiskelijat selittävät kuvaajia?

Ensimmäisen opetuskokeilun oppitunnilla monet opiskelijat sanoivat, että vastausten perustelu on heistä vaikeaa eivätkä he millään keksi, miten voisivat perustella valintaansa. Vaikeus näkyy puutteellisuutena sekä fysikaalisessa että kielellisessä mielessä. Esimerkiksi opiskelija A (1. op. kok.) on Testissä 2 perustellut nopeutta ja liikkumista anturiin päin seuraavilla vastauksilla. Perusteluista kaksi ensimmäistä tulkittiin vääriksi ja viimeinen hyväksyttiin oikeaksi.

*”Kuvaajasta katson, että tällä kohdalla kiihtyvyys on tasaisen nopeaa...”*

*”Tässä kohdassa kiihtyvyys on tavallaan negatiivista mittalaitteen suhteen, joka tarkoittaa lähtöpisteeltä päin liikkumista.”*

*”...5 – 6 s kohdalla ollaan siis kauimpana, koska negatiivinen kiihtyvyys eli lähestyminen ei ole vielä alkanut”.*

Esimerkkinä fysikaalisesti ja kielellisesti puutteellisista perusteluista ovat opiskelijan R (2. op. kok.) perustelut:

*”Nopeus on nolla, koska siirtymä paikka-akselilla on nolla kyseisellä hetkellä.”*

*”Kuvaaja on pisin kyseisellä hetkellä positiiviseen suuntaan”.*

Perusteluissa on myös joko pelkkiä laskuja tai osittain selitetyjä laskuja, kuten opiskelijalla A (2. op. kok.)

*”laskulla saa laskemalla kun liikutaan 3 s 0,5 m/s nopeudella niin  
 $0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$ ”*

Opiskelijat ovat käyttäneet selityksissään myös paljon kuvaajana olevan funktion ominaisuuksiin liittyviä perusteluja, kuten opiskelijoiden H, R ja V (2. op. kok.) perustelut, joista ensimmäinen ja toinen perustelu on hyväksytty oikeaksi ja kolmas on tulkittu vääräksi.

*”...Suora nousee, kun etäisyys kasvaa.”*

*”Nopeus on negatiivista, joten silloin liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin.”*

*”Kiihtyvyyden kuvaajan rajaama pinta-ala on suurin eli nopeus on suurin.”*

Kinestiikalla annetusta vastauksesta on esimerkkinä opiskelijan N (2. op. kok.) perustelu:

*”Täytyi liikkua kyseisessä kohdassa kohti anturia.”*

Kolmannen opetuskokeilun yhteydessä tutkija kehotti opiskelijoita paneutumaan vastauksen perustelemiseen. Opiskelijoille kerrottiin, että perustelun kirjoittaminen kohottaa heidän ajattelun tasoaan, sillä on eri asia tunnistaa jokin vastaus kuin yrittää perustella vastaus fysiikan käsitteitä hyväksi käyttäen. Kaikki eivät halunneet yrittää perustella vastauksiaan, sillä yksi opiskelija on antanut saman vastauksen kaikkiin testin 1 kuvaajaan liittyviin kysymyksiin.



Vastauksissa on perusteluja, jotka voi tulkita ainakin osittaisina viittauksina kinesteettisiin kokeisiin. Nämä perustelut on kirjattu luokkaan "perustelu kinestiikalla". Näistä esimerkkeinä opiskelijoiden F, Q, N, R ja K (3. op. kok.) perustelut:

*" Koska olen paikallani joka tapauksessa ja paikallaan ei voi olla nopeutta, suora kuvaa paikallaan pysymistä."*

*" Vaihdoin vastausta koska aikavälillä 6 – 7 s liikkuja tuleekin takaisinpäin lähtöpisteestä katsottuna."*

*" 6 sekunnin kohdalla henkilö on liikkunut noin 3 sekuntia 0,5 m/s vauhdilla ja saavuttanut vaihtoehdoista etäisimmän pisteen, jonka jälkeen henkilö pysähtyy"*

*" Tehtyäni kokeen, huomasin, että käsi liikkui tällä kohdalla lähtöpisteeseen päin"*

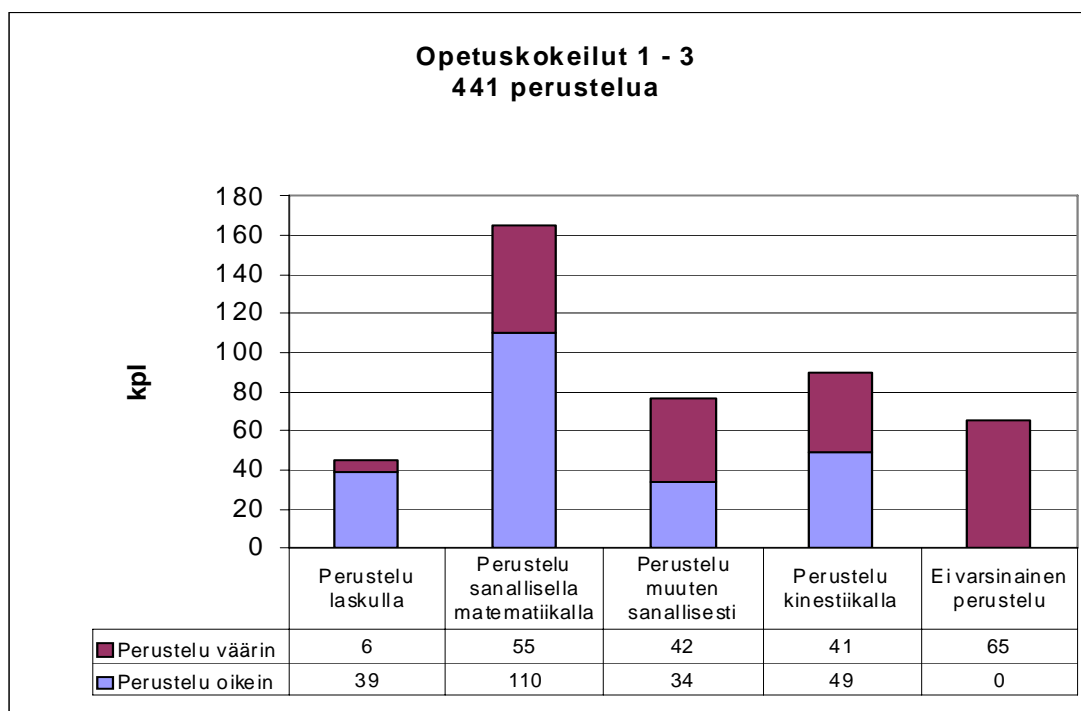
*" Kun kiihtyvyys tippuu nollasta negatiiviseksi, myös käden vauhti on negatiiviseen suuntaan, eli kohti lähtöpistettä"*

Kysymyksiin liittyviä/liittymättömiä sekä fysikaalisesti että kielellisesti puutteellisia perusteluja edustavat seuraavat opiskelijoiden G (3. op. kok., Testi 3, Kysymys 2) ja B (3. op. kok., Testi 3, Kysymys 3) perustelut. Ensimmäinen hyväksyttiin oikeaksi ja jälkimmäinen tulkittiin vääräksi.

*" Omien testien perusteella huomaan, että jo pieni negatiivinen alku "pompsahduksessa" kertoo näillä laitteilla negatiivisesta suunnasta"*

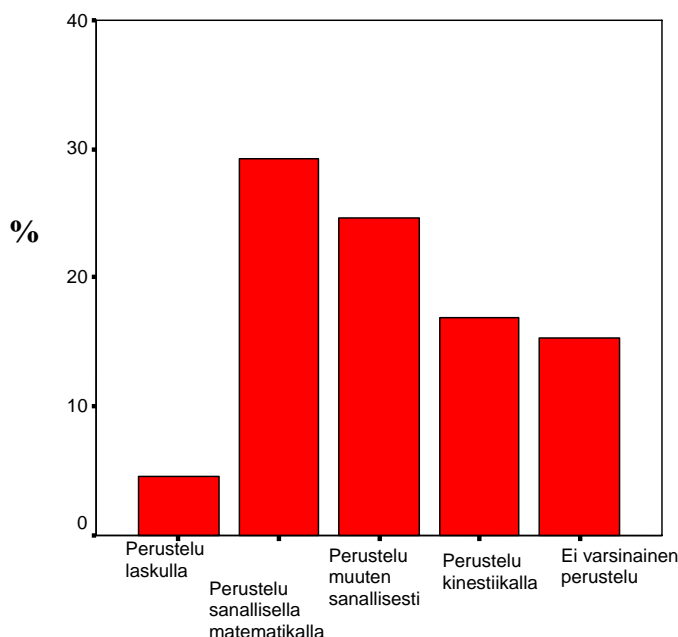
*" Hetkellä 0,45 s kappale lähtee kiihdyttämään melko paljon kiihdyttämättömästä tilasta"*

Testien 1 - 3 pohjalta on laadittu kaikkien opetuskokeilujen yhteenvedotaulukko 8-10. Laskuilla annetuista perusteluista noin 9/10 on oikein. Sanallisella matematiikalla annetuista perusteluista oli oikein 2/3. Muuten sanallisesti tai kinestiikalla annetuista perusteluista oli oikein noin puolet. Kinestiikalla annetuissa perusteluissa käsitteellinen taso oli heikko.

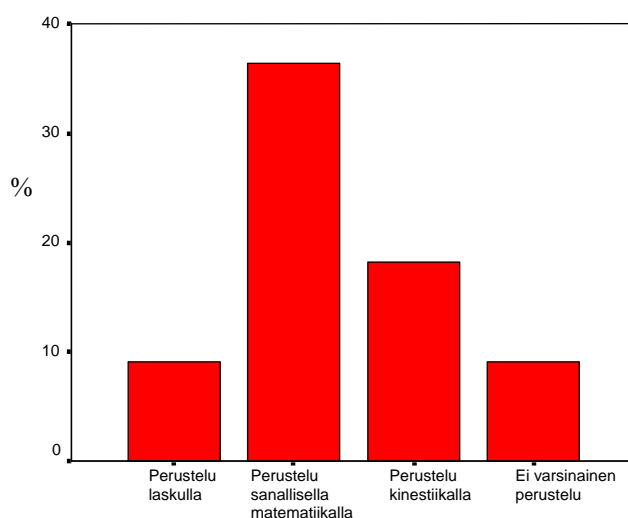


**Kuva 8-10. Opetuskokeilut 1 - 3. Opiskelijoiden perustelut luokiteltuina.**

Kinesteettiset kokeet saivat opiskelijoita muuttamaan monivalintatehtävien vastauksiaan yhteensä 17 %. Kuviissa 8-11 ja 8-12 on muutettujen valintojen perustelutyypit prosentteina. Suurin osa vääristä oikeaksi muutetuista (14 %) valinnoista sisältää joko sanallisella matematiikalla tai muuten sanallisesti annettun perustelun. Pelkällä laskulla annettuja perusteluita on vähiten. Kinesteettisiksi luokiteltujen perustelujen määrä on samaa luokkaa kuin opetuskokeiluissa annettujen kinesteettisten vastausten määrä. Perustelemattomia vastauksia on lähes yhtä paljon kuin kinesteettisiä perusteluita. Vääräksi muutettuja oikeita valintoja (3 %), on perusteltu eniten sanallisella matematiikalla.



**Kuva 8-11. Opetuskokeilut 1 - 3. Kinesteettisten kokeiden jälkeen vääristä oikeiksi muutettujen valintojen perustelut luokiteltuna.**



**Kuva 8-12. Opetuskokeilut 1 - 3. Kinesteettisten kokeiden jälkeen oikeista vääriksi muutettujen valintojen perustelut luokiteltuna.**

## 8.5 Mittari 4: Kurssikokeen tulokset ja tehtävänälyysi

Tässä luvussa käsitellään opiskelijoiden kurssikokeen monivalintatehtävien vastauksia. Kurssikokeiden tuloksia käsitellään yhdessä. Lisäksi esitetään ja analysoidaan opiskelijoiden vastausten pohjana olleita laskutapoja.

### Testin 4 tuloksia

Liitteessä 22 on esitetty opiskelijoiden kurssikokeen monivalintatehtävän vastaukset. Testeissä 4 saatuja vastauksia on kaikkiaan 352 ja niistä lähes 3/4 on oikein. Noin 1/7 opiskelijoista osasi alle puolet tehtävistä. Opiskelijoiden vastausten jakautuminen eri vaihtoehdoille näkyy taulukosta 8-2.

**Taulukko 8-2. Testin 4. Opetuskokeilut 1 - 3. Monivalintatehtävien valintojen lukumäärät. Oikeiden vastausten lukumäärät on lihavoitu. Tehtäväkohtaisia vastauksia oli 44. Kaikkia vastauksia oli yhteensä 352.**

Valinta / Tehtävä	A	B	C	D	E	Oikeita valintoja	
						kpl	%
1		2	1	<b>29</b>	12	29	65,9
2	2		<b>42</b>			42	95,5
3	12	<b>30</b>			2	30	68,1
4	<b>27</b>	12		5		27	61,4
5		8	19	<b>15</b>	2	15	34,1
6	<b>29</b>	7	6		2	29	65,9
7	1	<b>34</b>	6	1	2	34	77,3
8	2	1			<b>41</b>	41	93,2
<b>Yhteensä</b>						<b>247</b>	<b>70,2</b>

Testin 4 monivalintatehtävien ratkaiseminen vaatii joko graafisen derivoinnin tai graafisen integroinnin osaamista. Liitteessä 23 on esitetty laskutavat, jotka antavat tulokseksi niiden vastausvaihtoehtojen tuloksen, joilla opiskelijat ovat vastanneet. Testin 4 (myös Beichnerin testin) monivalintatehtävissä on oikea yksikkö, vaikka lukuarvon laskutavan mukaan vastaukselle olisi pitänyt tulla väärä yksikkö. Taulukossa huomautus "Saadaan väärä yksikkö" liittyy lukuarvon laskutavasta seuraavaan väärään yksikköön.

**Graafiseen derivointiin** pohjautuvien testitehtävien ratkaiseminen vaatii joko suoran kulmakertoimen tai käyrän tangentin kulmakertoimen määrittämistä yksiköineen. Opiskelijoiden vastauksissa esiintyi seuraaviin virheellisiin laskutapoihin pohjautuvia vastauksia:

- vastauksen saamiseksi kulmakerroin määritetään koordinaatistoon piirrettyjen ruutujen eikä akselien jaotuksen avulla (18 kpl). Tällä menetelmällä saadaan tulokselle oikea yksikkö.
- vastauksen saamiseksi kulmakerroin lasketaan jakamalla yksittäisen pisteen koordinaatit keskenään (12 kpl). Tulokselle saadaan oikea yksikkö.

- vastaukseksi otetaan lukema pystyakselilta (9 kpl). Tulokselle tulee väärä yksikkö.
- vastaukseksi lasketaan kulmakertoimen käänteisluku akseliston ruutujen avulla (7 kpl). Tulokselle tulee väärä yksikkö.
- vastaukseksi lasketaan tangentin kulmakertoimen käänteisluku (2 kpl). Tulokseen tulee väärä yksikkö.

**Graafiseen integrointiin** pohjautuvan testitehtävän ratkaiseminen vaatii joko suorakulmion tai kolmion pinta-alan määrittämistä. Opiskelijoiden vastauksissa esiintyy seuraaviin virheellisiin laskutapoihin pohjautuvia vastauksia:

- vastaukseksi annetaan suorakulmion pinta-ala, kun oikea vastaus saadaan kolmion pinta-alasta (12 kpl). Tulokselle saadaan oikea yksikkö.
- vastauksen saamiseksi yritetään määrittää kulmakerroin (17 kpl). Saadaan väärä yksikkö.
- vastausta varten otetaan lukema pystyakselilta (22 kpl). Tulokselle saadaan väärä yksikkö.
- vastaukseksi määritetty kulmakertoimen käänteisluku (2 kpl). Tulokselle saadaan väärä yksikkö.

Opiskelijoiden 352 vastauksesta noin 1/6 sisältää tulokselle väärän yksikön. Väärän lukuarvon ja oikean yksikön sisältämiä vastauksia on noin 1/6.

## 9 Pohdintaa

### **Kinesteettiset kokeet**

Kinesteettiset kokeet suoritettiin valmiiksi kootuilla laitteistoilla, jolloin kokeisiin varattu 20 minuutin aika riitti hyvin 2 - 4 hengen ryhmien työskentelyyn.

Ultraäänianturin ja kiihtyvyyssanturin toimintaperiaatteen opettamiseen ei kulunut paljon aikaa ja mittausjärjestelmää oli helppo käyttää, sillä mittausohjelma on erittäin käyttäjätystävällinen eikä englanninkielisenä haittaa opiskelijoiden työskentelyä.

Ultraäänianturilla toteutetut kinesteettiset kokeet suoritettiin koulun ala-aulassa 3 - 6 laitteistolla, jotka oli sijoitettu kolmelle rinnakkain asetetulle pyörin varustetulle pöydälle, yksi laitteisto pöydän molempiin päihin. Pöytien välimatka oli reilu metri. Opiskelijaryhmät mahtuivat hyvin toimimaan rinnakkain, eivätkä eri ryhmien opiskelijoiden harjoitukset haitanneet toistensa toimintaa.

Opiskelijat pystyvät tuottamaan helposti aika-matka-kuvaajia omalla liikkeellään pienen harjoittelun jälkeen. He oppivat nopeasti, miten eteenpäin ja taaksepäin meno sekä paikallaan olo näkyi kuvaajassa. Vartaloon liikettä oli selvästi helppo hallita annetun kuvaajan mukaisesti. Liikkumisen aikana tapahtuva tietokoneen kuvaruudun katselminen ei näyttänyt häiritsevän liikkeen tuottamista.

Aika-nopeus-kuvaajien tuottaminen mallin mukaan on huomattavasti vaikeampaa. Tasaisen nopeuden ylläpitäminen on hankalaa. Nopeuden suunta ja vakioisuus on paljon vaikeampaa mieltää kuvaajasta, ja vaati enemmän ohjeita opettajilta kuin paikkaan liittyvä koe. Myös nopeuden merkki aiheuttaa hämmennystä; pitääkin vaihtaa suuntaa, kun nopeuden merkki muuttuu. Lisäksi monen opiskelijan on hankala mieltää, että vaakasuora osuus nopeuskuvaajalla tarkoittaa tasaista nopeutta, kun se aika-matka-kuvaajassa tarkoittaa paikoillaan seisomista.

Opiskelijoiden tulostamista kuvaajista näkyy, että aika-nopeus-kuvaajaa on vaikea jäljitellä. Nopeuskuvaajissa näkyy opiskelijoiden askeltaminen, jolloin tuotetut kuvaajat ovat rösoisempiä kuin paikkakuvaajat. Opiskelijat joutuvat tekemään lukuisia yrityksiä kuvaajissa esiintyvien suurien häiriöpiikkien eliminoimiseksi. Kuvaajista näkyy kuitenkin selvästi, että opiskelijat ovat yrittäneet liikkua kuvaajan mukaisella tavalla: Olla paikallaan, kun nopeus on nolla, kulkea tasaisella nopeudella pois päin anturista, kun nopeus on positiivinen vakio sekä vaihtaa suuntaa, kun nopeuden merkki on vaihtunut.

Nopeuskuvaajaan liittyvän rösoisyyden ja häiriöherkkyyden voi selittää ultraäänianturin ja mittausohjelman avulla. Ultraäänianturi mittaa lähetetyn ja takaisin heijastuneen äänen välistä aikaa, jonka avulla mittausohjelma laskee matkalle arvon. Nopeus puolestaan lasketaan ohjelmallisesti matkan mittautuloksista matkan aikaderivaattana. Pieni muutos matkan arvoissa aiheuttaa suuren muutoksen nopeuden arvoissa.

Ennen kiihtyvyyssanturin tuottamista kiihtyvyyssanturi kalibroidaan pöydän tasoon. Kuvaajan tuottaminen käden liikkeenä valmiin kuvaajan mukaan puolestaan on selvästi vaikeampaa. Anturin asennon ja käden liikesuunnan merkitys pitää opettaa

opiskelijoille kädestä pitäen. Kiihtyvyytkuvaajan ensimmäinen osa liittyen käden työntämiseen pois päin onnistuu helposti, mutta koko kuvaajan tuottaminen vaatii useiden ryhmien kohdalla ohjeita opettajalta. Myös kuvaajan ja käden liikkeen yhteyden ymmärtäminen on vaikeaa. Nopeuskuvaajan lisääminen kiihtyvyytkuvaajaan onnistuu osalta opiskelijoista hyvin työhöhen mukaan, toisia taas pitää auttaa aikataulun vuoksi. Opettajalle jää tehtäväksi nopeuskuvaajan yhteyden liittäminen kiihtyvyytkuvaajaan. Opiskelijoista tuntuu vaikealta käsittää, että käden liike suoraksi voi sisältää sekä positiivisen että negatiivisen kiihtyvyyden.

Tietokoneiden kanssa esiintyi jonkin verran ongelmia. Mittauslaitteistot testattiin käyttökokoonpanossa ennen oppitunnin alkua. Kuitenkin kinesteettisten kokeiden yhteydessä 1 - 2 konetta/testiä vaati uudelleen käynnistyksen. Yhdessä testissä yksi kone piti vaihtaa toiseen. Tämä aiheutti ryhmien yhdistelyä, jotta kaikki opiskelijat pääsivät aloittamaan. Kun oppilasryhmät oli saatu työskentelemään, tutkija laittoi loput koneet käyttökuntoon, mikä onnistuikin suhteellisen nopeasti. Opiskelijat pääsivät palaamaan alkuperäisiin ryhmiinsä. Koneiden toiminnan satunnainen epävarmuus on haitallista, sillä juuri kinesteettisten kokeiden alussa tarvitaan eniten opettajan apua.

Ryhmien opiskelijat toimivat hyvin yhteistyössä tuottaessaan kuvaajia. Yksi opiskelija käynnisti mittauksen ja muut antoivat ohjeita liikkujalle. Opiskelijat halusivat saada mahdollisimman tarkasti annetun kuvaajan mukaisia kinesteettisesti tuotettuja kuvaajia. Opiskelijoilla oli hauskaa tehdessään kinesteettisiä kokeita. Tietokoneohjelman käyttö onnistui hyvin. Opiskelijat pystyivät ohjeiden mukaan löytämään tiedostoista kinesteettisissä harjoituksissa käytettävät kuvaajat sekä kopioimaan ja tulostamaan kuvaajat nimellä varustettuna Word-ohjelman avulla verkkokirjoittimelle.

### **Kuvaajien tulkinta kinesteettisissä testeissä**

Opiskelijat pystyivät aikaisempien opintojensa tietojen pohjalta valitsemaan suhteellisen hyvin oikean vastausvaihtoehdon kuvaajiin. Vastauksista käy selville, että opiskelijat osaavat lukea yksittäisiä tietoja aika-matka- tai aika-nopeus-kuvaajilta. Yleisesti kiihtyvyytkuvaajien tulkinta on vaikeinta. Kuvaajan merkitys liikkeen kannalta osoittautuikin vaikeaksi, etenkin kun kuvaajaa piti tulkita uuden suureen kannalta. Näin on esimerkiksi, jos pitää aika-nopeus-kuvaajasta tulkita/laskea matkaa tai aika-kiihtyvyys-kuvaajasta päätellä jotain liikkeen nopeudesta tai suunnasta.

Oppitunnilla opiskelijat sanoivat, että vastausten perusteleminen on heistä vaikeaa, mikä tulee esille myös vastausten vaillinaisten ja virheellisten perustelujen suurena määränä. Opiskelijat eivät hallitse liikkeeseen liittyvää käsitteistöä. Etenkin viittauksissa nopeuden tai kiihtyvyyden muutoksiin esiintyy fyysikoiden kielestä poikkeavia ilmaisuja. Perusteluissa käytetyt kuvaajan/funktion kulkuun viittaavat ilmaisut sisältävät myös paljon virheitä tai poikkeavat matematiikassa käytetyistä ilmaisuista.

Opiskelijan F (3. op. kok.) perustelu:

*" Koska olen paikallani joka tapauksessa ja paikallaan ei voi olla nopeutta, suora kuvaa paikallaan pysymistä."*

Monivalintatehtävien perusteluista viidesosa sisältää jonkinasteisen viittauksen kinesteettisiin kokeisiin. Seuraavat opiskelijat ovat pyrkineet tulkitsemaan kuvaajaa kinestiikan avulla. Perustelut liittyvät hyvin tiiviisti liikkumalla saatuun kokemukseen. Vastausten käsitteellinen taso on hyvin matala. Opiskelijan D (1. op. kok.) perustelu:

*”Testissä minä ainakin liikuin. Ja näkeehän sen kuvaajasta.”*

Opiskelijan H (1. op. kok.) perustelu:

*”Koska hetkellä 4,5 s ei liikuttu”*

*”Lähtöpiste on jo metrin päässä”*

*”Koska muulloin ollaan pysähdyksissä.”*

Opiskelija O (2. op. kok.) perustelut:

*”Huomasin tämän kineettisessä kokeessa.”*

*” Silloin on liikuttu kaikista eniten. Käytännön kokeessa se näkyi selvästi.”*

Opiskelijan N (2. op. kok.) perustelu:

*”Ennen tätä täytyi perääntyä ja tällä hetkellä seisottiin paikallaan kauimpana anturista”*

Kaikki opiskelijat eivät kokeneet kinesteettisiä kokeita hyödyllisiksi. Testeihin 2 ja 3 osallistunut opiskelija F (1. op. kok.) on vastausten perusteluissaan kirjoittanut:

*”kokeet eivät muuttaneet päätelmiäni millään lailla (kokeet eivät valaisseet käyrien luonnetta)”*

*”... kokeet eivät valaisseet käyrän luonnetta laisinkaan (ei ainakaan enemmän kuin päättely)”*.

### **Kurssikokeen monivalintatehtävät**

Graafiseen derivointiin ja integrointiin liittyvät kurssikokeen tehtävät testasivat opiskelijoiden kykyä tulkita kuvaajia uuden muuttujan kannalta ja tuottaa uusia muuttujia. Kokonaisuudessaan opiskelijat osasivat tehtäviä hyvin. Osassa virheellisiin lukuarvoihin johtaneista vastauksista olisi pitänyt saada myös virheellinen yksikkö tai päinvastoin. Laskutavan tuottaman lukuarvon/yksikön perusteella olisi opiskelijan pitänyt pystyä huomaamaan, että käytetty laskutapa ei voi olla oikein. Joissakin virheellisissä vastausvaihtoehdoissa on saatu oikea yksikkö, jolloin yksikön käyttöön perustuvaa tarkistuskeinoa ei ole.

Opiskelijoiden valintatavat sisältävät hyvin erilaisia virheitä. Esimerkiksi graafinen derivointi on suoritettu virheellisesti, kun kulmakertoimen määrittämisessä ei otettu huomioon akselien jaotusta, vaan tulos on laskettu ruutujen perusteella. Kulmakerrointa on yritetty myös määrittää jakamalla pisteen koordinaatit keskenään. Edellisissä tapauksissa vastauksen yksikkö saadaan oikeaksi. Graafinen integrointi on suoritettu väärän pinta-alan määrittämisellä tai kulmakertoimen avulla. Ensimmäisessä tapauksessa on yksikkö oikein ja jälkimmäisessä väärin. Sekä graafista derivointia että integrointiä vaativia tehtäviä on myös yritetty ratkaista ottamalla lukema pysty-

akselilta tai määrittämällä kulmakertoimen käänteisluku. Kaikissa näissä tapauksissa tulokselle saadaan väärä yksikkö. Vastauksista noin 1/6 sisältää tulokselle väärän yksikön. Väärän lukuarvon ja oikean yksikön sisältämiä vastauksia on noin 1/6.

## Muuta yleistä

Kinesteettisissä kokeissa käytetty tietokoneen ja Vernierin mittausyksikkö ultraääniantureineen oli opiskelijoille helppokäyttöinen laitteisto. Ongelmina oli koneiden muistin vähäisyys ja se, että laitteistoa ei voinut käyttää ilman ulkoista sähkönjohdotusta. Vernierin mittausyksikkö kulutti paristoja runsaasti ja koulun tietokoneiden akut olivat jo sen verran vanhoja, että niiden virransyöttöön ei voinut luottaa. Tästä syystä johtomäärä oli valtava ja opiskelijoiden piti varoa, etteivät kompastuneet johtoihin ja kaatuneet sekä samalla pudottaneet tietokoneita lattialle. Onneksi koulussa oli langaton verkko, joten verkkojohtoa ei tarvittu, kun kuvaajia tulostettiin. Opiskelijat joutuivat tekemään tietokoneella kinesteettisiä kokeita kahdessa viimeisessä opetuskokeilussa 3 – 4 hengen ryhmissä. Siksi kaikki opiskelijat eivät välttämättä päässeet käyttämään mittausohjelmaa jokaisella kerralla, vaan ryhmissä tietokonetta käytti pääsääntöisesti 1 – 2 opiskelijaa. Kaikki opiskelijat kuitenkin tekivät kinesteettisiä kokeita.

Laitteistojen kokoaminen olisi mittaustekniikan oppimisen kannalta tarkoituksenmukaista jättää opiskelijoiden tehtäväksi. Aikataulussa pysymisen varmistamiseksi tutkija kokosi laitteistot valmiiksi etukäteen. Lisäksi laitteistojen etukäteistestauksella oli tarkoitus varmistaa koneiden toimintavarmuus kinesteettisten kokeiden aikana. Tähän tavoitteeseen ei päästy, sillä laitteistot toimivat satunnaisesti epävarmasti.

Kinesteettisen kokeen matka- ja nopeuskuvaajia tuottaessa kävelytyyli poikkeaa normaalista kävelystä, sillä kasvot ja vartalon etupuoli ovat koko ajan ultraäänianturiin ja samalla tietokoneen kuvaruudulle päin. Liikkuminen testissä on epänormaali tilanne verrattuna ihmisen liikkumiselle, sillä normaalisti ihminen katsoo koko ajan siihen suuntaan minne on menossa. Mentäessä selkä edellä taaksepäin kasvaa matka anturiin nähden ja kuvaajassa matka kasvaa. Matka puolestaan pienenee, kun kuljetaan kasvot eteenpäin kohti anturia. Superpositiotekniikalla (käytetään esim. hornetin kypärässä) voitaisiin ehkä toteuttaa kuvaajan ja kävelyn luonnollisen yhteyden havainnollistaminen.



Liikettä pitää osata myös ennakoida. Liikkeen suunnan muutos on äkillinen, jos nopeuden kuvaajassa merkki vaihtuu. Kovin nopeat kävelysuunnan muutokset on hankala toteuttaa omalla vartalolla. Testien 1 - 2 kuvaajat ovat liikkeen idealisointeja ja antavat pohjan antoisalle keskustelulle, kun opiskelijoiden kanssa pohditaan, miksi kuvaajien kohdissa, joissa derivaatta ei ole määritelty, opiskelijan tuottaman kuvaajan muoto väkisin pyöristyy.



## 10 Tutkimuksen arviointia

### 10.1 Tutkimustulosten arviointia

Touger ym. (1995) jakavat tutkimuksensa opiskelijoiden vastaukset kolmeen ryhmään; kaavapohjaisiin (formula-driven), intuitiivisiin (intuitive) ja hierarkkisiin (hierarchical). Heidän mukaansa hierarkkiset vastaukset vastaavat näistä kolmesta ryhmästä eniten asiantuntijan antamia selityksiä. Intuitiiviset selitykset ovat luonteeltaan Aristoteleen mekaniikan (default response) mukaisia vastauksia, kun taas kaavapohjainen ja hierarkkinen tapa vastata muistuttaa paremmin fysiikan kursseilla opittua tapaa. Hierarkkinen vastaus vastaa parhaiten asiantuntijan tapaa kuvata asiaa, ja siksi se on asetettava ymmärtämisen kannalta korkeimmalle tasolle. Tässä tutkimuksessa sanallisella matematiikalla annetut vastaukset vastaavat Touger ym. hierarkkisia vastauksia. Kuitenkin tämän ryhmän vastauksiin kinesteettiset kokeet vaikuttivat eniten sekä positiivisesti että negatiivisesti. Myöskään oikeita vastauksia ei ollut yhtä paljon kuin laskuihin perustuvissa vastauksissa. Tämä viittaa siihen, että ainakin merkittävä osa vastauksista tässä ryhmässä kuvaa sitä prosessia, jolla opiskelija yrittää löytää vastauksen kysymykseen. Tämän tutkimuksen mukaan nämä vastaukset osoittavat, että opiskelija on ymmärtänyt reduktion käytön ongelman ratkaisussa.

Myös laskulla vastauksiaan perustelleet hallitsevat reduktion. Oikeita vastauksia on selvästi enemmän kuin sanallisen matematiikan ryhmässä. Tätä eroa ei Touger ym. tutkimuksessa ole. Ero johtunee siitä, että he arvioivat normaalia koetta, kun tässä tutkimuksessa arvioitiin juuri havainnoidun kokeen ymmärtämistä. Tässä tutkimuksessa ei voida sanallisen matematiikan vastauksia asettaa korkeammalle tasolle kuin laskuilla annettuja vastauksia.

Vastauksista noin puolet kuului laskulla ja sanallisella matematiikalla perusteltuun ryhmään. Loput perustelutyyppit vastaavat Touger ym. intuitiivisia vastauksia, joissa selitys on usein kvalitatiivinen, ja joissa pääasiassa käytetään arkielämän ilmaisuja, kuten 'vaikuttaa', 'hidastaa' ja 'ei mene yhtä kauas'. Kinesteettisten kokeiden läheisyys toi selvästi näkyviin omaan kokemukseen perustuvat vastaukset. Tämän ryhmän selkeä olemassaolo kertoo, että kinesteettiset kokeet vaikuttivat opiskelijoihin. Tässä ryhmässä vaikutus jäi tuntemukseksi, joka ei jalostunut eteenpäin, sillä kinestiikalla vastaustaan perustelleet pohjasivat vastauksensa pääsääntöisesti omaan liikkumiseensa tarkasteltavassa kuvaajan kohdassa. Opetuskokeilujen pelkät sanalliset ja kinesteettiset vastaukset olivat kvalitatiivisia luonteeltaan ja niiden käsitteellinen sisältö fysiikan tietorakenteen kannalta oli matala tai olematon.

Graafiseen esitykseen liittyvien fysiikan opetuksen tavoitteiden ja aiheeseen liittyvän kirjallisuuden perusteella lukion opiskelijoiden pitäisi pystyä tulkitsemaan kinematiikan kuvaajia myös kvantitatiivisesti. Tällaisen hierarkkisen vastauksen osaamiseen liittyy reduktion vaatimus (Wilson 2001). Opiskelija joutuu etsimään kuvaajasta kohdan tai muutoksen, joka hänen mielestään osoittaa, että liike tapahtuu kysytyllä tavalla. Ne opiskelijat, jotka käyttävät perusteluissa hyväkseen reduktiota saavat parhaiten oikeita tuloksia. Reduktion vaatimus tulee vahvasti esille fysiikan opetuksen tavoitteissa ja mm. ylioppilaskirjoitusten vaatimustasossa. Lukion opetustraditio, jonka taustalla ovat ylioppilaskirjoitusten voimakkaasti reduktioon ja matemaattisuuteen pohjautuvat tavoitteet, todennäköisesti ohjaa siihen, että opiskelijat

pyrkivät opettelemaan fysiikkaa erityisesti laskujen avulla, koska se takaa aloittelijalle (Feynman 1985) yksinkertaisuutensa ja selkeytensä vuoksi helpoimmin hyvän tuloksen. Vähän alle puolet opetuskokeilujen opiskelijoista pyrki perustelevaan kinesteettisten kokeiden valintaansa kvantitatiivisesti eli laskulla tai sanallisella matematiikalla. Näistä perusteluista on yli 70 prosenttia oikein. Kinesteettisten kokeiden jälkeen noin kolmannes opiskelijoista osaa perustella graafisen esityksen valintaansa fysikaalisesti.

Kinesteettisiin perusteluihin sisältyy hyvin vähän käyrän hahmottamiseen viittaavia vastauksia. Tämän perusteella voidaan päätellä, että tutkimuksen kinesteettiset kokeet eivät riittävästi havainnollista kuvaajan yhteyttä liikkeeseen. Mahdollisesti kinesteettiset kokeet yksinään ovat hyödyllisempiä yksinkertaisemmissa ns. semikvantitatiivisissa kokeissa, kuten tapahtuu kinestiikkavaunuilla Newtonin lakeja havainnollistettaessa tai pyörimisliikkeen voimien hahmottamisessa (Pfister 1995). Tämän tyyppisissä kokeissa kehon kokema kinesteettinen kokemus on hyvin voimakas ja selkeä.

Kinesteettisten vastausten osuus 20 % vastaa kirjallisuudessa (Farwell 2005, Jester 1999) esitettyjen kinesteettisten opiskelijoiden osuutta. Tutkimus ei anna vastausta siihen, ovatko kinestiikalla vastaustaan perustelleet kinesteettisiä oppijoita, koska opiskelijoita ei testattu tutkimuksen aikana oppimistyylien suhteen.

Varmasti tuloksiin olisi saatu yhtä paljon parannusta muillakin graafisten esitysten käsittelytavoilla. Toisaalta opiskelijoiden intuitiiviset ennakkokäsitykset liikkeestä vaikuttavat myös siihen, miten he ajattelevat hypoteettisista tilanteista tai mitä he ajattelevat vuorovaikutuksestaan todellisten kohteiden kanssa. Intuitiivisia ajatuksia on myös vaikeata muuttaa (McCloskey 1983a, Hakkarainen & ym. 1999). Analysoitavat kuvaajat olivat suhteellisen monimutkaisia, ja testeissä piti päätellä esim. aika-kiihtyvyyksikuvaajan perusteella nopeuteen tai matkaan liittyvien suureiden muuttumista tai arvoa. Hyvien tulosten saamiseksi graafisten esitysten kvantitatiiviseen opetukseen tulee kinesteettisten kokeiden tai muiden tietokonelaboratoriotöiden lisäksi liittää kuvaajien monipuolista piirtämistä ja analysointia (Goldberg & Andersson 1989, Thornton & Sokoloff 1990, Beichner 1996).

McDermott ym. (1987) ovat havainneet opiskelijoilla ongelmia yhdistää kuvaajia fysiikan käsitteisiin sekä vaikeuksia yhdistää kuvaajia reaalimaailmaan. Opiskelijoilla on ongelmia päättää, mitkä kuvaajan piirteet vastaavat tiettyä fysikaalista käsitettä. Esimerkiksi suoraan liittyen: Saadaanko kysytty tieto pisteen koordinaateista, kahden pisteen koordinaattien erotuksesta vai suoran kulmakertoimesta? McDermott ym. mukaan opiskelijoilla on vielä suurempia ongelmia hahmottaa kysyttyä suuretta käyrästä kuin suorasta. Sama vaikeus on havaittavissa myös oman tutkimukseni virheellisistä kinesteettisiin kokeisiin liittyvistä perusteluista ja kurssikokeen monivalintatehtävien vastauksista. Opetuskokeilujen opiskelijat valitsivat enemmän oikeita vaihtoehtoja kuin Beichnerin tutkimuksessa. Väärät vaihtoehdot ovat osittain samoja vääriä vaihtoehtoja kuin Beichnerin tutkimuksessa. Näistä esimerkkeinä: Tangentin kulmakertoimen laskemista vaativa graafinen derivointi on suoritettu jakamalla pisteen koordinaatit keskenään, määritetty tangentin kulmakerroin/ kulmakertoimen käänteisluku ruutujen eikä akselien jaotusten avulla. Graafinen integrointi on suoritettu laskemalla suorakulmion pinta-ala tai suoran kulmakerroin

kolmion pinta-alan sijasta. Myös Hakulinen (2000) on havainnut samansuuntaisia opiskelijoiden virhekäsityksiä kuin tässä tutkimuksessa ilmenneet.

Kurssikokeiden graafiseen derivointiin ja integrointiin liittyvistä monivalintatehtävistä opiskelijat ratkaisivat 70 prosenttia oikein. Opiskelijoista noin 16 prosenttia ratkaisi kaikki kahdeksan tehtävää oikein ja korkeintaan kaksi tehtävää osasi ratkaista yhdeksän prosenttia. Kurssikokeen tehtävät olivat Beichnerin (1994) testeissään käyttämiä tehtäviä, joissa oikeiden vastausten prosenttiluvut vaihtelivat 20 - 75 prosenttiin (ka. = 39 %). Näihin tuloksiin verrattuna opiskelijat osasivat ratkaista hyvin graafisiin derivointeihin ja integrointeihin liittyvät tehtävät.

Kurssikokeen tehtävien tyyppisten ylioppilastehtävien pistekeskisarvot asettuvat välille 3,31 - 3,50 (Arminen 1997), mikä vastaa tilannetta, jossa opiskelijat osaavat tehtävistä reilusti yli puolet, mutta selvästi alle 70 prosenttia. Kurssin lopussa opiskelijat ovat saavuttaneet tason, joka on valtakunnallista tasoa korkeampi.

Kurssin aikana kinematiikan graafisia esityksiä käsiteltiin kinesteettisten kokeiden lisäksi monipuolisesti analyytisilläkin menetelmillä. Lisäksi graafisen esityksen tulkintaa tapahtui myös muiden mekaniikan aihealueiden opiskelun yhteydessä. Tulosten parantuminen viittaa siihen, että kinesteettiset kokeet yhdessä muiden opetusmuotojen kanssa antavat hyvän tuloksen. Beichnerin (1994) mukaan se ei onnistu yksin traditionaalisella menetelmällä.

Hakulinen toteaa Beichnerista (1994) poiketen, että käytännön kokeilla ja konkreettisesti suoritetuista töistä ei seuraa parempaa kinematiikan käsitteiden ymmärrystä. Perusteluna hän esittää Piaget'n käsityksen, jonka mukaan konkreettiset tilanteet rajoittavat ajattelun konkreettisia tilanteita koskeviksi. Opiskelijat eivät pysty siirtämään konkreettisesta tilanteesta samaansa tietoa samansisältöisiin abstraktimpiin tehtäviin. Tämä tutkimus viittaa siihen, että kokeilla on vaikutusta jälkeensä, joten Beichnerin tulkinta monipuolisesta käsittelystä on oikeampi. Hakulinen esittää myös, että laitteiden käyttö hidastaa opetusta. Mielestäni laitteiden käyttö ei vaadi nykyopiskelijoilta suurta keskittymistä, sillä he ovat tottuneita käsittelemään tietokoneiden ohjelmia. Lisäksi mittausohjelman käyttäjäystävällinen käyttöliittymä osaa asettaa optimaaliset asetukset sekä mittalaitteelle että käyrien tarkasteluun kuvaruudulla.

Ulkona ilman tietokonetta tehty kinesteettinen koe onnistui hyvin 8 - 9 hengen ryhmissä. Tietokoneella tehtäviin kinesteettisiin kokeisiin suunniteltu 20 minuutin aika riitti hyvin 2 - 4 hengen ryhmille. Koulussamme käytössä olleet ultraäänianturit ja kiihtyvyyssanturit olivat helppokäyttöisiä ja siten soveltuivat hyvin kinesteettisissä kokeissa käytettäväksi. Opiskelijoilla ei ollut ongelmia löytää ohjeen mukaisia tiedostoja englanninkielisestä mittausohjelmasta. Myös mittausohjelman käyttö oli luontevaa. Opettajan ohjausta tarvittiin kiihtyvyyssuvaajan akselien muokkaamisessa ja uuden muuttujan määrittelyssä, vaikka opiskelijoilla oli ohje.

Opiskeluilmapiiri oli myönteinen, sillä opiskelijoilla oli hauskaa kinesteettisiä kokeita tehdessään. Thorntonin ja Sokoloffin (1990) tutkimuksissa osoittautui, että tietokonelaboratoriot lisäsivät opiskelijoiden kiinnostusta, mikä oli myös näissä opetuskokeiluissa havaittavissa. Opiskelijat työskentelivät pääsääntöisesti tiiviisti yhdessä auttaessaan toisiaan sekä liikkumisessa että tietokoneen käytössä. Opiskelijat

joutuivat tuottamaan tietokoneen avulla oman kehonsa liikkeen avulla mallikuvaajan mukaisen kuvaajan tietokoneen kuvaruudulle. Heidän tuottamansa kuvaajat olivat samantyyppisiä kuin esim. Thorntonin ja Sokoloffin (1990) julkaisussa. He käyttivät kuvaajaan liittyviä käsitteitä tehdessään kinesteettisiä harjoituksia. Kolmannessa opetuskokeilussa ensimmäisen testin yhteydessä opiskelijat joutuivat myös piirtämään oman liikkeensä mittaustuloksista kuvaajan käsin koordinaatistoon.

Opiskelijat tutustuivat tietokoneeseen liitettävien ultraääni- ja kiihtyvyyssanturien toimintaan käytännössä. Vaikka opiskelijat eivät suuremmissa ryhmissä saaneet koota mittaustuloksia alusta asti, niin lähes kaikki saivat opetella jossain vaiheessa käyttämään mittaushjelmaa ja sen työkaluja eli käynnistämään ja tallentamaan mittauksia, muuttamaan akseleita, kalibroimaan kiihtyvyyssanturin, määrittelemään uuden muuttujan mittaushjelman työkaluilla. He joutuivat myös tulostamaan tietokoneella tuotetun liikkeensä kuvaajan tekstinkäsittelyohjelman kautta verkkotulostimelle.

Ongelmia esiintyi tietokoneiden toimivuudessa, sillä muutamassa koneessa ei saatu Vernier-mittaushjelmaa käynnistymään heti mittaustapahtuman alussa, vaan opettaja joutui käynnistämään ne uudelleen. Myös yksi tietokone piti vaihtaa toiseen. Käyttämämme tietokoneet olivat yli neljä vuotta vanhoja. Koneiden muisti oli liian pieni ohjelmille, joita niissä piti pyörittää. Koneiden ohjelmiston kaatuminen käynnistyksen yhteydessä oli satunnaista, joten koneiden etukäteistestaus ei auttanut lisäämään koneiden toimintavarmuutta.

## **10.2 Tutkimuksen luotettavuuden arviointia**

### **Tutkimusmenetelmän luotettavuuden arviointi**

Tutkimuksen tehtävänä oli selvittää monivalintatehtävien avulla, kuinka hyvin opiskelijat osaavat tulkita graafisia esityksiä, tutkia kinesteettisten kokeiden vaikutusta tulkintaan ja tutkia kuinka käytetyt laitteistot sopivat kouluun.

Käyttöön valitun pre-post-analyysimenetelmän avulla voitiin mitata kinesteettisten kokeiden välitöntä vaikutusta oppimiseen. Menetelmä jättää pois mahdollisen hautumisen vaikutuksen oppimiseen. Sulattelun vaikutusta olisi muutenkin vaikea mitata, koska opetus etenee jatkuvasti. Loppukokeen monivalintatehtävien avulla saatiin tietoa opiskelijoiden tasosta tulkita kinematiikan kuvaajia kurssin loputtua.

Menetelmä sopi tutkimukseen hyvin. Avoimien perustelujen avulla sai käsityksen opiskelijoiden fysikaalisen osaamisen tasosta. Perusteluja verrattiin valtakunnallisten kokeiden arvosteluskaalaan. Avointen perustelujen ongelmana on, jos opiskelija ei ole osannut ilmaista itseään oikein. Tätä mahdollisuutta on tarkasteltu luvun 10 kohdassa tulkinnan luotettavuuden arviointi. Heikkotasoinen jotenkin ymmärrettävästi kysymykseen liittyvä ilmaisu ei kuitenkaan riittänyt täyttämään opetukselle asetettuja tavoitteita, joten perustelu ohjautui automaattisesti oikeaan luokkaan, eikä siten vaikuttanut tutkimuksen tuloksiin. Toisaalta aloittelija voi käyttää samoja sanoja kuin kokenutkin fysiikan opiskelija, mutta tarkoittaa joitain aivan eri asiaa (Touger & ym. 1995).

Ihmistesteissä tulisi pyrkiä käyttämään ns. kaksoissokkoetta, jossa sekä tutkittava että avustava tutkija eivät tiedä kokeen tarkoitusta (Armitage & Berry 1971). Oppilaiden kannalta periaate toteutui, koska heille ei kerrottu minkälaisia perusteluja heiltä haluttiin. Kaksi kokeeseen osallistunutta opettajaa ei voinut tiedostamattaan vaikuttaa tuloksiin, koska he eivät olleet suunnittelemassa koetta. Kolmas opetuskokeilu toteutettiin kokonaan tutkijan omassa opetuksessa, jolloin hän on voinut tiedostamattaan vaikuttaa oikeaan suuntaan. Hänen tuloksensa kinestiikan vaikutuksesta monivalintatehtäviin ja tuloksensa loppukokeen tehtävässä olivat samansuuntaisia muiden opettajien kanssa. Kinesteettisten perustelujen vähäisempi määrä ja matemaattisten perustelujen suurempi määrä kuin muilla opettajilla saattaa selittyä sillä, että hän oli opettanut opiskelijoille myös matematiikkaa. Hänellä on myös taipumus lähestyä opetettavaa asiaa deduktiivisesti (Levävaara 1997).

Kinesteettisen kokeen aikana opiskelija sai liikkeestään palautteen näköaistin välityksellä. Liikkeen suorituksen aikana tilatietoa saadaan näön, tasapainoelimen, asentoaistin ja jalkapohjien painereseptoreiden avulla (Ahonen ym. 2004, Toppila & Pyykkö 2000). Reseptorien hierarkia riippuu olosuhteista ja tilanteesta (Pyykkö & ym. 2000). Muuttuminen on nopeaa eikä normaalisti aiheuta ongelmia tasapainon hallinnalle. Kinesteettisen kokeen aikana näköaisti oli varattu kognitiivisen tehtävän suorittamiselle. Tällaiset varaukset muuttavat tasapainon hallintaa (Tossavainen & ym. 2005). Nuorilla ihmisillä säätelystrategian muutos toimii hyvin. Voidaan olettaa, että liikkeen seuraaminen kuvaruudulta ei vaatinut niin suurta keskittymistä, että sen takia olisi menetetty mahdollisuus havaita oleellisia asioita, kuten liikkuminen eteen- tai taaksepäin, kinesteettisessä kokeessa. Toisaalta ajatustoiminnan kohdistuminen graafisen esityksen syntyyn kuvaruudulla on todennäköisesti vähentänyt kykyä rekisteröidä kehon lihastuntemuksia liikkeen aikana.

### **Tulkinnan luotettavuuden arviointia**

Ensimmäisen opetuskokeilun yhteydessä pohdittiin, että voiko vastausten tulkinnan luotettavuutta lisätä haastattelemalla opiskelijoita vastauslomakkeen pohjalta (Taulukko 10-1.). Tutkija haastatteli kahta opiskelijaa. Opiskelijoilla oli ollut jo kurssikoe. Keskustelun pohjalta jäi vahva tuntuma, että omaa tekstiä tulkittiin parempien tietojen ja ymmärryksen valossa, kuin mitä opiskelijalla oli ollut kirjoittaessaan perustelua testilomakkeelle kinesteettisten kokeiden yhteydessä. Opiskelijan H haastattelu pidettiin vasta monta viikkoa kurssin loputtua, joten hän ei muistanut tulkintojensa perusteita.

Tämän haastattelukokeilun perusteella tutkija tuli siihen johtopäätökseen, että tarkentavat haastattelut tulee tehdä heti kinesteettisen kokeen jälkeen, kun testilomakkeen loppuosa on täytetty. Erittäin oleellista on, että haastattelut tehdään ennen kuin opiskelijat pääsevät keskustelemaan vastauksista keskenään. Keskustelut muiden opiskelijoiden kanssa sekä opetuksen eteneminen, testien käsittely tunnilla väistämättä vaikuttavat opiskelijan käsityksiin kuvaajasta ja omista vastauksistaan. Haastattelut pitää suorittaa myös haastattelijan suhteen kaksoissokkokokeen periaatteella. Tällöin tutkija itse ei suorita haastatteluja eikä siten pääse tahattomasti ohjaamaan opiskelijoiden vastauksia toivottuun suuntaan.

Seuraavien opetuskokeilujen yhteydessä ei haastatteluja tehty, koska koulun kiireisen rytmien vuoksi, 15 minuuttia aikaa tyhjentää luokka edellisen tunnin välineistä ja siirtyä seuraavaan tilaan, tekee oman opetuksensa tutkijalle asiallisen haastattelun järjestämisen mahdottomaksi. Myös opiskelijoilla olisi vaara myöhästyä seuraavalta tunnilta.

**Taulukko 10-1. Kysymykset, joiden avulla pyrittiin varmentamaan, onko opiskelijoiden vastaukset tulkittu oikein. Vastausvaihtoehto ovat lihavoitu, jos opiskelijan tulkinta vastauksesta oli samanlainen kuin tutkijan.**

Testi	Opiskelija ja opiskelijalle tehty kysymys	Kyllä	Ei
Testi 1			
Kysymys 1			
Kysymys 2			
Kysymys 3	A: Tarkoitatko, että et huomannut, että liikkeelle lähdettiin kohdasta 1,0 m?	<b>x</b>	
Testi 2			
Kuva 1			
Kysymys 1	A: a) Tarkoitatko tasaisen nopealla kiihtyvyydellä vakiokiihtyvyyttä eli kiihtyvyyttä joka ei muutu? b) Tarkoitatko tasaisen nopealla kiihtyvyydellä kiihtyvyyttä joka kasvaa tasaisesti eli suurenee jokaisena aikavälinä yhtä paljon? c) Tarkoitatko tasaisen nopealla kiihtyvyydellä tasaista liikettä, jossa nopeus on vakio eli ei muutu? H: Tarkoitatko, että kyseisillä aikaväleillä ollut pysähdyksissä olo pienentää nopeutta tietyllä aikavälillä? Opiskelijan H tarkennus: Koska aikavälillä liikutaan eniten.	c)	a) b)
		<b>x</b>	
Kysymys 2			
Kysymys 3			
Testi 2			
Kuva 2			
Kysymys 1	A: a) Tarkoitatko negatiivisella kiihtyvyydellä nopeuden suunnan muutosta? Opiskelijan A tarkennus: Nopeus hidastuu 7 sekunnin kohdalla A: b) Viittasitko kinesteettiseen kokeeseen vastauksessasi?	x	<b>x</b>
Kysymys 2	A: Viittasitko kinesteettiseen kokeeseen vastauksessasi? H: Viittasitko kinesteettiseen kokeeseen vastauksessasi?	<b>x</b>	ei muista
Kysymys 3			
Testi 3			
Kysymys 1	A: Tarkoitatko kuvaajan jyrkästi laskevaa osaa 0,51 sekunnin ympärillä, jolloin kulmakerroin on negatiivinen? Opiskelijan tarkennus: Tarkoittaa arvoa. H: Kirjoitit, että kiihtyvyys kasvaa nopeasti. Tarkoitatko kiihtyvyyden arvojen nopeaa muuttumista ajanhetken $t = 0,45$ s ympärillä? b) Tarkoitatko kiihtyvyyden lukuarvoa ajanhetkellä $t = 0,45$ s?		<b>x</b>
		ei muista	
Kysymys 2	A: Vahvistiko kinesteettinen mittaus, että kohdassa 1,2 sekuntia käsi oli palaamassa takaisin lähtöpistettä kohti?	<b>x</b>	
Kysymys 3	A: a) Ajattelitko suurinta negatiivista kiihtyvyyden arvoa, joka mielestäsi olisi vastaus kysymykseen? b) Ajattelitko käyrän nopeaa kulkua alas ja ylöspäin kohdan $t = 0,55$ s ympärillä, kun kiihtyvyys oli negatiivinen?	a)	

Testeihin 1 – 3 opiskelijat vastasivat tutkijan valvonnassa, samoin koetilanteessa pidettyyn Testiin 4 jokainen opiskelija vastasi valvotussa koetilanteessa. Tutkimusmateriaalin voi sanoa sisältävän vain opiskelijoiden omia vastauksia. Opiskelijoiden vastaukset kirjoitettiin tietokoneella auki. Tapauksissa, joissa oli ongelmia lukea opiskelijan käsialaa, pyydettiin opiskelijaa lukemaan vastaus. Selvennystä vaativia vastauksen kohtia oli muutama.

Kinesteettisten kokeiden jälkeen tutkija kirjoitti tunnin tapahtumat muistiin samana päivänä, jolloin tapahtumat ja töiden sujuminen oli vielä hyvässä muistissa. Tutkija piti myös tarkkaa kirjaa koko opetuksen etenemisestä viimeisessä opetuskokeilussa. Muiden opetuskokeilujen kestäessä tutkija oli läsnä vain kinesteettisten kokeiden aikana ja yhdellä toisen opetuskokeilun muulla tunnilla, jolloin käsiteltiin matkan ja paikan vektoriluonnetta.

## 11 Tutkimusongelmien vastaukset

### 1. Miten omakohtainen kokemus vaikuttaa graafisen esityksen tulkintaprosessiin?

#### Tutkimustulos:

Kinesteettisten kokeiden antama omakohtainen kokemus vaikutti välittömästi niihin opiskelijoihin, joilla oli käsitys siitä miten kuvaajaa pitäisi tulkita. Nämä opiskelijat yrittivät päätyä oikeaan vastaukseen fyysikaalisen prosessin kautta, vaikka eivät siinä välttämättä onnistuneet. Lisäksi viidenneksellä opiskelijoista oli kinesteettinen kokemus päällimmäisenä, kun heitä pyydettiin perustelevaan vastauksiaan. Kun kinesteettisten kokeiden lisäksi liikettä oli käsitelty muillakin tavoilla, opiskelijat osasivat tulkita kuvaajia hyvin. Tämä viittaa siihen, että kinesteettisistä kokemuksista oli hyötyä. Kokemuksen antamaa hyötyä tutkimusasetelma ei pysty todistamaan, mutta se pitää yhtä muiden tutkimusten tulosten kanssa.

### 2. Mikä on fyysikaalisen ajattelumallin osuus graafisen esityksen tulkinnasta?

#### 2.1 Millaisen prosessin kautta oppilaat hahmottavat graafisen esityksen?

#### Tutkimustulos:

Lähes puolet opiskelijoista pyrki tulkitsemaan kuvaajia oikeaoppisesti reduktiivisen ajattelun kautta. Enemmistö reduktioon pohjautuvista tulkinnoista oli luonteeltaan hierarkkisia ja loput kaavapohjaisia. Hierarkkistyyppisissä perusteluissa oli enemmän vääriä perusteluja kuin kaavapohjaisissa. Reilu kolmannes opiskelijoista pyrki selittämään kuvaajaa kvalitatiivisesti joko pelkällä sanallisella kuvailulla tai kinesteettisen kokeen antamalla kokemuksella. Kvalitatiiviset tulkinnat olivat intuitiivisia luonteeltaan, niiden käsitteellinen taso oli matala ja väärien tulkintojen määrä oli tässä vastaustyyppissä suurin.

#### 2.2 Kuinka hyvin opiskelijat hallitsevat periaatetasolla fysiikan opetuksen tavoitteet graafisen esityksen osalta?

#### Tutkimustulos:

Kinesteettisten kokeiden jälkeen suurin osa graafisen esityksen perusteluista ei ollut oikein eikä fyysikaalisia. Mekaniikan kurssin aikana kuvaajia kuitenkin tulkittiin monipuolisesti, sekä kvalitatiivisesti että kvantitatiivisesti. Loppukokeen monivalintakysymysten vastausten perusteella suurin osa opiskelijoista oli kurssin lopussa saavuttanut valtakunnallisesti korkean tason tulkita reduktiota vaativia kinematiikan graafisia esityksiä.



### 3. Kuinka kinesteettiset kokeet soveltuvat kouluun?

#### 3.1 *Kuinka olemassa olevat laitteet ja ohjelmat soveltuvat kinesteettisiin kokeisiin?*

##### Tutkimustulos:

Opiskelijoiden kannalta mittausohjelmisto ja valmiiksi kootut laitteistot sopivat hyvin kinesteettisten kokeiden tekemiseen. Tietokoneohjelman käyttöliittymä osoittautui helppokäyttöiseksi ja anturit toimivat luotettavasti. Opiskelijat tekivät mielellään ryhmissä laitteiden avulla kinesteettisiä harjoituksia.

Mittauslaitteistojen teknisen toimivuuden kannalta havaittiin joitakin vaatimuksia ja ongelmia: Laitteiden toiminta vaati verkkovirtaa. Tietokoneiden muisti osoittautui mittausohjelman toimintavarmuuden kannalta liian pieneksi. Langaton verkko osoittautui hyväksi kuvaajien tulostukseen. Ultraäänianturien käyttö vaati paljon tilaa, mutta ne toimivat hyvin koulun käytävällä. Mittauslaitteistojen toiminnan varmistamiseen (kokoamiseen, testaamiseen ja purkamiseen) kului opettajalta paljon aikaa oppituntien ulkopuolella.

#### 3.2 *Mitkä ovat saavutetut hyödyt?*

##### Tutkimustulos:

Kinesteettisten kokeiden yhdistäminen kuvaajien muuhun monipuoliseen ja analyttiseen tulkintaan auttoi suurinta osaa opiskelijoita saavuttamaan valtakunnallista tasoa ylittävät taidot tulkita kvantitatiivisesti kuvaajia. Lisäksi opiskelijat tutustuivat reaaliaikaiseen tietokonemittauksen tekniikkaan. Välittömät hyödyt olivat vähäiset, mutta opetuskokonaisuuden osana ne tekivät opetuksesta kiinnostavamman ja monipuolisemman.

## 12 Yhteenveto

Kinesteettiset kokeet vaikuttivat eniten opiskelijoihin, jotka pyrkivät reduktion kautta vastaamaan kysymyksiin. Lisäksi osalle opiskelijoista tuli kinestiikan avulla tuntuma liikkeen ja graafisen esityksen välisestä yhteydestä, vaikka he eivät osanneet vastata kysymyksiin oikein. Kurssin loputtua opiskelijoiden osaamisen taso oli erittäin hyvä, osittain kinesteettisten kokeiden antaman tuntemuksen takia. Kinesteettisten kokeiden välitöntä vaikutusta sen sijaan oli mahdotonta osoittaa. Laitteet ja ohjelmisto sopivat hyvin kinesteettisten kokeiden tekemiseen, sillä tietokoneohjelman käyttöliittymä oli helppokäyttöinen ja opiskelijat tekivät laitteiden avulla mielellään annettuja kinesteettisiä kokeita. Tämä tutkimus osaltaan vahvistaa käsitystä, että monipuolinen opetus antaa parhaat tulokset.

## Kirjallisuus

Ahonen, T. & Siiskonen, T. & Aro, T. (toim.) (2004) Sanat sekaisin, PS-kustannus, WS Bookwell Oy, Juva, s. 180, 186.

Arminen, E. (1997) Kevään 1997 yo-kirjoitusten fysiikan koe. Dimensio 6/97, s. 51, 55.

Arminen, E. (2003) kevään 2003 ylioppilaskirjoitusten fysiikan koe, Dimensio 6/03, s. 48 -49.

Armitage, P. & Berry G. (1971) Statistical Methods in Medical Research, Blackwell Scientific Publications, s. 176 - 177.

Beichner, R. J. (1994) Testing student interpretation of kinematics graphs, Am. J. Phys. 62(8), August 1994, s. 750 - 762.

Beichner, R. J. (1996) The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills, Am. J. Phys. 64, No10, October 1996, s. 1272 – 1277.

Bell, E. T. (1963) Matematiikan miehiä, suomentanut Helka ja Klaus Vala, WSOY, Porvoo 1963, s. 37 -57.

Bernhard K. & Bernhard J. (2000) [www.itn.liu.se/~jonbe/fou/didaktik/papers/wheelchair.pdf](http://www.itn.liu.se/~jonbe/fou/didaktik/papers/wheelchair.pdf). Luettu 11.1.2005.

Bryman, A. & Cramer, D. (2005) Quantitative Data Analysis with SPSS 12 and 13, A Guide for Social Scientists, Routledge, Taylor & Francis Group, LONDON AND NEW YORK, 2005, s. 72, 146, 169 - 171.

Champagne, A. B. & Klopfer, L. E. & Anderson, J. H. (1980) Factors influencing the learning on classical mechanics, Am. J. Phys. 48 (12), Dec. 1980, s. 1074 - 1078.

Cohen, L. & Manion, L. (1994) Research Methods in Education, Fourth Edition, Routledge 1994.

Cooper, R. & Robertson, R. Ph.D. (2002) WHEELCHAIR PROPULSION MECHANICS, [www.sportsci.org/encyc/drafts/Wheelchair\\_biomech.doc](http://www.sportsci.org/encyc/drafts/Wheelchair_biomech.doc) Luettu 11.1.2005.

Euler, M. & Braune, G. & Schaal, S. & Zollman, D. (2000) Collecting Kinematics Data Over Long Time Intervals, The Physics Teacher, Vol. 38 Oct. 2000, s. 434 - 436.

Farwell, T. (2005) Visual, Auditory, Kinesthetic: Which is your Child? [familyeducation.com/article/0,1120,3-605,00.html](http://familyeducation.com/article/0,1120,3-605,00.html) - 35k, Luettu 10.2.2005

Feynman, R. (1985) Laskette varmaankin leikkiä, Mr. Feynman! WSOY:n graafiset laitokset, Jurva, s. 83 - 84, 267.

Freese, R. & Johansson, L. & Mäkelä, A. & Ollilainen, V.-M. (1999) Raportti tyylitiimin projektista 1999, JUONTO - MAATALOUS-METSÄTIETEELLISEN TIEDEKUNNAN OPETUKSEN KEHITTÄMISHANKE 1998 - 2002, [honeybee.helsinki.fi/juonto/tyylit.html](http://honeybee.helsinki.fi/juonto/tyylit.html) - 54k Luettu 7.2.2005

Goldberg, F. M. & Anderson, J. H. (1989) Student Difficulties with Graphical Representations of Negative Values of Velocity, The Physics Teacher, Number 4, Volume 27, April 1989, s.254 - 260.

Griss, S. (1994) Creative Movement: A Language for Learning, Educational Leadership, s. 78 - 80.

Hakkarainen, K. & Lonka, K. & Lipponen, L. (1999) Tutkiva oppiminen, Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen. WSOY, s. 77-78, 90, 94, 96, 99-100.

Hakulinen, H. (2000) Kinematiikan käsitteiden opettamisesta tietokoneavusteisella mittauslaitteistolla, Lisensiaatintutkielma, Helmikuu 2000, Joensuun yliopisto, Fysiikan laitos.

Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985) Common sense concepts about motion, Am. J. Phys. 53 (11), November, 1985

Helsingin normaalilyseon lukion opetussuunnitelma, versio 8.5.2000, s.20 - 30.

Hestenes, D. & Wells, M. & Swackhamer, G. (1992) Force Concept Inventory, The Physics Teacher, VOL. 30, MARCH 1992, s. 141 - 151.

Heuvelen, A. (1997) Active Physics 1, Workbook, Version 1.1, Addison Wesley Interactive & Alan Van Heuvelen, 1997.

[http://solmu.math.helsinki.fi/2000/mathist/html/kreikk\\_a/](http://solmu.math.helsinki.fi/2000/mathist/html/kreikk_a/) Luettu 16.5.2005

Jester, C. (1999) A Learning Style Survey for College, 1999, [www.metamath.com/lweb/dvclearn.htm](http://www.metamath.com/lweb/dvclearn.htm) - 8k Luettu 10.2.2005

Karttunen, H. (1998) Vanhin tiede, tähtitiedettä kivikaudesta kuulentoihin, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1998, s. 93

Kurki-Suonio, K. ja R. (1994) Fysiikan merkitykset ja rakenteet, Limes, s. 164, 191, 210, 254.

Kunnas, E. & Ahtee, M. (1991) Oppilaiden omat liikuntasuoritukset lähtökohtana peruskoulun fysiikan opetuksessa, Dimensio 5/91, s. 35 - 37.

Koestler, A. (1961) Veden jakajalla, WSOY, Porvoo, 1961, s. 196 - 197.

Laurikainen, K. V. (1973) Atomistiikan aatemaailma, WSOY, Porvoo, 1973, s. 39 - 47.

Laine, A. & Ruishalme, O. & Salervo, P. & Sive'n, T. & Välimäki, P. (2002) Opi ja ohjaa sosiaali- ja terveysalalla, WS Bookwell Oy, Porvoo 2002, 119, 121-129

Lavonen, J. & Meisalo, V. (1997) Luonnontieteiden opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio, Opettajankoulutuslaitos, LUONTI - projekti, Helsingin yliopisto, s.67.

Landau, L. D. & Kitaigorodski, A. I. (1985) Fysikaaliset kappaleet, suomentanut Timo Koste, Kustannusliike MIR, Moskova 1985, s. 43 - 54.

Lavonen, J. (1999) Luonnontieteiden opetus ja reaalikoe, Fysiikan ryhmä, 1999 Ylioppilastutkintolautakunta, Fysiikan jaos, s. 5 - 7.

Lehtinen, M. (2001) Matematiikan historian luentoja, Helsingin yliopisto, [matwww.ee.tut.fi/~eturunen/historia\\_02.pdf](http://matwww.ee.tut.fi/~eturunen/historia_02.pdf), s. 19. Luettu 16.5.2005.

Levävaara, H. (1997) Opettajan ja oppilaan käsitysten kohtaaminen, Avoin tutkimus peruskoulun valo-opin opetuksessa, Tutkimuksia 174, Yliopistopaino 1997

Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994, Opetushallitus, Helsinki. Painatuskeskus s.77 -79.

McCloskey, M. (1983a) Intuitive Physics, Scientific American, 248(4), 114 - 122.

McDermott, L. C. & Rosenquist, M. L. & van Zee, E. H. (1987) Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics, Am. J. Phys. 55 (6), June 1987.

Meisalo, V. & Lavonen, J. (1994) Fysiikka ja kemia opetussuunnitelmassa. Opetushallitus, numero 10. s.11, 45- 46, 63, 85, 93 ja 103.

Munro, B. H. (2005) Statistical Methods for Health Care Research, Fifth Edition, LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, 2005, s. 123 - 126.

- Nurmela, M. & Ahtee, M. (1998) Reaalikokeen fysiikan kokeellisten tehtävien tarkastelua. *Dimensio* 4/98, s. 39 - 43.
- Pfister, H. (1995) Instruction Manual and Experiment Guide for the SE-8747, Kinesthetics Chart, KINESTHESIA-1, A One-Dimensional Kinesthetic Apparatus to Teach Mechanics, Dickinson College.
- Pfister, H. (1996) Instruction Manual and Experiment Guide for the SE-8746, 2-D KINESTHETICS CHART, A Kinesthetic Apparatus to Teach Mechanics of Circular Motion, Trajectory Motion, and Other 2-D Motion, Dickinson College, Carlisle, PA.
- Parviainen, P. (2004) LUMA-tavoitteet edelleen voimassa. *Dimensio* 6/2006, s.3.
- Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 1994, Opetushallitus, s. 85.
- Prause, G. (1969) Historian harhaluuloja ja totena esitettyjä taruja, WSOY, Porvoo, 1969, s. 153 - 170.
- Pyykkö, I. & Toppila, E. & Aalto, H. & Ishizaki, H. & Kentala, E. & Hirvonen, T. & Honkavaara, P. (2000) Determination of Parameters for Computing Postural Stability, *Automedicus*, 2000, Vol 19, s. 39 -62.
- Rantanen, J. (2004) Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen tutkimuksen rakenneselvitys, Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2004:36, s. 10.
- Russell, B. (1976) Länsimaisen filosofian historia I, WSOY, Porvoo 1967, s. 90, 301-308.
- Salmelin, R. (1997) Graphical representation of statistical results in medical research. *Acta Universitatis Tamperensis* 551, Tampere 1997, Väitökset <index.html> Tampereen yliopiston tiedotus <./index.html> Tampereen yliopisto <<http://www.uta.fi>> Luettu 1.2.2005.
- Seppälä, R. (1997) Opetushallituksen LUMA-hankkeesta ja arviointiprojektista. *Dimensio* 61 (4), s. 4, 6.
- Sokoloff, D. & Thornton, R. & Laws, P. (1999) Real Time Physics, Active learning Laboratories, Module 1: Mechanics, Wiley& Sons, Inc., s. 24.
- Sorbel, Dava (2000) Galileon Tytär, Suomentanut Juhani Lindholm, Otavan Kirjapaino Oy, s. 167 - 168.
- Taskutietojähti (1984), Gummerus Oy, Jyväskylä 1984. s. 740, 930.
- [theory.physics.helsinki.fi/~mek/Mek\\_04\\_web\\_3.pdf](http://theory.physics.helsinki.fi/~mek/Mek_04_web_3.pdf), Lagrangen mekaniikkaa Luettu 16.5.2005
- Thornton, R. & Sokoloff, D. (1990) Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools, *Am. J. Phys.* Vol. 58, No 9, September 1990, s. 858 - 867.
- Tiuri, M. (2004, a) Teknillinen korkeakoulu häntäpäässä Euroopassa. Tekniikka ja talous, mielipidepalsta 5.2.2004 [http://www.tekniikkatalous.fi/doc.ot?d\\_id=109771](http://www.tekniikkatalous.fi/doc.ot?d_id=109771) Luettu 29.12.2004.
- Tiuri, M. (2004, b) Yliopistot saatava kuopasta. Helsingin Sanomat, mielipidepalsta 29.12.2004.
- Toppila, E. & Pyykkö, I (2000) Chaotic Model of Postural Stability - A Position and Velocity Dependent System?, *Automedica*, 2000, Vol. s. 115 - 143.
- Tossavainen, T. & Toppila, E. & Pyykkö, I. & Forsman, P. & Juhola, M. & Starck, J. (2005) Virtual Reality in Posturography, Tarjottu julkaistavaksi 2005 lehteen *Computational Medicine*.
- Touger, J. S. & Dufresne, R. J. & Gerace, W. J. & Hardiman, P. T. & Mestre, J. P. (1995) How novice physics students deal with explanations, *INT. J. SCI. EDUC.*, 1995, VOL. 17, NO. 2, s. 225 - 269.

Wilson, E. O. (2001) Konsilienssi, Tiedon yhtenäisyys, suom. Kimmo Pietiläinen, Hakapaino, Helsinki 2001, s. 37.

<http://koti.mbnet.fi/tjamtjam/stuff/mae1.pdf> Luettu 16.5.2005 Zenonin paradokseista.

## **Liitteet**

Liite 1	Testi 1: Työohje, kuvaaja ja testilomake
Liite 2	Testi 2: Työohje, kuvaajat ja testilomakkeet
Liite 3	Testi 3: Työohje, kuvaaja ja testilomake
Liite 4	Testi 4: Kurssikokeen monivalintatehtävät
Liite 5	Opetuskokeilut 1 - 3: Sisällöstä ja toteutuksesta
Liite 6	Kinesteettinen liikkumistesti
Liite 7	Opetuskokeilu 1: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien valinnat
Liite 8	Opetuskokeilu 2: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien valinnat
Liite 9	Opetuskokeilu 3: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien valinnat
Liite 10 - 13	Opetuskokeilu 1: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien perustelut
Liite 14 - 17	Opetuskokeilu 2: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien perustelut
Liite 18 - 21	Opetuskokeilu 3: Testien 1 - 3 monivalintatehtävien perustelut
Liite 22	Opetuskokeilut 1 - 3: Testin 4 monivalintatehtävien valinnat
Liite 23	Testin 4 monivalintatehtävien analyysi
Liite 24	Tilastollisista testeistä

Testi 1.

Toinen opetuskokeilu 15.4.03

1. Kirjoita koko nimesi testilomakkeeseen. Valitse rengastamalla testimonisteen kolmeen ensimmäiseen kysymykseen annetun kuvaajan perusteella mielestäsi oikea vastaus.
2. Kootaan annetuista välineistä mittauslaitteisto.  
Välineet: tietokone, ultraäänianturi, Vernier Labro TM tiedonkeruuyksikkö, kaapeleita ja sähköjohtoja
3. **Kinesteettiset harjoitukset.** Aikaa 20 minuuttia. Laitteisto viedään vaunuilla koulun ala-aulaan, jossa käynnistetään Logger Pro (2.1.1) - nimisen mittausohjelman kinestiikkakokeiden suorittamista varten. Kuvaajia harjoitellaan ryhmissä listan mukaisessa järjestyksessä niin kauan kuin aikaa riittää. Tehtävien kuvaajat löytyivät osoitteista:

**Experiments**

Physics with Computers

Exp 01 Graph Matching

*Exp 01b Distance Match One*

*Exp 01c Distance Match Two*

Probes & Sensors

Motion Detector

*Distance Match 2*

*Distance Match 3*

Real Time Physics

Mechanics

Dual-Range Force Sensor

*Position Match*

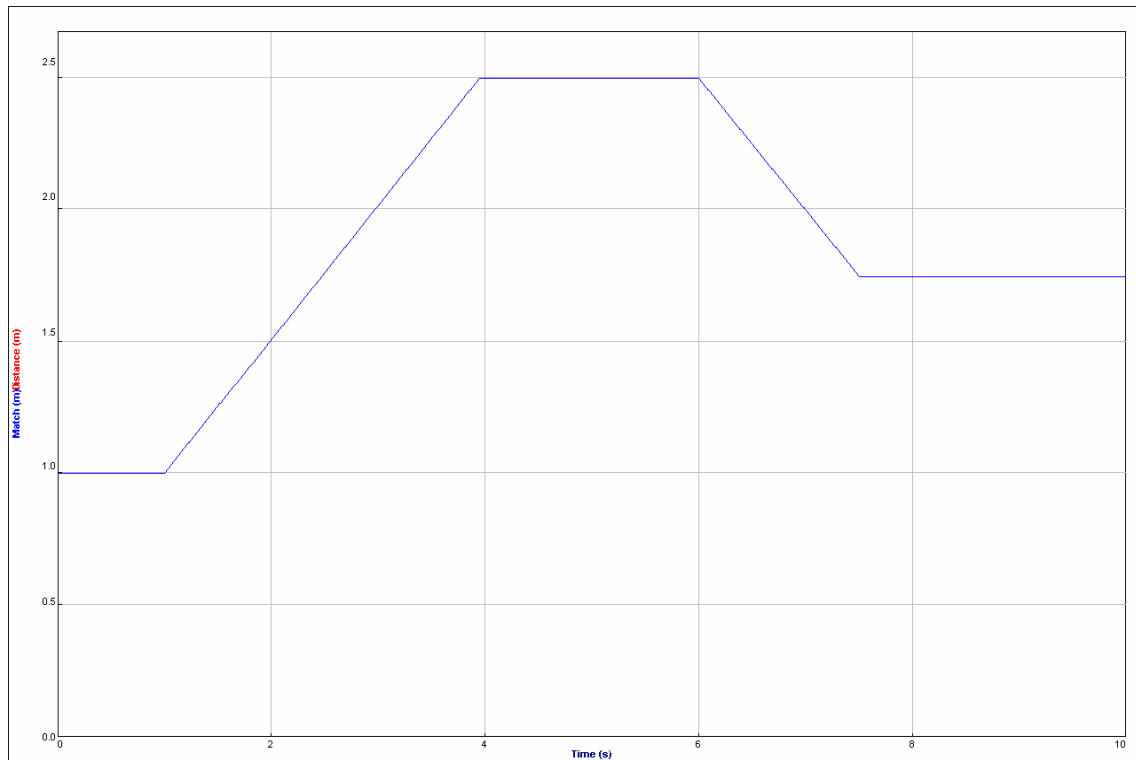
ULI Force Probe

*Position Match*

4. Kuva kopioidaan Word-ohjelmaan ja siihen kirjoitetaan testihenkilön koko nimi. Opiskelijat tulostavat tuottamansa kuvaajan.
5. Palataan luokkaan ja mietitään vielä kerran alussa Testin 1 monisteeseen valittuja vastauksia:
  - Jos vastaus on mielestäsi oikein, niin rengasta se uudelleen ja perustele se.
  - Jos haluat muuttaa vastaustasi kinesteettisen kokeen jälkeen, niin rengasta uusi vastauksesi. Kirjoita perustelu uudelle ratkaisullesi.

Välineet palautetaan paikoilleen.

# Testin 1 kuvaaja





Testin 1 lomake.

Koko nimi: \_\_\_\_\_

Kuvaajan käyrä esittää henkilön liikettä yksiulotteisella radalla (suoralla viivalla). Vastaa kysymyksiin rengastamalla mielestäsi oikea vaihtoehto.

<b>Kysymys</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1. Kuinka suuri nopeus on hetkellä 4,5 sekuntia?	2,5 m/s	0 m/s	- 2,5 m/s
2. Millä välillä liikutaan poispäin lähtöpisteestä?	2 - 3 s	4 - 5 s	6 - 7 s
3. Kuinka kaukana lähtöpisteestä olet 8 sekunnin kohdalla?	1,75 m	4,25 m	0,75 m

Tehtyäsi kinesteettiset kokeet haluaisit kenties vaihtaa alussa antamiasi vastauksia. Täytä taulukko uudelleen ja perustele miksi vaihdat vastauksen? Jos et halua vaihtaa vastauksia, niin kirjoita ruudukkoon perustelut miksi et halua vaihtaa vastauksiasi.

<b>Kysymys / perustelu, miksi vastaat tai et vastaa uudella tavalla</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1.	2,5 m/s	0 m/s	- 2,5 m/s
2.	2 - 3 s	4 - 5 s	6 - 7 s
3.	1,75 m	4,25 m	0,75 m

Testi 2.

Toinen opetuskokeilu 17.4.03

1. Kirjoita koko nimesi kahteen testilomakkeeseen. Valitse rengastamalla testilomakkeiden kolmeen ensimmäiseen kysymykseen annetun kuvaajan perusteella mielestäsi oikea vastaus.
2. Kootaan annetuista välineistä mittauslaitteisto.  
Välineet: tietokone, ultraäänianturi, Vernier Labro TM tiedonkeruuyksikkö, kaapeleita ja sähköjohtoja
3. **Kinesteettiset harjoitukset.** Aikaa 20 minuuttia. Laitteisto viedään vaunuilla koulun ala-aulaan, jossa käynnistetään Logger Pro (2.1.1) - nimisen mittausohjelman kinestiikkakokeiden suorittamista varten. Kuvaajia harjoitellaan ryhmissä listan mukaisessa järjestyksessä niin kauan kuin aikaa riittää.. Tehtävien kuvaajat löytyivät osoitteista:

**Experiments**

Physics with Computers

Exp 01 Graph Matching

*Exp 01d Velocity Match One*

*Exp 01e Velocity Match Two*

Probes & Sensors

Motion Detector

*Velocity Match*

Jos aikaa jää, niin voi vielä kerrata edellisen tunnin kinesteettisiä kokeita.

**Experiments**

Physics with Computers

Exp 01 Graph Matching

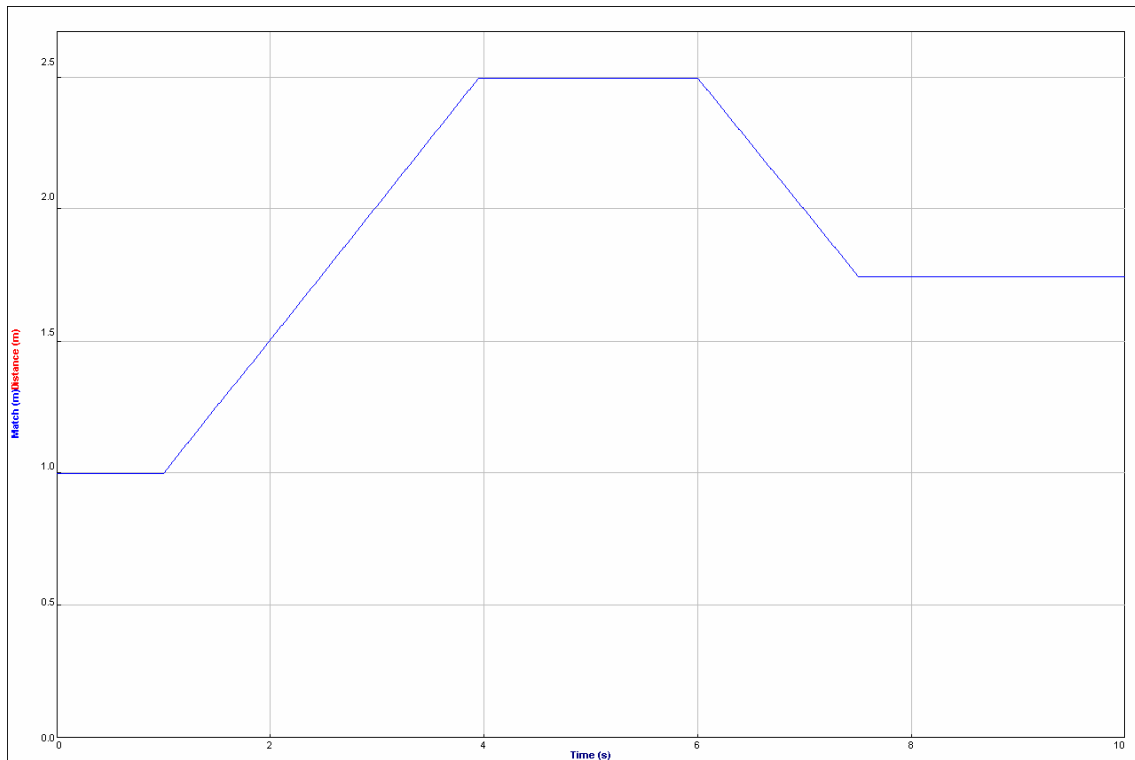
*Exp 01b Distance Match One*

*Exp 01c Distance Match Two*

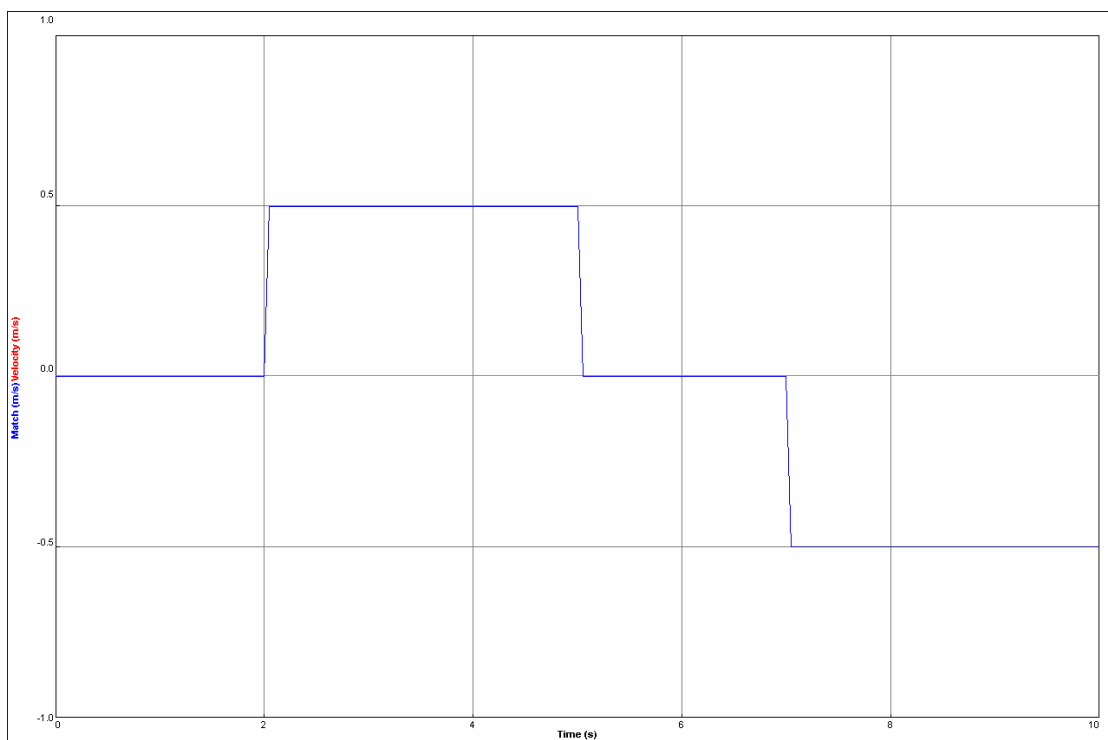
4. Kuva kopioidaan Word-ohjelmaan ja siihen kirjoitetaan testihenkilön koko nimi. Opiskelijat tulostavat tuottamansa kuvaajan.
5. Palataan luokkaan ja mietitään vielä kerran alussa Testin 1 monisteeseen valittuja vastauksia:
  - Jos vastaus on mielestäsi oikein, niin rengasta se uudelleen ja perustele se.
  - Jos haluat muuttaa vastaustasi kinesteettisen kokeen jälkeen, niin rengasta uusi vastauksesi. Kirjoita perustelu uudelle ratkaisullesi.
6. Välineet palautetaan paikoilleen.

Testin 2 kuvaajat.

Kuvaaja 1.



Kuvaaja 2.



Testin 2 kuvaajan 1 lomake.

Koko nimi: \_\_\_\_\_

Kuvaajien käyrät esittävät henkilön liikettä yksiulotteisella radalla (suoralla viivalla). Vastaa kysymyksiin rengastamalla mielestäsi oikea vaihtoehto.

Kuvaajaan **1** liittyvät kysymykset:

<b>Kysymys</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
4. Millä aikavälillä liikutaan nopeimmin?	0 – 2 s	2 – 4 s	6 – 8 s
2. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 1 – 2 s?	0,5 m/s	1,5 m/s	2,0 m/s
3. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 6 – 7 s?	- 0,5 m/s	- 1,5 m/s	- 2,0 m/s

Tehtyäsi kinesteettiset kokeet haluaisit kenties vaihtaa alussa antamiasi vastauksia. Täytä taulukko uudelleen ja perustele miksi vaihdat vastauksen? Jos et halua vaihtaa vastauksia, niin kirjoita ruudukkoon perustelut miksi et halua vaihtaa vastauksiasi.

<b>Kysymys / perustelu, miksi vastaat tai et vastaa uudella tavalla</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1.	0 – 2 s	2 – 4 s	6 – 8 s
2.	0,5 m/s	1,5 m/s	2,0 m/s
3.	- 0,5 m/s	- 1,5 m/s	- 2,0 m/s

Testin 2 kuvaajan 2 lomake.

Koko nimi: \_\_\_\_\_

Kuvaajien käyrät esittävät henkilön liikettä yksiulotteisella radalla (suoralla viivalla). Vastaa kysymyksiin rengastamalla mielestäsi oikea vaihtoehto.

Kuvaajaan 2 liittyvät kysymykset:

<b>Kysymys</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1. Millä hetkellä liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin?	5 s	7 s	9 s
5. Millä hetkellä ollaan mahdollisimman etäällä lähtökohdasta?	4 s	6 s	8 s
3. Kuinka kaukana käytiin lähtöpisteestä?	0,5 m	1,5 m	- 3 m

Tehtyäsi kinesteettiset kokeet haluaisit kenties vaihtaa alussa antamiasi vastauksia. Täytä taulukko uudelleen ja perustele miksi vaihdat vastauksen? Jos et halua vaihtaa vastauksia, niin kirjoita ruudukkoon perustelut miksi et halua vaihtaa vastauksiasi.

<b>Kysymys / perustelu, miksi vastaat tai et vastaa uudella tavalla</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1.	5 s	7 s	9 s
2.	4 s	6 s	8 s
3.	0,5 m	1,5 m	- 3 m

Testi 3.

Toinen opetuskokeilu 29.4.03

1. Kirjoita koko nimesi testilomakkeeseen. Valitse rengastamalla testimonisteen kolmeen ensimmäiseen kysymykseen annetun kuvaajan perusteella mielestäsi oikea vastaus.
2. Kootaan annetuista välineistä mittauslaitteisto.  
Välineet: tietokone, Vernier Software kiihtyvyyssanturi (Low-g Accelerometer ), Vernier LabPro TM tiedonkeruuyksikkö, kaapeleita ja sähköjohtoja

3. **Kinesteettiset harjoitukset.** Aikaa 20 minuuttia. Laitteistot on valmiiksi koottuina pöydille. Käynnistetään kinestiikkakokeiden suorittamista varten Logger Pro (2.1.1) - nimisen mittausohjelma ja valitaan mittauspohja

Experiments

**Probes & Sensors**

Accelerometer

05g Accelerometer

- a) Kalibroi kiihtyvyyssanturi pöydän tasoon.  
Anturin päällä oleva nuoli osoittaa positiivisen kiihtyvyyden suunnan.
- b) Yritä tuottaa muodoltaan samanmuotoinen kuvaaja kuin testin 3 kuvaaja.
- c) Tulkitse käden kiihtyvyyden ja käden liikkeen välistä yhteyttä.
- d) Tulkitse käden liikkeen ja kiihtyvyyden merkin välistä yhteyttä.
- e) Muodosta uusi muuttuja nopeus integroimalla kiihtyvyys seuraavien ohjeiden mukaisesti:

Data

New Column

Formula

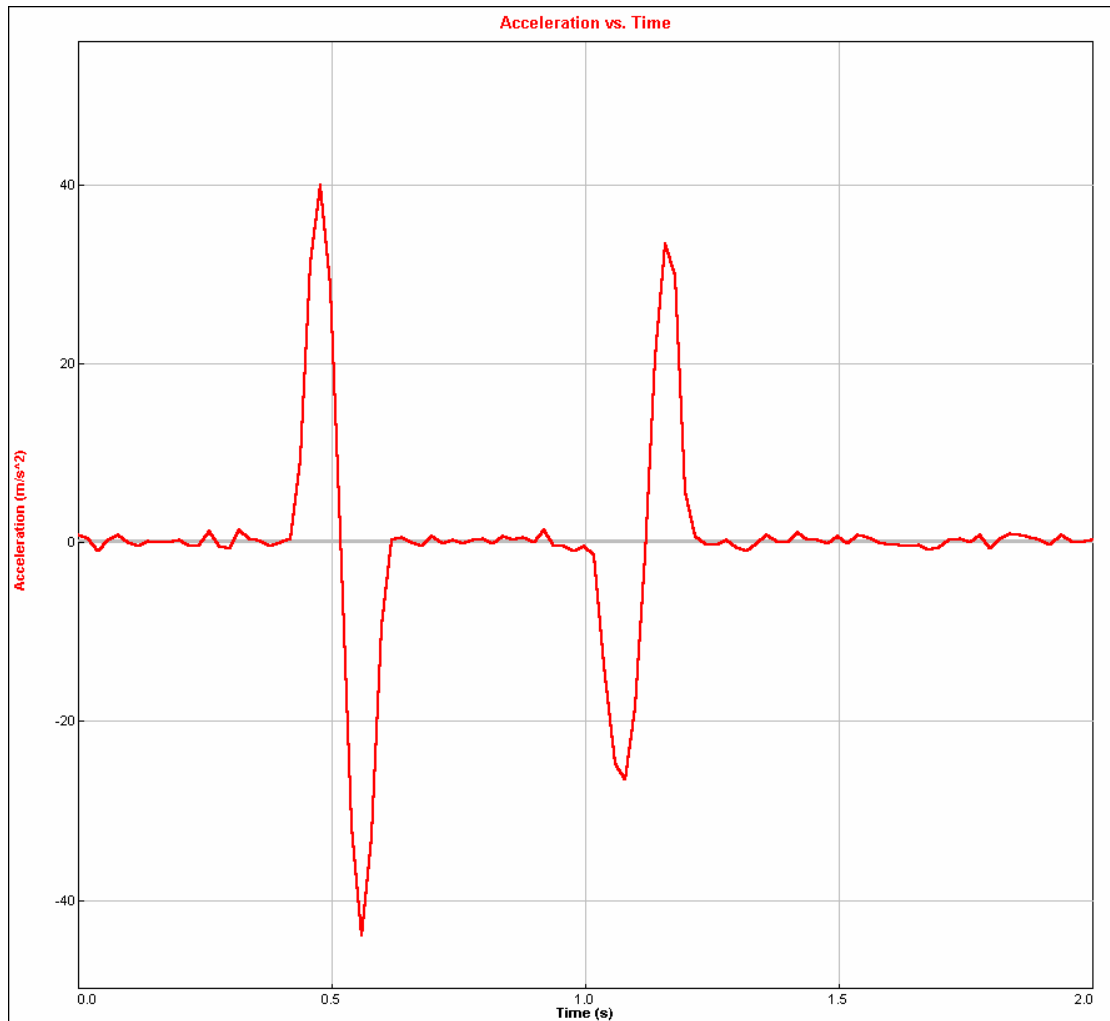
**Options**Long Name *nopeus*Short Name *v*Units *m/s***Definition**Functions *Integral*Variables *Acceleration*

OK

Valitse kiihtyvyys ja nopeus samanaikaisesti näkyviin pystyakselille.

- f) Pohdi käden kiihtyvyyden merkin sekä nopeuden kasvun ja pienenemisen välistä riippuvuutta.
4. Mieti vielä kerran Testin 3 vastauksiasi:
    - Jos vastaus oli mielestäsi heti alussa oikein, niin rengasta se uudelleen ja perustele se.
    - Jos haluat muuttaa vastaustasi kinesteettisen kokeen jälkeen, niin rengasta uusi vastauksesi. Kirjoita perustelu uudelle ratkaisullesi.
  5. Välineet palautetaan paikoilleen.

Testin 3 kuvaaja.



Testin 3 lomake.

Koko nimi: \_\_\_\_\_

Kuvaajan käyrä liittyy henkilön käden liikkeeseen yksiulotteisella radalla (suoralla viivalla). Vastaa kysymyksiin rengastamalla mielestäsi oikea vaihtoehto.

<b>Kysymys</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1. Millä hetkellä kiihtyvyys on suurin?	0,45 s	0,5 1 s	0,55 s
2. Millä hetkellä käsi voi liikkua kohti lähtöpistettä?	0,5 s	0,7 s	1,2 s
3. Millä hetkellä nopeuden muutos on suurin?	0,45 s	0,55 s	1,15 s

Tehtyäsi kinesteettiset kokeet haluaisit kenties vaihtaa alussa antamiasi vastauksia. Täytä taulukko uudelleen ja perustele miksi vaihdat vastauksen? Jos et halua vaihtaa vastauksia, niin kirjoita ruudukkoon perustelut miksi et halua vaihtaa vastauksiasi.

<b>Kysymys / perustelu, miksi vastaat tai et vastaa uudella tavalla</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1.	0,45 s	0,5 1 s	0,55 s
2.	0,5 s	0,7 s	1,2 s
3.	0,45 s	0,55 s	1,15 s



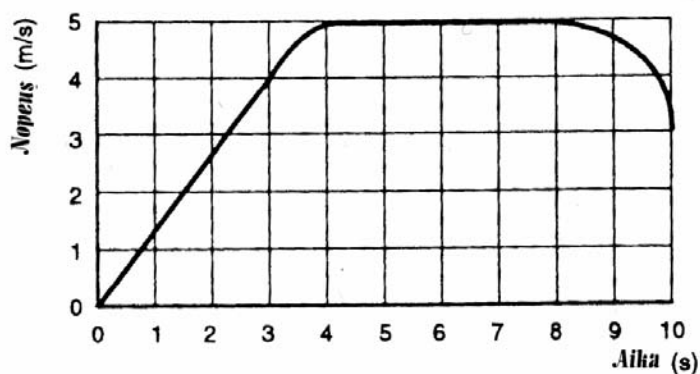
## Testi 4.

**Monivalintatehtävä.**  
**22.5.2003**

Valitse kunkin tehtävän annetuista vaihtoehdoista vain yksi. Kirjoita valitsemasi vaihtoehdot erilliselle vastauslomakkeelle.

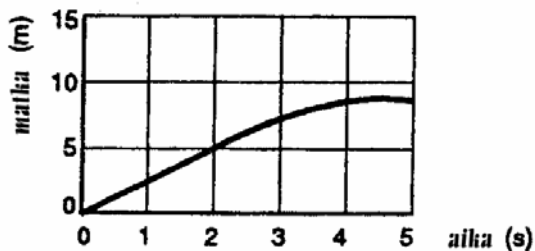
1. Hissi kulkee pohjakerroksesta rakennuksen kymmenenteen kerrokseen. Hissin massa on 1000 kg. Oheinen kuvaaja esittää sen nopeutta liikkeen aikana. Mille korkeudelle hissi ehtii liikkeen kolmen ensimmäisen sekunnin aikana?

- (A) 0.75 m  
 (B) 1.33 m  
 (C) 4.0 m  
 (D) 6.0 m  
 (E) 12.0 m



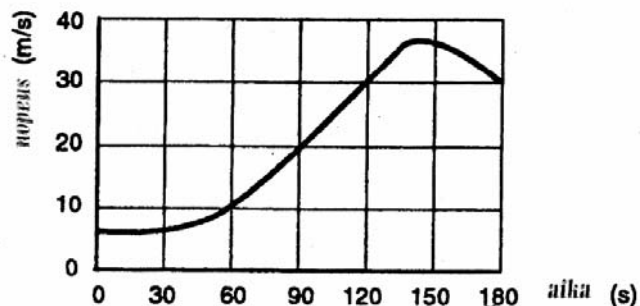
2. Oheisen kuvaajan mukaisesti liikkuvan kappaleen nopeus hetkellä 2 sekuntia on

- (A) 0.4 m/s  
 (B) 2.0 m/s  
 (C) 2.5 m/s  
 (D) 5.0 m/s  
 (E) 10.0 m/s



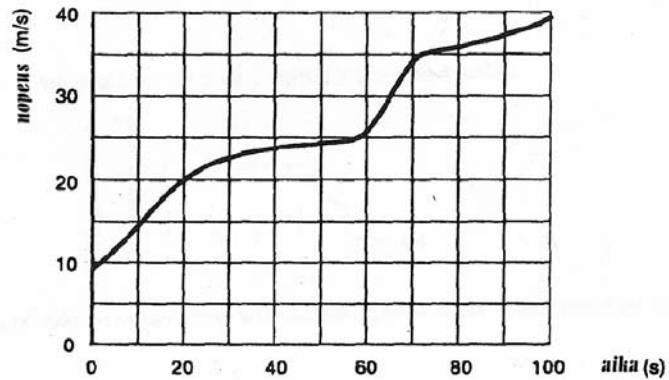
3. Oheinen kuvaaja esittää auton nopeutta ajan funktiona. Auton massa on  $1,5 \cdot 10^3$  kg. Kuinka suuri on auton kiihtyvyys 90 sekunnin kuluttua nollahetkestä?

- (A) 0.22 m/s<sup>2</sup>  
 (B) 0.33 m/s<sup>2</sup>  
 (C) 1.0 m/s<sup>2</sup>  
 (D) 9.8 m/s<sup>2</sup>  
 (E) 20 m/s<sup>2</sup>

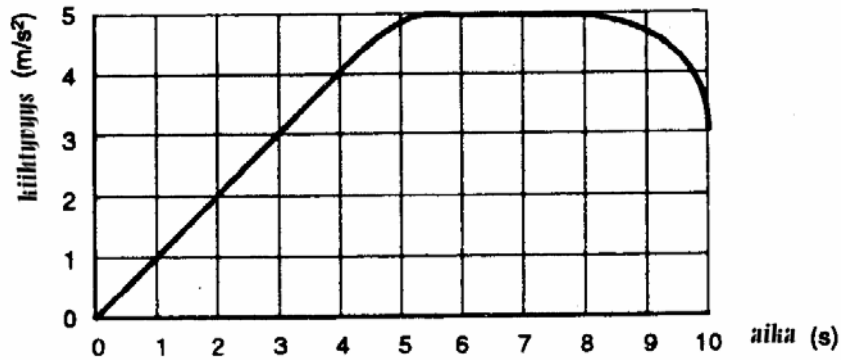


4. Tämä kuvaaja esittää suoraan etenevän kappaleen liikettä. Sen perusteella kappaleen hetkellinen kiihtyvyys hetkellä 65 sekuntia on

- (A)  $1 \text{ m/s}^2$   
 (B)  $2 \text{ m/s}^2$   
 (C)  $+9.8 \text{ m/s}^2$   
 (D)  $+30 \text{ m/s}^2$   
 (E)  $+34 \text{ m/s}^2$



5. Kappale liikkuu kuvaajan mukaisesti.

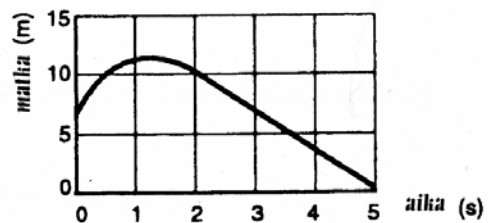


Kappaleen nopeuden muutos kolmen ensimmäisen sekunnin aikana on:

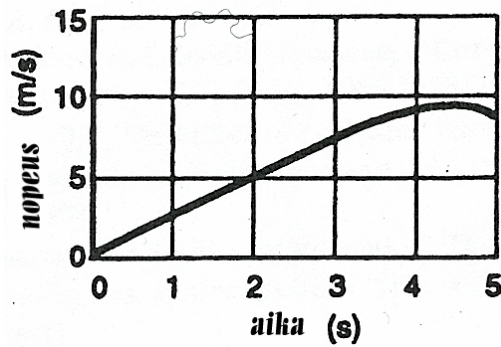
- (A)  $0.66 \text{ m/s}$  (B)  $1.0 \text{ m/s}$  (C)  $3.0 \text{ m/s}$  (D)  $4.5 \text{ m/s}$  (E)  $9.8 \text{ m/s}$

6. Oheisen kuvaajan mukaisesti liikkuvan kappaleen nopeus hetkellä 3 sekuntia on noin:

- (A)  $-3.3 \text{ m/s}$   
 (B)  $-2.0 \text{ m/s}$   
 (C)  $-0.67 \text{ m/s}$   
 (D)  $5.0 \text{ m/s}$   
 (E)  $7.0 \text{ m/s}$

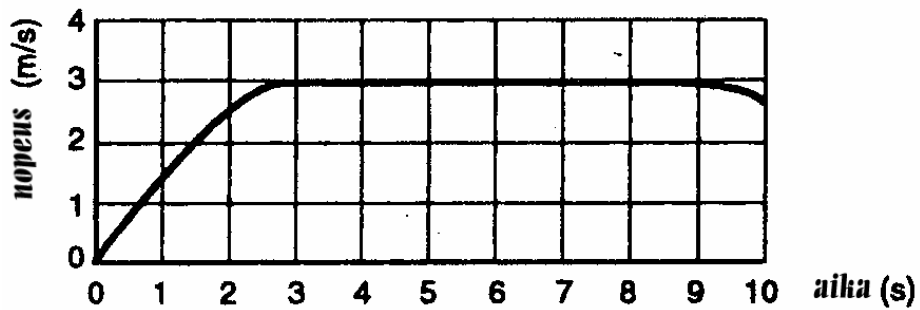


7. Halutessasi tietää, kuinka pitkä matka kuljetaan aikavälillä 0 s:sta 2 s:iin, kun kävellään oheisen kuvaajan mukaisesti,



- (A) otat lukeman 5 suoraan pystyakselilta  
 (B) määrität pinta-alan, joka jää kuvaajan tämän osan ja aika-akselin väliin, laskemalla  $(5 \times 2)/2$ .  
 (C) määrität kuvaajan tämän osan jyrkkyyden suorittamalla jakolaskun  $5/2$ .  
 (D) määrität kuvaajan tämän osan jyrkkyyden suorittamalla jakolaskun  $15/5$ .  
 (E) Kuvaajassa ei ole riittävästi tietoa, jotta kysymykseen voisi vastata.

8. Kappale liikkuu oheisen kuvaajan mukaisesti:



Kuinka pitkän matkan se kulkee aikavälillä 4s:sta 8s:iin ?

- (A) 0.75 m (B) 3.0 m (C) 4.0 m (D) 8.0 m (E) 12.0 m

**Taulukko 1. Mekaniikan I:n kurssin toteutus ensimmäisen opetuskokeilun ajalta.**

Tunnin numero	Päivä	Aihe	Tunnin pitäjä
1	6.2.03	Kurssin esittely. Vuorovaikutus ja liike.	Oma opettaja
2	6.2.03	Opiskelijoille annettiin Testin 1 (Liitteet 4 ja 5) moniste, jossa oli kuvaaja t,s-koordinaatistossa. Kuvaajaan liittyvistä kysymyksistä ja niihin liittyvistä vastausvaihtoehdoista opiskelijoiden piti valita mielestään oikea vaihtoehto. Kun opiskelijat olivat valmiita, he kokosivat annetuista välineistä (tietokone, ultraäänianturi, Vernier Labro TM tiedonkeruuyksikkö, kaapeleita ja sähköjohtoja) mittalaitteiston. Laitteistot (3 kpl) vietiin vaunuilla koulun ala-aulaan, jossa opiskelijat käynnistivät Logger Pro (2.1.1) -nimisen mittausohjelman kinesteettikokeiden suorittamista varten. Ensin opiskelijat yrittivät tuottaa testissä olleen Logger Pro (2.1.1)-ohjelmaan liittyvän kuvaajan ja sitten he siirtyivät suorittamaan muita samaan ohjelmaan liittyviä t,s-tehtäviä. Joitakin opiskelijoiden tuottamia kuvaajia tulostettiin paperille. Tehtävien kuvaajat löytyivät osoitteista: Experiments Physics with Computers Exp 01 Graph Matching Exp 01b Distance Match One Exp 01c Distance Match Two Probes & Sensors Motion Detector Distance Match 2 Distance Match 3 Real Time Physics Mechanics Dual-Range Force Sensor Position Match ULI Force Probe Position Match Kinesteettisten harjoitusten jälkeen opiskelijat palasivat luokkaan ja miettivät vielä kerran alussa Testin 1 monisteeseen antamia vastauksia ja antoivat perustelun alkuperäiselle vastaukselleen. Jos he taas olivat eri mieltä kinesteettisen kokeen jälkeen alkuperäisestä vastauksestaan, niin he saattoivat rengastaa uuden vastauksen. Tällöin he kirjoittivat perustelun, miksi olivat päätyneet uuteen ratkaisuun kuvaajan tulkinnassa.	Tutkimuksen tekijä
3	7.2.03	Mekaniikkaan liittyvä sijaisena toimivan harjoittelijan kokoama testi (Mekaniikan perustason testi), joka käydään läpi myöhemmin harjoittelijan pitämien tuntien aikana aina, kun tehtävän aiheeseen edetään. Ei liittynyt varsinaiseen opetuskokeiluun.	Sijainen
4	11.2.03	Opiskelijoille annettiin Testin 2 (Liitteet 6, 7 ja 8) moniste, jossa oli kuvaajat t,s- ja t,v-koordinaatistossa. Kuvaajaan liittyvistä kysymyksistä ja niiden vastausvaihtoehdoista opiskelijoiden piti valita mielestään oikea vaihtoehto. Tällä kerralla opiskelijat saivat käyttöönsä 4 valmiiksi koottua mittauslaitteistoa. Ensin opiskelijat yrittivät tuottaa testissä olleen Logger Pro (2.1)-ohjelmaan liittyvän aika,nopeus-kuvaajan ja sitten he siirtyivät suorittamaan toista samaan ohjelmaan liittyvää t,v-tehtävää. Joitakin opiskelijoiden tuottamia kuvaajia tulostettiin paperille. Tehtävien kuvaajat löytyivät osoitteista: Experiments Physics with Computers Exp 01 Graph Matching Exp 01d Velocity Match One Probes & Sensors Motion Detector Velocity Match Kinesteettisten harjoitusten jälkeen opiskelijat palasivat jälleen luokkaan ja täyttivät testin 2 monisteen loppuun.	Tutkimuksen tekijä
5	11.2.03	Tasaisen liikkeen nopeus ja graafiset kuvaajat. Kerskinopeuden määrittely muuttuvassa liikkeessä opettajan omien kalvojen mukaan. Lisäksi Galilei 3 kirjan esimerkki 2 sivulla 13.	Oma opettaja
6	14.2.03	Vanhojen tanssit, paikalla 2 opiskelijaa. Opetuksessa ei edetty.	Oma opettaja
7	25.2.03	Opettajohtoisesti t,s- ja t,v-kuvaajiin liittyviä tehtäviä oppikirjasta Galilei 3 teht. 19, 20 ja 21.	Tutkimuksen tekijä
8	25.2.03	Opiskelijoille annettiin Testin 3 moniste, jossa oli t,a-koordinaatistossa oleva kuvaaja (liitteet 9 ja 10). Kuvaajaan liittyvistä kysymyksistä ja niiden vastausvaihtoehdoista opiskelijoiden piti valita mielestään oikea vaihtoehto. Tälläkin kerralla opiskelijat saivat käyttöönsä 4 valmiiksi koottua mittauslaitteistoa. Ainoastaan Vernier Softwaren kiihtyvyyssanturi (Low-g Accelerometer) piti liittää paikoilleen ja nollata se pöydän tasolla toimivaksi.	Tutkimuksen tekijä

		Ensin opiskelijoiden piti yrittää tuottaa muodoltaan samanmuotoinen kuvaajan kuin testin 3 kuvaaja ja piti tulkitka käden kiihtyvyyden ja nopeuden välistä yhteyttä. Heidän piti myös selvittää kiihtyvyyden merkkiä ja sen suhdetta käden liikkeeseen. Sitten opiskelijoita neuvottiin uuden kaavan muodostamiseen integroimalla kiihtyvyys eli opiskelijat saivat uuden muuttujan nopeus. Kuvaajaan saatiin samaan aikaan näkyviin sekä käden nopeus että kiihtyvyys. Lopuksi opiskelijoille annettiin tehtäväksi pohtia kuvaruudulta käden liikkeen kiihtyvyyden merkin ja nopeuden kasvun ja pienenemisen sekä nopeuden merkin välistä riippuvuutta. Kinesteettisten harjoitusten jälkeen opiskelijat täyttivät jälleen Testin 3 monisteen loppuun.	
Kurssikoe	1.4.03	Kurssikokeen yhtenä tehtävänä opiskelijat vastasivat graafisia esityksiä käsittelevään monivalintatehtävään (Testi 4, liite 11). Monivalintatehtävät liittyivät t,s-, t,v- ja t,a-koordinaatioissa oleviin graafisiin esityksiin.	Oma opettaja

**Taulukko 2. Mekaniikan I:n kurssin toteutus toisen opetuskokeilun ajalta.**

Tunnin numero	Päivä	Aihe	Tunnin pitäjä
1	4.4.03	Kurssin esittely. Kurssilla käytetty oppikirja: Lavonen, Kurki-Suonio, Hakulinen: Galilei 3, Mekaniikka 1, Weilin+Göös	Oma opettaja
2	4.4.03	Vektorisuureiden käsittelyä	Oma opettaja
3	8.4.03	Vektorisuureiden käsittelyä	Oma opettaja
4	8.4.03	Kuormittavat ja tasapainottavat voimat	Oma opettaja
5	10.4.03	Kuormittavat ja tasapainottavat voimat	Oma opettaja
6	11.4.03	Kuormittavat ja tasapainottavat voimat	Oma opettaja
7	11.4.03	Kuormittavat ja tasapainottavat voimat	Oma opettaja
8	15.4.03	t,s- koordinaatistossa olevan kuvaajan lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 1 työohjeen mukaisesti (liite 1). Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 4 – 5 hengen ryhmissä, sillä käytössä oli 6 mittauslaitteistoa.	Oma opettaja Tutkimuksen tekijä
9	15.4.03	Graafinen derivointi ja integrointi.	Oma opettaja
10	17.4.03	t,s- ja t,v- koordinaatistossa olevien kuvaajan lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 2 työohjeen mukaisesti (liite 2). Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 4 – 5 hengen ryhmissä, sillä käytössä oli 6 mittauslaitteistoa.	Oma opettaja Tutkimuksen tekijä
11	22.4.03		Oma opettaja
12	22.4.03		Oma opettaja
13	24.4.03		Sijainen
14	25.4.03		Sijainen sairias
15	25.4.03		Sijainen sairias
16	29.4.03	t,a- koordinaatistossa olevan kuvaajan lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 3 työohjeen mukaisesti (liite 3). Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 4 – 5 hengen ryhmissä, sillä käytössä oli 6 mittauslaitteistoa.	Oma opettaja Tutkimuksen tekijä
17	02.5.03		
Kurssikoe	22.5.03	Kurssikokeen yhtenä tehtävänä opiskelijat vastasivat graafisia esityksiä käsittelevään monivalintatehtävään (Testi 4, liite 11). Monivalintatehtävät liittyivät t,s-, t,v- ja t,a-koordinaatioissa oleviin graafisiin esityksiin.	Oma opettaja

**Taulukko 3. Kolmas opetuskokeilu. Mekaniikan I:n kurssin sisältö ja toteutus opetuskokeilun ajalta.**

Tunnin numero	Päivä	Aihe	Tunnin pitäjä
1	Pe 2.4.04	Kurssilla käytetty oppikirja: Lavonen, Kurki-Suonio, Hakulinen: Galilei 3, Mekaniikka 1, Weilin+Göös Kurssin esittely. Liike ja vuorovaikutus.	Tutkimuksen tekijä
2	Pe 2.4.04	Vektori ja vektorisuure. Tehtävä L 22.	Tutkimuksen tekijä
3	Ma 5.4.04	Kotitehtävän L 23 tarkastus. Testin 1 alkuosan täyttäminen. Kinesteettisen liikkumisharjoituksen suoritus koulun pihalla monisteen (Liite 12) mukaan ja monisteen kysymyksiin vastaaminen.	Tutkimuksen tekijä
4	Ma 5.4.04	Monisteen kysymysten selittäminen. Sitten tunti eteni Testin 1 työohjeen mukaisesti (Liitteet 1, 4 ja 5), kun opiskelijat menivät käytävälle kävelemään kuvaajien osoittamalla tavalla. Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 4 – 5 hengen ryhmissä. Käytössä oli 6 mittauslaitteistoa, jotka olivat valmiiksi koottuna. Alussa 2 konetta reistaili.	Tutkimuksen tekijä
5	Ke 7.4.04	Testin 1 selittäminen. Opettajajohtoista opetusta tietokoneeseen liitetyn ultraäänianturin avulla. Suoritettiin demonstraatiomittaus oppilaan kävelystä t,s-koordinaatistoon. Esiteltiin LoggerPro-ohjelman työkalusta suoran sovitus ja pohdittiin suoran kulmakertoimen ja vakiotermin yhteyttä liikkeen kannalta. Harjoiteltiin nopeuden laskemista graafisesta esityksestä oppikirjan tehtävän L 19 avulla. Määriteltiin hetkellinen nopeus.	Tutkimuksen tekijä
6	Ke 14.4.04	Kotitehtävien tarkastus: Oppikirjan tehtävien P 60 1) ja 5) sekä P 61 1), 2), 3) ja 7) kuvaajien liikkeiden kuvailla. Lasku 21. Kuvaajaan 61 1) liittyen tehtiin pallonpudotuskoe ultraäänianturilla ja pohdittiin kuvaajaa myös t,v- ja t,a-koordinaatistossa.	Tutkimuksen tekijä
7	Pe 16.4.04	t,s- ja t,v- koordinaatistossa olevien kuvaajan lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 2 työohjeen mukaisesti (liitteet 2, 6, 7 ja 8). Opiskelijat suorittivat kinesteettisiä kokeita noin 30 – 35 minuuttia. Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 3 – 5 hengen ryhmissä. Käytössä olleista 6 mittauslaitteistosta, jotka olivat valmiiksi koottuina, toimi vain 5.	Tutkimuksen tekijä
8	Pe 16.4.04	Testilomakkeen loppuosan vastaaminen tapahtui jälkimmäisen tunnin alussa. Opettaja kopioi testivastaukset itselleen oppitunnin aikana ja tunnin lopussa testipaperit palautettiin opiskelijoille ja testin vastaukset perusteluineen käytiin yhdessä läpi. Kotitehtävät oppikirjasta: L15, L16 ja L18.	Tutkimuksen tekijä
9	Ma 19.4.04	Kotitehtävien L15 ja L16 tarkastusta, johon liittyi nopeuden ja keskinopeuden perusteellista pohdintaa käytännön elämässä.	Harjoittelija
10	Ma 19.4.04	L 18 tarkastaminen, josta opiskelijoiden erilaisia versioita taululla. Korostettiin suureyhtälöiden ja yksiköiden käyttöä. Graafinen integrointi: Harjoittelijan monistamasta t,v-kuvaajasta matkan laskeminen eri aikaväleillä. Miten tulkitaan kuljettu matka, jos kuvaaja on t-akselin alapuolella.	Harjoittelija
11	Ke 21.4.04	Kotitehtävän ratkaisun käsittely liittyen harjoittelijan monistamaan t,v-kuvaajaan. Kuvaajan mukaan aluksi nopeus kasvoi paraabelimaisesti, sitten nopeuden kasvu oli tasaista ja lopuksi nopeuden kasvu pieni. Tehtävä käsiteltiin nopeasti opettajajohtoisesti. Sitten luokka jaettiin kahteen ryhmään. Puolet ryhmästä teki kinestiikkakoketa kinestiikkavaunuilla käytävällä. Toinen puoli ryhmästä tutustui massan hitauteen ilmatyynyradan avulla. Kokeiden avulla määriteltiin massan hitaus. Pohjustusta fysiikan laitoksen vierailuun: ilmatyynyratokokeet ja matkaohjeet.	Harjoittelija
12	To 22.4.04	Opiskelijat suorittivat Physicumissa Fysiikan osaston opettaja-laboratoriossa valmiiksi kootulla ilmatyynyradalla mittauksia, jotka liittyivät liikemäärän säilymlakiin, kimmoiseen ja kimmottomaan törmäykseen. Eteneminen tapahtui harjoittelijan kirjallisten ja suullisten ohjeiden mukaan. Käytössä oli 2 ilmatyynyrataa ja ryhmissä oli kerralla 2 - 3 henkilöä ilmatyynyrataa kohden. Yhden tunnin kestoinen mittaus tapahtui klo 14 – 18 välisenä aikana. Osallistuminen mittauksen tekoon oli kurssiin kuuluvaa. Poissa oli yksi opiskelija.	Harjoittelija
13	To 22.4.04	Kiertokäynti Physicumissa Fysikaalisten tieteiden laitoksella. Vuorot klo 14 – 15 tai klo 15 – 16. Osallistuminen oli vapaaehtoista.	Jonna Koponen Fysikaalisten tieteiden laitos
14	Pe 23.4.04	Fysiikan laitoksella tehtyjen mittaustulosten käsittelyä ja syventämistä harjoittelijan johdolla.	Harjoittelija
15	Pe 23.4.04	Mittaustulosten käsittelyä. Kimmoisen ja kimmottoman törmäyksen määrittely. Oppikirjan kappale 2.1 ja L47 ja L51 läskyksi.	Harjoittelija
16	Ma 26.4.04	Kotitehtävien tarkastus. Nopeuden ja liikemäärän vektoriluonnetta korostetaan, positiivinen suunta kiinnitetään tehtävissä.	Tutkimuksen tekijä

17	Ma 26.4.04	Tasaisesti kiihtyvä liike. Putoamisliike. Kuvaajan tulkintaa (liikemäärän, nopeuden, matkan ja kiihtyvyyden kannalta) opettajajohtoisesti putoamisliikkeen kuvaajasta. Määritettään kiihtyvyys ja hetkellinen kiihtyvyys. Testissä 3 käytettävän mittalaitteiston esittely.	Tutkimuksen tekijä
18	Ke 28.4.04	t,a- koordinaatistossa olevan kuvaajan lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 3 työohjeen mukaisesti (liitteet 3, 9 ja 10). Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 2-3 hengen ryhmissä. Käytössä oli 6 mittauslaitteistoa.	Tutkimuksen tekijä
19	Pe 30.4.04	Testin 3 selittäminen. Kotitehtävät. Dynamiikan peruslaki. Mittauksen aloitus.	Tutkimuksen tekijä
20	Pe 30.4.04	Mittauksen lopetus. Tulosten tulkintaa. Tunnilla tehtävät P52 ja P 60. Kotiin tehtävät L87 ja L88.	Tutkimuksen tekijä
21	Ma 03.5.04	Voiman impulssi. Kosketusvoimat. Langan jännitysvoima.	Tutkimuksen tekijä
22	Ma 03.5.04	Kosketusvoimat. Langan jännitysvoima. Pinnan tukivoima.	Tutkimuksen tekijä
23	Ke 05.5.04	Kotilaskujen L98, L106, L109, L120, L124 ja L129 tarkistus	Tutkimuksen tekijä
24	Pe 07.5.04	Kitka. Vierimisvastus. Väliaineen vastus.	Tutkimuksen tekijä
25	Pe 07.5.04	Yhdessä liikkuvat kappaleet.	Tutkimuksen tekijä
26	Ma 10.5.04	Tasapainon lait. Kuormittavat ja tasapainottavat voimat	Tutkimuksen tekijä
27	Ma 10.5.04	Jäykän kappaleen tasapaino. Kappaleen tasapaino.	Tutkimuksen tekijä
28	Ke 12.5.04	Voimien korvaaminen.	Tutkimuksen tekijä
29	Ma 17.5.04	Voimien korvaaminen.	Tutkimuksen tekijä
30	Ma 17.5.04	Koekertausta.	Tutkimuksen tekijä
Kurssikoe (3 h)	Ti 25.5.04	Kurssikokeen yhtenä tehtävänä opiskelijat vastasivat graafisia esityksiä käsittelevään monivalintatehtävään (Testi 4, liite 11). Monivalintatehtävät liittyivät t,s-, t,v- ja t,a-koordinaatioissa oleviin graafisiin esityksiin.	

#### Taulukko 4. Kolmas opetuskokeilu. Opetuksen toteutuminen opetuskokeilun aikana.

Ma 5.4.04	<p>Testin 1 alkuosan täytön jälkeen siirryttiin pihalle, jonne opettaja oli merkinnyt lukusuoran välin [-30 m , 60m]. Asteikon jakoväli oli 5 metriä. Oppilaat jaettiin kahteen ryhmään. Liikkuminen tapahtui liitteen 6 mukaan. Opettaja antoi ohjeen, jonka mukaan opiskelijoiden tuli liikkua. Ryhmät liikkuvat annetun aikavälin vuorotellen. Opiskelijat siirtyivät kävelyreitiltä sivuun toisen ryhmän liikkuessa. Kuvaajaa oli tarkoitus täydentää heti liikejakson jälkeen, jolloin liikkeen nopeuden ja kuvaajan jyrkkyyden välinen yhteys tulisi heti näkymään kuvaajassa. Kinesteettisten kokeiden aikana kiinnitettiin opiskelijoiden huomiota liikkeen ja kuvaajan väliseen yhteyteen.</p> <p>Opiskelijat liikkuvat mielellään ohjeen mukaan. Kaikki eivät halunneet täyttää kuvaajaa pysähdysten aikana, vaan ajattelivat tekevänsä sen kokeen loputtua. Pyysin kuitenkin opiskelijoita täydentämään kuvaajaa liikkeen edetessä, jolloin liikkeen nopeus ja kuvaajan jyrkkyyden merkitys sekä suunnan ja kuvaajan merkitys vahvistuisi. Liikkumisharjoitukseen liittyvät kysymykset käsiteltiin kaksoistunnin toisen tunnin alussa.</p> <p>Sitten mentiin käytävälle tekemään kinesteettiset kokeet valmiisiin kuvaajiin liittyen työohjeen (liite 1) mukaisesti. Opiskelijat tekivät innokkaasti kävelykokeita ja halusivat saada liikkeensä seuraamaan mahdollisimman hyvin annetun kuvaajan muotoa. Kaksi tietokonetta ei käynnistynyt toivotulla tavalla, vaikka kaikki laitteistot oli testattu edellisenä päivänä. Näiden kahden tietokoneen opiskelijat jaettiin muihin ryhmiin., jolloin ryhmäkoko kasvoi 3 -&gt;4-5. Myöhemmin sain koneet toimimaan ja opiskelijoiden käyttöön. Koulun ATK-vastaava otti koneet käytön jälkeen erikoishuoltoon, jotta ne olisivat toimintavarmempia seuraavissa kinesteettisissä mittauksissa. Tunnin lopussa opiskelijat täyttivät testilomakkeen loppuosan ja perustelivat vastauksensa. Eräs opiskelija totesi, että perusteleminen oli vaikeata.</p>
Ke 7.4.04	<p>Oppitunnilla selitettiin Testi 1. Muutama opiskelija oli jättänyt lomakkeesta perustelut pois. Kerroin opiskelijoille, että perustelun sanalliseen muotoon pukeminen voi olla vaikeata, mutta että se on hyödyllistä. Perusteluksi annoin, että sanallinen muoto on ajattelussa korkeammalla tasolla kuin vastauksen tunnistaminen. Lisäksi kerroin, että lukiokoulutuksen eräänä tavoitteena on opettaa opiskelijoita perustelemaan vastauksensa.</p> <p>Testin käsittelyn jälkeen seurasi opettajajohtoista kokeellista opetusta tietokoneeseen liitetyn ultraäänianturin avulla. Mittaus ja mittaustulokset näkyivät videotykin avulla valkokankaalla. Tyttöopiskelijan kävelystä</p>

	<p>suoritettiin demonstraatiomittaus t,s-koordinaatioon. Opiskelija käveli ensin reippaasti anturista pois päin, oli jonkin aikaa paikallaan ja lopuksi lähti hitaammin tulemaan takaisin anturia kohden. Saatua kuvaajaa tulkittiin paikan ja nopeuden kannalta. Opiskelijoille esiteltiin LoggerPro-ohjelman työkaluista suoran sovitus ja pohdittiin suoran kulmakertoimen ja vakiotermin yhteyttä liikkeeseen. Todettiin kulmakertoimen tarkoittavan nopeutta. Negatiivinen kulmakerroin tarkoittaa vastakkaisuuntaista liikettä positiiviseen kulmakertoimeen nähden. Kulmakerroin nolla tarkoittaa nopeutta nolla. Verrattiin sovitusmatematiikan tunnilla opittuun suoran yhtälöön. Opiskelijoita kiinnosti LoggerPro-ohjelman työkalut. Lopuksi harjoiteltiin nopeuden laskemista graafisesta esityksestä kirjan tehtävän L19 avulla. Määriteltiin hetkellinen nopeus.</p>
Ke 14.4.04	<p>Tunnilla tarkastettiin kotitehtävät, jotka olivat oppikirjan tehtävät P 60 1) ja 5) sekä P 61 1), 2), 3) ja 7) ja jotka oli myös kuvaajien liikkeiden kuvailun kannalta tarkoitus käsitellä. Lisäksi oli lasku L21. Kuvaajaan 61 1) liittyen tehtiin ultraäänianturilla demonstraationa pallon pudotuskoe ja pohdittiin kuvaajaa myös t,v- ja t,a-koordinaatioissa. Luokan tyttöopiskelija käytti tietokonetta ja opettaja suoritti pudotukset. Tunnilla syntyi mielenkiintoinen keskustelu opiskelijoiden välillä siitä, miksei tehtävän P 61 3) kuvaaja voi esittää asemalle saapuvaa junaa.</p>
Pe 16.4.04	<p>Tunnilla oli testin 2 suorittaminen eli t,s- ja t,v- koordinaatioissa olevien kuvaajien lukemista ja tulkitsemista ennen kinestiikkakokeita ja niiden jälkeen. Tunti eteni Testin 2 työohjeen mukaisesti (liite 2). Opiskelijat suorittivat kinesteettisiä kokeita noin 30 – 35 minuuttia 3 – 5 hengen ryhmissä. Opiskelija E totesi kinesteettisten nopeuskokeiden jälkeen, että nyt aika, matka-kuvaajien lailla liikkuminen tuntuu tosi helpolta. Käytössä olleista 6 mittauslaitteistosta, jotka olivat valmiiksi koottuina, toimi vain 5, vaikka koneet oli tarkastettu ennen tätä koekertaa edellisenä päivänä. Opiskelijat täyttivät lomakkeen loppuosan perusteluineen vasta koulun juhlasaliaamutilaisuuden jälkeen. Testin loppuosan täyttäminen kesti opiskelijoilla 20 – 25 minuuttia. Osa opiskelijoista ryhtyi tekemään annettuja kotitehtäviä vastattuaan testiin. Opiskelijat halusivat saada kyselytehtävien ratkaisut jo samana päivänä, ja opettaja kävi tunnilla kopioimassa heidän testivastauksensa. Näin opiskelijat saattoivat heti verrata omia vastauksiaan oikeisiin vaihtoehtoihin ja mahdollisiin perusteluihin.</p>
Ma 19.4.04	<p>Ma 19.4.04 Tunnilla oli kotitehtävien L15 ja L16 tarkastusta, johon liittyi nopeuden ja keskinopeuden perusteellista pohdintaa käytännön elämässä. Tehtävästä L 18 oli taululla opiskelijoiden kaksi erilaista versiota. Harjoittelija korosti suurehtälöiden ja yksiköiden käyttöä. Joidenkin opiskelijoiden oli vaikea ymmärtää, että a)- ja b)- kohdat olivat erilaisia tilanteita. Uutta aihetta käsiteltiin harjoittelijan monistamasta t,v-kuvaajasta, josta matkaa laskettiin eri aikaväleillä. Tunnilla käytiin läpi myös se, miten tulkitaan kuljettu matka, jos osa kuvaajasta on t-akselin alapuolella.</p>
Ke 21.4.04	<p>Tunnilla oli kotitehtävän ratkaisun käsittely, joka liittyi harjoittelijan monistamaan t,v-kuvaajaan. Kuvaajan mukaan aluksi nopeus kasvoi paraabelimaisesti, sitten nopeuden kasvu oli tasaista ja lopuksi nopeuden kasvu pieneni. Tehtävä käsiteltiin nopeasti opettajajohtoisesti kalvolla. Opiskelijat olivat perillä laskun suorittamisen ideasta. Keskustelua kuitenkin syntyi pinta-alan määrittämisen tarkkuudesta.</p> <p>Sitten harjoittelija jakoi luokan kahteen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä teki kinestiikkakokeita massan hitaudesta kinestiikkavaunuilla käytävällä. Toisessa vaunussa istui koko ajan sama opiskelija, joka suoritti vaunujen tönäisyn, ja toisen vaunun massaa varioitiin erikokoisilla opiskelijoilla/opiskelijapareilla. Olin työturvallisuussyistä koko ajan käytävällä opiskelijoiden luona. Toinen puoli ryhmästä tutustui massan hitauteen ilmatyynyradan avulla. Harjoittelija ohjasi molempia työryhmiä. Tunnin lopussa harjoittelija määritteli massan hitauden opiskelijoiden kokemuksiin pohjautuen. Lopuksi pohjustettiin fysiikan laitoksen vierailua kertomalla ilmatyynyradan toiminnasta ja käytiin läpi matkaohjeet.</p>
To 22.4.04	<p>Opiskelijat suorittivat Fysikaalitentieteiläiden laitoksen opettajalaboratoriossa valmiiksi kootuilla ilmatyynyradioilla mittauksia, jotka liittyivät liikemäärän säilymlakiin, kimmoiseen ja kimmottomaan törmäykseen. Ilmatyynyradiojen molemmissa päässä oli omat ultraäänianturit. Molemmissa antureissa anturista pois päin mentäessä saatiin positiivinen arvo paikalle. Törmäyskokeissa piti siis opiskelijoiden kiinnittää nopeuden positiivinen suunta. Eteneminen tapahtui harjoittelijan kirjallisten ja suullisten ohjeiden mukaan. Monisteesta oli annettu ohjeet koota vaunut purjeineen ja puskureineen. Opiskelijoiden piti itse käynnistää ilmatyynyradan puhallin ja etsiä sopiva puhallusvoimakkuus radalle. Vaunut piti myös itse punnita. Mittausohjelman käyttö oli luontevaa ja opiskelijat osasivat hyvin valita kuvaajien mittausalueen, josta määrittää mittausohjelman suoran sovitusmatematiikan hyväksi käyttäen nopeudet ohjelman antamasta suoran yhtälöstä. Opiskelijoilla oli käytössään 2 ilmatyynyrataa ja ryhmissä oli kerrallaan 2 - 3 henkilöä ilmatyynyrataa kohden. Harjoittelija esitti mittaustekniikkaan liittyviä kysymyksiä ja siten valotti työn kokeellista luonnetta monipuolisesti. Opiskeluilmapiiri oli hyvin intensiivinen ja innostunut. Opiskelijat toimivat hyvin itsenäisesti alkuun päästyään. Opiskelijaryhmää kohti varattu yhden tunnin kestoinen mittausaika oli klo 14 – 18 välisenä aikana ja se oli riittävän pitkä.</p> <p>Osallistuminen mittaukseen teko oli kurssiin kuuluvaa. Osallistumisen perusteltiin vastaavan esim. äidinkielen kotiainetta. Läksyksi ei tullut monisteen laskujen laskemista, vaan niiden käsittely jätettiin seuraavaan tuntiin. Opiskelijoilla oli myös vapaaehtoinen mahdollisuus osallistua ennen mittausaika tai mittauksen jälkeen Fysikaalisten tieteiläiden laitoksen kiertokäynnille. Lähes kaikki paikalle saapuneet osallistuivat kiertokäynnille.</p>
Pe 23.4.04	<p>Harjoittelijan johdolla käsiteltiin ja syvennettiin Fysikaalisten tieteiläiden laitoksella tehtyjä mittaustuloksia. Aluksi erään opiskelijan mittaustuloksista saatujen laskujen avulla todettiin, että vaunujen liikemäärien muutosten summa on likimäärin nolla. Myöhemmin harjoittelija johti kaavan, josta nähdään, että liikemäärien summa ennen törmäystä on yhtä suuri kuin liikemäärien summa törmäyksen jälkeen. Sitten harjoittelija määritteli kimmoisan ja kimmottoman törmäyksen. Yhden opiskelijan mittaustuloksista saadut laskujen tulokset liike-energioille kirjattiin taululle taulukkoon. Verrattaessa eri törmäystapauksista laskettuja liike-energioita toisiinsa havaittiin, että kimmoisassa törmäyksessä kokonaisliike-energia näytti olevan sama ennen ja jälkeen törmäyksen. Kimmottoman törmäyksen tapauksessa kokonaisliike-energioissa oli eroa ennen ja jälkeen törmäyksen. Oppikirjan kappaleesta 2.1 sivut 37-43 ja tehtävät L47 ja L51 annettiin läksyksi.</p>
Ke 28.4.04	<p>Tunti eteni Testin 3 työohjeen mukaisesti. Opettaja oli jakanut laitteiston kokoamista varten tarvittavat välineet auditorion pöydille. Kun opiskelijat tulivat luokkaan, niin opettaja kehotti heitä käynnistämään tietokoneet. Osa oppilaista ryhtyi myös heti asentamaan Vernier-laitteistoa tietokoneeseen, niin lopuksi</p>



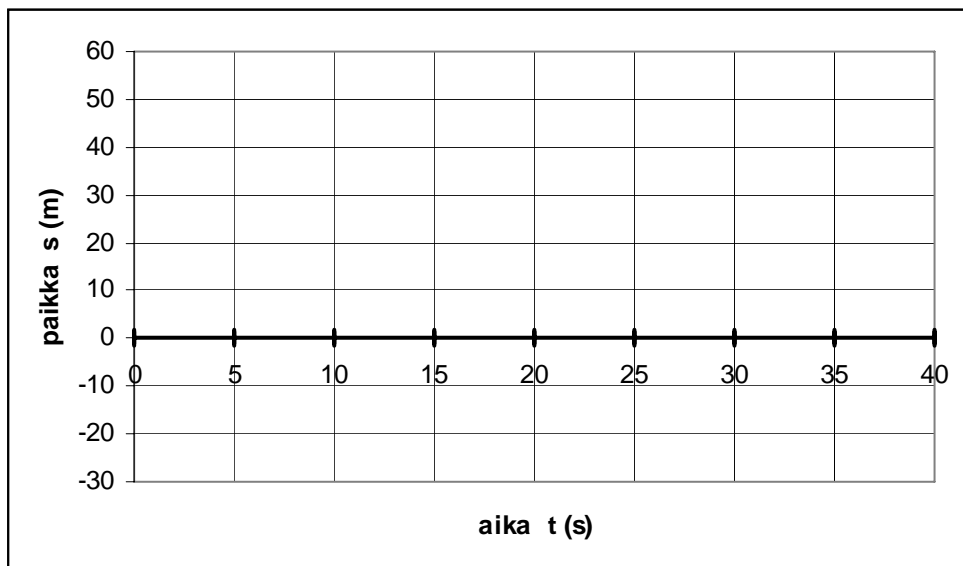
	<p>kaikki kokosivat laitteiston ennen kuin siirryttiin luokan perälle täyttämään Testin 3 lomakkeita, jotka olin etukäteen jakanut luokan takaosaan pöydille. Mittauslaitteiston kokoaminen tapahtui opiskelijoilta hyvin kätevästi. Tietokonetta käytettiin etummaisella luentosalin pöydällä ja kinesteettistä koetta tehtiin takimmaisella pöydällä. Näin kaikki näkivät kuvaruudulle ja tietokoneen käyttäjä käynnisti mittauksen. Työskentely oli hyvin yhteistoiminnallista ja opiskelijat keskustelivat kuvaajista ja käden liikkeestä hyvin pohtivasti. Havaittiin, että tietokoneen mittausohjelman käyttö oli sujuvaa aikaisempien kinesteettisten kokeiden perusteella. Opiskelijat tekivät kinesteettiset kokeet 2-3 hengen ryhmissä. Käytössä oli 6 mittauslaitteistoa. Yksi tietokone piti vaihtaa ennen kuin kaikki mittalaitteet saatiin toimimaan.</p> <p>Testin 3 kuvaajan tuottaminen oli alussa vaikeaa, samoin kuvaajan tulkinta. Opiskelijoiden tuottamista kuvaajista opettaja teki kysymyksiä: Mitä negatiivinen ja positiivinen kiihtyvyys tarkoittaa nopeuden kannalta? Miten kiihtyvyysanturin nuolen suunta näkyy kiihtyvyydessä? Pohdittiin myös kiihtyvyysanturin toimintaa: Kun lähdetään liikkeelle nuolen suuntaan, niin kuvaruudulla aluksi kiihtyvyys on positiivista. Jos taas lähdetään nuolen suunnalle vastakkaiseen suuntaan, niin silloin kiihtyvyys onkin kuvaajassa aluksi negatiivista. Opiskelijat sanoivat ymmärtäneensä, mitä nopeuden ja käden liikkeen kannalta tarkoittaa kiihtyvyyden merkin muuttuminen.</p> <p>Kinesteettiset kokeet veivät paljon aikaa ja jouduin aikataulussa pysymisen vuoksi neuvomaan ryhmille uuden funktion, nopeuden, määrittämisen. Pohdin ryhmien kanssa vielä kuvaruudulla näkyvien nopeuskuvaajan ja kiihtyvyytkuvaajan pohjalta, mitä tarkoittaa kiihtyvyyden merkin muuttuminen. Opiskelijoiden D ja K ryhmä valmistui muita aikaisemmin eikä heitä haluttanut tehdä muita tutkimuksia kiihtyvyysanturilla, joten he aloittivat testin tekemisen muita aikaisemmin.</p> <p>Tunnin lopussa opiskelijat täyttivät Testin 3 lomakkeen loppuosan perusteluineen. Testiin 3 vastaaminen vei opiskelijoilta pitkän ajan, isolta osalta noin 10 – 15 minuuttia eli he käyttivät välituntia vastaamiseen. Ensin testistä valmistuneet opiskelijat veivät laitteistot luokan edessä oleviin vaunuihin. Opettajalle jäi aikamoinen sekasotku välineitä ja johtoja järjestettäväksi tietokoneiden kuljetusvaunuun, vaikkakin jokaisen Vernierin laitteiston välineille oli alussa jaettuna oma pahvilaatikko.</p>
Pe 30.4.04	<p>Testin 3 selittäminen. Kotitehtävistä taululle tehtiin opiskelijoiden pyynnöstä vain tehtävä L56. Lopputunnista aloitettiin pohtiminen vuorovaikutuksen ilmenemisestä voimana F. Pohjustettiin mittausta (sama kuin oppikirjassa sivulla 39), josta johtopäätöksenä sai kappaleen liikeyhtälön <math>F = ma</math> eli dynamiikan peruslain. Mittaus suoritettiin ilmatyynyradalla valoporttien avulla. Mittauspohjana käytettiin LoggerPro-mittausohjelman pohjaa, joka löytyi valikosta reitiltä: Experiment, Probes&amp;Sensors, Photogates, Gate and Pulse Timer. Lisäksi oli manuaalisesti lisätty sarakkeet systeemin massalle, punnuksen massasta lasketulle vakiovoimalle, mitatusta kiihtyvyydestä systeemin massan avulla lasketulle voimalle ja teoreettiselle kiihtyvyydelle. Näihin sarakkeisiin kone laski arvot heti, kun massan arvot saatiin syötettyä mittauksen lopuksi ohjelmaan.</p> <p>Mittausta suoritti neljä opiskelijaa. Kaksi tyttöopiskelijaa F ja P huolehtivat systeemin massojen punnitsemisesta ja kirjauksesta taululle. Poikaopiskelijoista A huolehti vaunun lähettamisestä ja G tietokoneen osuudesta mittauksen aikana. Mittaukseen osallistujien yhteistyö oli luontevaa. Mittaus kesti kuitenkin sen verran kauan (10 – 15 minuuttia), että muille luokan opiskelijoille näytti aika tulevan pitkäksi. Opiskelijoille oli tosin annettu tehtäväksi kirjoittaa mittaustuloksia vihkoonsa samaan aikaan kuin mittaus edistyi. Mittauksen idea tuntui selvältä. Opettaja kertoi myös opiskelijoille, että mittaamisen suunnittelu oli vienyt edellisenä päivänä 3-4 tuntia harjoitteluaikaa ja hän oli tarvinnut kahden kollegan konsultointia, jotta oikea mittauspohja löytyi ja mittaus saatiin toimimaan ja hienosäädöt valoporttien toimintaan ja välimatkaan liittyen tehtyä.</p>
Ma 3.5.04	<p>Voiman impulssi. Kosketusvoimat. Langan jännitysvoima. Pinnan tukivoima. Kaksi opiskelijaa teki demonstraatiomittauksen voima-anturilla. Sitten tehtiin mittauksia erilaisista käden törmäyksistä anturiin, pitkä- ja lyhytkestoinen törmäys. Määriteltiin voiman impulssi.</p> <p>Välitunnilla opiskelijoilla oli mahdollisuus käyttää voima-anturia. Laite kiinnosti ja opiskelijat halusivat saada pikkuisen demonstraatioissa käytetyn VW-auton, jolla tehdä törmäyksiä anturiin. Anturista oli kiinnostuneita 4-5 poikaa ja 2 tyttöä, ja he viettivät välitunnin sillä erilaisia kokeita tehden. Toisella tunnilla tehtiin harjoituksen L129 kuvaajaan ja teoriaosan s.50 vastaavaan aiheeseen liittyen mittaus, jossa voima-anturiin ripustettua punnusta nostettiin nopeasti ylöspäin ja sitten liike pysäytettiin. Käytiin läpi oppikirjan teoriaa pohdiskellen voimien suuntia ja suuruuksia ja esimerkki 2 s. 54 laskien se läpi. Tehtiin tehtävän P124 a)-kohta.</p>

**Kinesteettinen liikkumistesti 5.4.2004**

Nimi kokonaan \_\_\_\_\_

Testin aikana on tarkoitus kävellä koulun pihalla suoralla radalla opettajan ohjeiden mukaisesti. Ajanhetkellä nolla sekuntia lähdetään liikkeelle paikasta nolla metriä. Positiivinen suunta määritellään ulkona ennen liikkeelle lähtöä. Liikkeeseen liittyvät tiedot (paikkakoordinaatti, liikkeen suunta, suunnan kuvaus) kirjataan sekä taulukkoon että t,s-koordinaatistoon heti kunkin liikejakson jälkeen. Kuvaajaa täydennetään myös liikejaksojen jälkeen.

Aikaväli $\Delta t$ (s)	Paikka s (m)	Suunta (+ / -)	Suunnan kuvaus	Liikkumistapa
0 – 10				hidas kävely
10– 20				nopea kävely
20– 25				paikallaan
25 – 30				hölkkää
30 -40				kovaa juoksua

**Kuvaajasi liittyvät kysymykset?**

1. Kuinka pitkän matkan etenit aikavälillä 5s – 15 s? \_\_\_\_\_
2. Mitä tarkoittaa liikkeen etenemisen kannalta jyrkästi ja loivasti nouseva suora?  
\_\_\_\_\_
3. Mitä tarkoittaa liikkeen etenemisen kannalta nouseva ja laskeva suora?  
\_\_\_\_\_
4. Mitä tarkoittaa, kun kuvaaja on vaakasuora?  
\_\_\_\_\_
5. Ilmoita laskulausekkeen avulla kuinka pitkän matkan liikutit kaikkiaan testin aikana?  
\_\_\_\_\_

**Taulukko 5. Ensimmäinen opetuskokeilu. Opiskelijoiden A – H monivalintatulokset sekä ennen kinesteettisiä kokeita että niiden jälkeen sekä verrattu niitä opiskelijoiden antamiin sanallisiin perusteluihin. Tähdellä (\*) on merkitty, jos ensimmäinen vastaus on oikein ja kinesteettisen kokeen jälkeen on valittu väärä vastaus.**

		Valinnat 1 ja 2 oikein sekä perustelu on oikein , väärin tai vastaamatta			Valinta 1 väärin ja valinta 2 oikein sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinnat 1 ja 2 väärin sekä perustelu on väärin tai vastaamatta	
		oikein	väärin	ei vast.	oikein	väärin	ei vast.	väärin	ei vast.
<b>Testi 1</b>	Kysymys 1	A, C, E G, H	B, D						
	Kysymys 2	A, C, D, E, G	B		H				
	Kysymys 3	C, D, E			A, H	G		B	
<b>Testi 2 Kuvaaja 1</b>	Kysymys 1		A, B, C, E, F, H	G					
	Kysymys 2	A, E, H	B, F	C, G					
	Kysymys 3	A, E, H	B, F,	C, G					
<b>Testi 2 Kuvaaja 2</b>	Kysymys 1	E			H	G		A, B, F	C
	Kysymys 2	A, E						B, F, H	C, G,
	Kysymys 3	A, E		G				B, F	C, H
<b>Testi 3</b>	Kysymys 1	E	F, H	B, C,			G	A*	
	Kysymys 2	A					G, H	B, E, F	C
	Kysymys 3	E	A, F		H			B*	C, G
<b>Yht.</b>	12	27	17	8	5	2	3	14	8
		32,1 %	20,2 %	9,5 %	6,0 %	2,4 %	3,6 %	16,7 %	9,5 %

**Taulukko 6. Toinen opetuskokeilu. Opiskelijoiden A – Ä monivalintatulokset sekä ennen kinesteettisiä kokeita että niiden jälkeen sekä verrattu niitä opiskelijoiden antamiin sanallisiin perusteluihin. Tähdellä (\*) on merkitty, jos ensimmäinen vastaus on oikein ja kinesteettisen kokeen jälkeen on valittu väärä vastaus. Heittomerkillä ( ' ) on merkitty, jos vastaus on väärin, mutta perustelu oikein.**

		Valinnat 1 ja 2 oikein sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinta 1 väärin ja valinta 2 oikein sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinnat 1 ja 2 väärin sekä perustelu on väärin tai vastaamatta	
		oikein	väärin	ei vast.	oikein	väärin	ei vast.	väärin	ei vast.
Testi 1	Kysymys 1	B C E G K L O Q S U	F H		N, P R	D J M			
	Kysymys 2	B C D E G H J K L N O P Q R U	F M				S		
	Kysymys 3	B E K L O R U	F H		C G	M		D J N P Q S	
<b>Testi 2</b> <b>Kuvaaja</b> <b>1</b>	Kysymys 1	C I	A B N S T U V					F L * O R	
	Kysymys 2	B C I L R U V	F N O T			S		A	
	Kysymys 3	B C I L N R U V	F T			S		A O *	
<b>Testi 2</b> <b>Kuvaaja</b> <b>2</b>	Kysymys 1	B U				F T		A C I L N O R ' S V	
	Kysymys 2		A B S		T			C * F I L N O R U * V	
	Kysymys 3	A B T U	F		L	C N O		I R S V	
<b>Testi 3</b>	Kysymys 1	B H P R U Y Z Ä	A C E O X	M	D V	N		J ' K L	
	Kysymys 2	H O	C E N P R X Y Z Ä		A D J	B L V		K U	M
	Kysymys 3	H Z	C U X Y Ä	M	O	B K		A D J L N * P R * V	E
<b>Yhteensä</b>	<b>12</b>	67	42	2	13	17		50	1
		34,9 %	21,9 %	1,0 %	6,8%	8,9 %		26,0 %	0,5 %

**Taulukko 7. Kolmas opetuskokeilu. Opiskelijoiden monivalintatulokset sekä ennen kinesteettisiä kokeita että niiden jälkeen sekä verrattu niitä opiskelijoiden antamiin sanallisiin perusteluihin. Opiskelija L ei osallistunut testin 1 molempiin osiin, joten häntä ei ole kirjattu testin 1 tuloksiin. Tähdellä (\*) on merkitty, jos ensimmäinen vastaus on oikein ja kinesteettisen kokeen jälkeen on valittu väärä vastaus. Opiskelija H ei vastannut Testin 3 loppuosaan. Opiskelijan perustelu M\*1) on mielekäs.**

		Valinnat 1 ja 2 oikein sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinta 1 väärin ja valinta 2 oikein sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta			Valinnat 1 ja 2 väärin sekä perustelu on oikein, väärin tai vastaamatta	
		Oikein	väärin	ei vast.	oikein	väärin	ei vast.	väärin	ei vast.
Testi 1	Kysymys 1	A,B,C,E, F,I,J,K, M,NO,P, Q,R	D,G,H						
	Kysymys 2	A,B,C,D K,M,O,	E,G,H,I, J,N,R		Q			F,P	
	Kysymys 3	A,B,E,F, I,J,MN,P	H		C,K,Q			D,G,O,R	
Testi 2 Kuvaaja 1	Kysymys 1	A,C,D,E F,G,I,J,K L,M,N,Q R	B,P		H				
	Kysymys 2	A,B,C,D E,F,G,I,J K,L,M,N P,Q,R		H					
	Kysymys 3	A,B,C,D E,F,G,K L,M,N,Q R	I,J,P	H					
Testi 2 Kuvaaja 2	Kysymys 1	E,G			A,I			B,C*,DF, J,K,L,M, N,P,Q,R	H
	Kysymys 2	A,C,E,G N	J			D		B,F,I,K,L M,P,Q,R	H
	Kysymys 3	A,B,C,D E,G,J,N	F		L,M,Q	I		K,R	H ja P ei vastausta
Testi 3	Kysymys 1	B,D,E,F, G,K,R	J,M,P		A,N	C,L,			H
	Kysymys 2	N			C,D,G,K, L,R	A,M		B,E*,F,J, P	H
	Kysymys 3	G,K,L,P	A,C,F,J, N			D		A,E* M*1), R	H
Yht.	12	100	26	2	18	7	0	38	7
		51,0 %	13,3 %	1,0 %	9,2 %	3,6 %	%	19,4 %	3,6 %

**Testi 1: Ensimmäinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opiskelija</b>	<b>1. Kuinka suuri nopeus on hetkellä 4,5 sekuntia?</b>
<b>A</b>	”En vaihda, koska kuvaajasta näkee selkeästi, että 4,5:n s:n kohdalla kappale ei liiku. Aika kuluu, matka ei kasva.”
<b>B</b>	”Samat vastaukset, sillä kuvaajasta kävi ilmi, että asia pitää paikkansa. Etäisyydet eivät muuttuneet kokeilun jälkeen”
<b>C</b>	”4 – 5 s kohdalla matka pysyy samana nopeus siis 0 m/s”
<b>D</b>	”Käyrä ei liiku ollenkaan ylös- tai alaspäin, eli tällöin ollaan paikoillaan”
<b>E</b>	”Liikuttu matka ei muutu 4,5 s:n kohdalla”
<b>F</b>	Poissa
<b>G</b>	”Matka pysyy samana jolloin tietenkään ei liikuta”
<b>H</b>	”Koska hetkellä 4,5 s ei liikuttu”
<b>Opiskelija</b>	<b>2. Millä välillä liikutaan poispäin lähtöpisteestä?</b>
<b>A</b>	”En vaihda, koska matka ja aika molemmat kasvavat sinä aikana”
<b>B</b>	”Samat vastaukset, sillä kuvaajasta kävi ilmi, että asia pitää paikkansa. Etäisyydet eivät muuttuneet kokeilun jälkeen”
<b>C</b>	”2 – 3 s käyrä on nouseva; liike tapahtuu lähtöpisteestä poispäin”
<b>D</b>	”Testissä minä ainakin liikuin. Ja näkeehän sen kuvaajasta.”
<b>E</b>	”Ainoa väli, jossa liikuttu matka suurenee”
<b>F</b>	Poissa
<b>G</b>	”koska matka suurenee jolloin liikutaan pois anturista”
<b>H</b>	”Koska silloin liikutaan poispäin kun 6 – 7 s liikutaan lähemmäs”
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Kuinka kaukana lähtöpisteestä olet 8 sekunnin kohdalla?</b>
<b>A</b>	”Hahhaa! En aluksi huomannut, että matkaa kysytään lähtöpisteestä, eikä nollasta.”
<b>B</b>	”Samat vastaukset, sillä kuvaajasta kävi ilmi, että asia pitää paikkansa. Etäisyydet eivät muuttuneet kokeilun jälkeen”
<b>C</b>	”Hetkellä 8 s ollaan kohdassa 1,75 m $1,75 \text{ m} - 1 \text{ m} = 0,75 \text{ m}$ ”
<b>D</b>	”Liikkeelle lähdetään metrin etäisyydeltä liikettä kuvaavasta laitteesta ja lopuksi päädyttiin 1,75 m:n päähän lähtöpisteestä, eli 0,75 m:n päähän lähtöpisteestä”
<b>E</b>	” $1,75 \text{ m} - 1,0 \text{ m} = 0,75 \text{ m}$ ”
<b>F</b>	Poissa
<b>G</b>	Katsoin väärin ajattelin on lähtöä vaikka sanottiin selvästi lähtöpisteen kohdalta”
<b>H</b>	”Lähtöpiste on jo metrin päässä”

**Testi 2, Kuvaaja 1: Ensimmäinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opiskelija</b>	<b>1. Millä aikavälillä liikutaan nopeimmin?</b>
<b>A</b>	” Kuvaajasta katson, että tällä kohdalla kiihtyvyys on tasaisen nopeaa. Nopeus on myös kyseeseen tulevista aikaväleistä suurinta juuri kyseisellä aikavälillä.”
<b>B</b>	” Aika-matka-kuvaajia on tullut katsottua aikojen saatossa, aika-nopeus-kuvaajat ovat asia erikseen.”
<b>C</b>	”Kulmakerroin jyrkin sisimmällä aikavälillä”
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	”Annetuista aikaväleistä nopeus on ilmanmuuta suurin 2 – 4 s.”
<b>F</b>	”kokeet eivät muuttaneet päätelmiäni millään lailla (kokeet eivät valaisseet käyrien luonnetta)”
<b>G</b>	Ei annettu selitystä
<b>H</b>	”Koska muulloin ollaan pysähdyksissä”
<b>Opiskelija</b>	<b>2. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 1 s – 2 s?</b>
<b>A</b>	1 – 2 s:n matkalla aikaa kuluu 1 s. Matka kasvaa 0,5 m, joten tulokseksi saamma helposti 0,5 m/s”
<b>B</b>	” Aika-matka-kuvaajia on tullut katsottua aikojen saatossa, aika-nopeus-kuvaajat ovat asia erikseen.”
<b>C</b>	Ei annettu selitystä
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	”Henkilön liikkuma matka aikavälillä 1 – 2 s on 1,5 m – 1 m = 0,5 m eli nopeus on 0,5 m/s.”
<b>F</b>	”kokeet eivät muuttaneet päätelmiäni millään lailla (kokeet eivät valaisseet käyrien luonnetta)”
<b>G</b>	Ei annettu selitystä
<b>H</b>	” Koska eteenpäin mennään puoli metriä sekunnissa”
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 6 s– 7 s?</b>
<b>A</b>	”Tapaus on samanlainen kuin kohdassa 2. Tässä matka kuitenkin pienenee, ja voimme nähdä, että ajan kuluessa 1:llä sekunnilla, matka lyhenee 0,5 m. Nopeus on siis – 0,5 m/s”
<b>B</b>	” Aika-matka-kuvaajia on tullut katsottua aikojen saatossa, aika-nopeus-kuvaajat ovat asia erikseen.”
<b>C</b>	Ei annettu selitystä
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	” Nopeus negat, koska liikutaan takaisin sensoria päin. Perustelut muuten aika samanlaiset kuin yllä.”
<b>F</b>	”kokeet eivät muuttaneet päätelmiäni millään lailla (kokeet eivät valaisseet käyrien luonnetta)”
<b>G</b>	Ei annettu selitystä
<b>H</b>	” koska tullaan takaisinpäin puoli metriä sekunnissa”

**Testi 2, Kuvaaja 2: Ensimmäinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opiskelija</b>	<b>1. Millä hetkellä liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin?</b>
<b>A</b>	” Tässä kohdassa kiihtyvyys on tavallaan negatiivista mittalaitteen suhteen, joka tarkoittaa lähtöpisteeltä päin liikkumista.”
<b>B</b>	”Vastaisin eri tavalla todennäköisesti, sillä kuvaajaa katsellessani huomasin, että vaikka nopeus pysyi samana, liike ei pysähtynyt.”
<b>C</b>	Ei sanallista selitystä.
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	” Nopeus negatiivinen 9 s:n kohdalla.”
<b>F</b>	”Kokeissa ei ilmennyt mitään, mikä kumoaisi edelliset päättelyt. Lisäksi kokeet olivat niin sekavia, että järkipäätely tuntui varmimmalta tavalta saada oikea vastaus.”
<b>G</b>	”Katsoin että 7 olisi kuvaajan ala pää
<b>H</b>	”koska esim. hetkellä 5 s ollaan pysähdyksissä”
<b>Opiskelija</b>	<b>2. Millä hetkellä ollaan mahdollisimman etäällä lähtökohdasta?</b>
<b>A</b>	” kohdissa 2 – 5 s oltiin liikuttu pois päin lähtöpisteestä. 5 – 6 s:n kohdalla ollaan siis kauimpana, koska negatiivinen kiihtyvyys eli lähestyminen ei ole vielä alkanut”
<b>B</b>	”Vastaisin eri tavalla todennäköisesti, sillä kuvaajaa katsellessani huomasin, että vaikka nopeus pysyi samana, liike ei pysähtynyt.”
<b>C</b>	Ei sanallista selitystä.
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	” 6 s:n kohdalla ollaan paikoillaan ja sitä ennen on liikuttu vain pois päin. Seuraava liikkuminen tapahtuukin taaksepäin”
<b>F</b>	”Kokeissa ei ilmennyt mitään, mikä kumoaisi edelliset päättelyt. Lisäksi kokeet olivat niin sekavia, että järkipäätely tuntui varmimmalta tavalta saada oikea vastaus.”
<b>G</b>	Ei sanallista selitystä.
<b>H</b>	”Silloin oltiin etäimmässä pisteessä”
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Kuinka kaukana käytiin lähtöpisteestä?</b>
<b>A</b>	”Tasaisen vauhdin, joka on 0,5 m/s, keston (3 s) huomioon ottaen, on mitattava kappale tullut pisteeseen, joka on 1,5 m mittalaitteesta.”
<b>B</b>	”Vastaisin eri tavalla todennäköisesti, sillä kuvaajaa katsellessani huomasin, että vaikka nopeus pysyi samana, liike ei pysähtynyt.”
<b>C</b>	Ei sanallista selitystä.
<b>D</b>	Poissa
<b>E</b>	”pois päin liikkumista tapahtui 3 s:n ajan nopeudella 0,5 m/s. $0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$ ”
<b>F</b>	”Kokeissa ei ilmennyt mitään, mikä kumoaisi edelliset päättelyt. Lisäksi kokeet olivat niin sekavia, että järkipäätely tuntui varmimmalta tavalta saada oikea vastaus.”
<b>G</b>	Ei sanallista selitystä.
<b>H</b>	Ei sanallista selitystä.



**Testi 3: Ensimmäinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opis- kelija</b>	<b>1. Millä hetkellä kiihtyvyys on suurin?</b>
A	”En ole asiasta aivan varma, mutta kiihtyvyyttä on negatiivinenkin kiihtyvyys, joten ajattelin, että vastaus olisi tuo.”
B	Ei annettu sanallista selitystä
C	Ei annettu sanallista selitystä
D	Poissa
E	”y-akseli kuvaa siis kiihtyvyyttä. 0,55 s:n kohdalla käyrä poikkeaa eniten nolasta. Kiihtyvyys on negatiivista”
F	”En halua, kokeet eivät valaisseet käyrän luonnetta laisinkaan (ei ainakaan enemmän kuin päättely)”
G	Ei annettu sanallista selitystä
H	”Silloin kiihtyvyys kasvaa nopeasti”
<b>Opis- kelija</b>	<b>2. Millä hetkellä käsi voi liikkua kohti lähtöpistettä?</b>
A	”kuvaajasta näkee, että tällä kohdalla käy näin. Myös omissa mittauksissa se ilmeni”
B	”Vastaan uudella tavalla, sillä negatiivinen kiihtyvyys ei vaikuta nopeuteen.”
C	Ei annettu sanallista selitystä.
D	Poissa
E	”0,7 s:n kohdalla on tapahtunut enemmän kiihtyvyyttä negatiivisesti eikä kiihdytysten välillä ole kauhean suurta aikaeroa eli etenemistä ei välttämättä tapahdu eteenpäin”
F	”En halua, kokeet eivät valaisseet käyrän luonnetta laisinkaan (ei ainakaan enemmän kuin päättely)”
G	Ei annettu sanallista selitystä.
H	Ei annettu sanallista selitystä.
<b>Opis- kelija</b>	<b>Millä hetkellä nopeuden muutos on suurin?</b>
A	”kiihtyvyyssäikäyrä muuttuu kaikista jyrkimmin siinä. Ajattelin, että siksi vastaus olisi tuo.”
B	”nopeus muuttuu tällä hetkellä nimenomaan eniten.”
C	Ei annettu sanallista selitystä.
D	Poissa
E	”Tällöin kiihtyvyys on suurin”
F	”En halua, kokeet eivät valaisseet käyrän luonnetta laisinkaan (ei ainakaan enemmän kuin päättely)”
G	Ei annettu sanallista selitystä.
H	”Silloin kiihtyvyys on suurin”

**Testi 1: Toinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opis- kelija</b>	<b>1. Kuinka suuri nopeus on hetkellä 4,5 sekuntia?</b>
<b>B</b>	Kuvaaja on vaakasuora, aika kuluu mutta matka ei lisääny
<b>C</b>	Koska ei ole liikettä
<b>D</b>	Nopeutta voi olla vain silloin, kun edetään eli etäisyys lähtöpisteestä kasvaa. Tässä tapauksessa ei kasva.
<b>E</b>	Koska tuona aikana ei liikuttu
<b>F</b>	Turha vaihtaa oikeaa väärään.
<b>G</b>	Ei ole liikettä
<b>H</b>	Koska $(2,5s)/(4,5m) = 0,555 \text{ m/s}$
<b>J</b>	Paikallaanolo saa suoran viivan aikaan kuvaajassa. Luin kai ensimmäisellä kerralla kysymyksen väärin...
<b>K</b>	Nopeus on 0 m/s 4,5 s kohdalla, sillä kuvaajan "paikka-suora" pysyy samana eli et liiku yhtään.
<b>L</b>	Jos matka ei etene, niin nopeus on 0 m/s.
<b>M</b>	Katsoin diagrammia huolimattomasti
<b>N</b>	Kineettisen testin aikana huomasin, että suoralla ei liikuttu
<b>O</b>	Silloin ei liikuta
<b>P</b>	Ilmeisesti nopeus ja paikka menivät sekaisin eli tasainen liike ja (tasainen) paikallaan seisonta ovat tietenkin eri asia. Koe kertoi totuuden.
<b>Q</b>	Silloin kun etäisyys ei muutu mutta aika kuluu, henkilö on paikallaan
<b>R</b>	Nopeus on nolla, koska siirtymä paikka-akselilla on nolla kyseisellä hetkellä.
<b>S</b>	Kun ei liikuta mihinkään niin ei silloin ole nopeutta. Siis en muuttanut vastausta, koska en halua vaihtaa oikeaa vastausta vääräksi
<b>U</b>	Nopeus on 0 m/s koska etäisyys ei muutu
<b>Opis- kelija</b>	<b>2. Millä välillä liikutaan poispäin lähtöpisteestä?</b>
<b>B</b>	Kuvaaja kasvaa oikealle, eli liikkeen suunta on positiivinen, poispäin mittalaitteesta
<b>C</b>	Koska kuvaajasta näkyy selvästi että aika välillä 2 – 3 s etäisyys kasvaa
<b>D</b>	Etäisyyden kasvaessa liikutaan poispäin lähtöpisteestä. 2s:n kohdalla etäisyys on 1,5 m ja 3 s:n kohdalla jo 2 m.
<b>E</b>	Koska etäisyys kasvaa tuolla aikavälillä
<b>F</b>	Turha vaihtaa oikeaa väärään.
<b>G</b>	Etäisyys lähtöpisteeseen kasvaa tällä ajanvälillä
<b>H</b>	Näin vain on. Suora nousee, kun etäisyys kasvaa
<b>J</b>	Käyrä ylöspäin on poispäin liikkumista lähtöpisteestä
<b>K</b>	Välillä 2 – 3 s liikutaan poispäin lähtöpisteestä. 4 – 5 s pysytään paikalla ja 6 – 7 s palataan takaisin päin lähtöpisteeseen.
<b>L</b>	Koska 2 – 3 s aikana henkilö liikkuu poispäin lähtöpisteestä.
<b>M</b>	Vastaus oli oikea
<b>N</b>	Lähtöpiste on 1.0 tällä välillä se nousee 2.5 eli mennään kauemmaksi lähtöpisteestä
<b>O</b>	Se on todistettu käytännössä
<b>P</b>	Yleensä koordinaatistossa nouseva suora tarkoittaa eteenpäinmenoa. ( $\approx 1,5 \cdot 4 \text{ s}$ ). Aamutunnin haksahduksia
<b>Q</b>	Kun käyrä nousee ylöspäin, etäisyys kasvaa eli henkilö liikkuu poispäin lähtöpisteestä.
<b>R</b>	Silloin liikutaan poispäin lähtöpisteestä, koska etäisyys lähtöpisteeseen kasvaa.
<b>S</b>	En halua muuttaa oikeaa vastausta vääräksi. Siksi en muuttanut vastausta. Det är så lätt!
<b>U</b>	Aikavälillä 2 – 3 s. etäisyys alkupisteestä kasvaa
<b>Opis- kelija</b>	<b>Kuinka kaukana lähtöpisteestä olet 8 sekunnin kohdalla?</b>
<b>B</b>	8 s etäisyys nolasta 1,75 m, josta vähennetään lähtöpiste 1
<b>C</b>	8 sekunnin kohdalla ollaan noin 1,75 m etäisyydellä ja kun lähtöpiste on 1,0 m etäisyys on 0,75 m
<b>D</b>	Kuvaajasta nähdään, että kun 8 s on kulunut, ollaan 1,75 m:n päässä

<b>E</b>	$1,75 - 1 = 0,75$
<b>F</b>	Turha vaihtaa oikeaa väärään.
<b>G</b>	8 sekunnin kohdalla olen 0,75 m päässä lähtöpisteestä Vaihdoin, koska katsoin kuvaajaa väärin
<b>H</b>	Katsotaan kohta suoraan kuvaajasta
<b>J</b>	Välissä on tultu takaisinkin päin. Etäisyyden voi katsoa suoraan vasemmasta pystyakselista
<b>K</b>	Lähtöpiste on 1 m kohdalla, jolloin $1,75 \text{ m} - 1 \text{ m} = 0,75 \text{ m}$
<b>L</b>	Koska on lähdetty 1 m etäisyydeltä ja 8 s kohdalla ollaan n. 1,75 m kohdalla.
<b>M</b>	Katsoin diagrammia huolimattomasti
<b>N</b>	Käyrä laskeutuu 1,75 tasolle ja kineettisen testin aikana sen huomasi kun täytyi tehdä vastaava kuvaaja
<b>O</b>	Kuvaaja alkaa ykkösestä ja päättyy 1,75. Erotus on 0,75
<b>P</b>	Jos alussa oli 1 m, niin edellisten tietojen perusteella se oli kasvanut vähän ja koe varmisti asian
<b>Q</b>	Kun katson käyrää 8 sekunnin kohdalla, on etäisyys lähtöpisteestä 1,75 m
<b>R</b>	Kuvaajasta katsottuna erotus paikka-akselilla on 0,75 m eli se on etäisyys lähtöpisteestä.
<b>S</b>	Kuka nyt haluaisi oikean vastauksen muuttaa vääräksi? Siis säilytän jälleen oikean vastauksen, koska en halua muuttaa oikeaa vastausta vääräksi.
<b>U</b>	Loppupisteen ja alkupisteen erotus on 0,75 m $1,75 \text{ m} - 1,0 \text{ m} = 0,75 \text{ m}$

**Testi 2, Kuvaaja 1: Toinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opis- kelija</b>	<b>1. Millä aikavälillä liikutaan nopeimmin?</b>
<b>A</b>	Kaikilla aikaväleillä liikutaan samaa nopeutta
<b>B</b>	Suora pysyy koko matkan ajan vinona toisin kuin 6 – 8 s
<b>C</b>	B:ssä 2s:ssa etäisyys kasvaa 1 m, joten liikutaan $\frac{1}{2}$ m/s, kun taas A:ssa liikutaan $\frac{1}{2}$ m /2s ja C:ssä 0.75 m/ 2s.
<b>F</b>	en näe syytä vaihtaa vastausta
<b>I</b>	Suoran (kuvaaja) kohoaa silloin kohtisuorimpaan ylös, pisimmän jakson
<b>L</b>	Koska a&b:n nopeudet on n. 0,5 m/s ja c:n taas n. 1 m/s.
<b>N</b>	Täytyi liikkua 1.5 m/s
<b>O</b>	Kuvaaja on silloin jyrkimmillään
<b>R</b>	Kuvaaja oli silloin jyrkin eli silloin liikutaan nopeimmin.
<b>S</b>	laitoin tämän koska c) kohdan vastauksessa on myös tasaista nopeutta
<b>T</b>	en tehnyt kokeita tähän kuvaajaan liittyen
<b>U</b>	Lähes koko ajan liikutaan pois päin
<b>V</b>	Edelleenkin mielestäni oikea vaihtoehto.
<b>Opis- kelija</b>	<b>Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 1 s – 2 s?</b>
<b>A</b>	Vastaus voidaan laskea kuvaajasta
<b>B</b>	1 s aikana kuljetaan 0,5 m eli 0,5 m/s
<b>C</b>	Etäisyys kasvaa sekunnissa 0,5 m eli nopeus on $\frac{1}{2}$ m/s.
<b>F</b>	en näe syytä vaihtaa vastausta
<b>I</b>	$v = s/t = 0.5\text{m} / 1\text{s} = 0.5\text{m/s}$
<b>L</b>	Paikka muuttuu 0,5 m 1 sekunnin aikana => nopeus on 0,5 m/s
<b>N</b>	Täytyi liikkua 0.5
<b>O</b>	Kineettiset kokeet eivät mielestäni muuttaneet päätöstäni
<b>R</b>	Henkilö kulkee yhden sekunnin aikana puoli metriä, joten nopeus on 0,5 m/s.
<b>S</b>	Vaihdoin, koska katsoin aluksi väärin kuvaajan lukemaa.
<b>T</b>	en tehnyt kokeita tähän kuvaajaan liittyen
<b>U</b>	1 sekunnissa liikutaan 0,5 m pois päin lähtöpisteestä
<b>V</b>	Liikutaan 0,5 m 1 sekunnin aikana eteenpäin.
<b>Opis- kelija</b>	<b>3. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 6 s– 7 s?</b>
<b>A</b>	Vastaus voidaan laskea kuvaajasta (tarkastelu suunnat pitää ottaa huomioon)
<b>B</b>	1 s aikana liikutaan 0,5 m aloituspisteeseen päin, eli $-0,5$ m/s
<b>C</b>	Etäisyys lyhenee sekunnissa $\frac{1}{2}$ m, joten nopeus on $-0,5$ m/s.
<b>F</b>	en näe syytä vaihtaa vastausta
<b>I</b>	$v = s/t = -0.5\text{m} / 1\text{s} = -0.5\text{m/s}$
<b>L</b>	Paikka muuttuu 0,5 m 1 sekunnin aikana, negatiiviseen suuntaan => $-0,5$ m/s
<b>N</b>	Takaisin 0.5 m/s nopeudella
<b>O</b>	Päädyn lopulta tähän
<b>R</b>	Sama tilanne kuin edellä, mutta liikutaan vastakkaiseen suuntaan.
<b>S</b>	Katsoin taas aluksi kuvaajaa väärin.
<b>T</b>	en tehnyt kokeita tähän kuvaajaan liittyen
<b>U</b>	1 s liikutaan 0,5 m lähtöpistettä kohti
<b>V</b>	Liikutaan lähtökohtaan päin 0,5 m sekunnin aikana.

**Testi 2, Kuvaaja 2: Toinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

<b>Opis- kelija</b>	<b>1. Millä hetkellä liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin?</b>
<b>A</b>	Riippuen positiivisesta tarkastelusuunnasta niin
<b>B</b>	Nopeus on negatiivista 9 s, joten liikutaan lähtöpistettä kohti
<b>C</b>	Ultraäänilaitteen kanssa kokeillessa huomasi, että takaisin päin alettiin liikkua 5 s:n kohdalla.
<b>F</b>	Olin laskevinani etäisyyttä
<b>I</b>	Koska olen edelleen sitä mieltä, että kun kuvaaja lähtee takaisin kohti nollaa, niin liikutaan lähtöpistettä kohti
<b>L</b>	Koska muina aikoina ollaan joko paikoillaan tai kuljetaan pois päin lähtöpisteestä.
<b>N</b>	Täytyi liikkua kyseisessä kohdassa kohti anturia
<b>O</b>	Huomasin tämän kineettisessä kokeessa
<b>R</b>	Nopeus on negatiivista, joten silloin liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin.
<b>S</b>	No silloin nyt vaan liikutaan takaisin päin
<b>T</b>	Ei annettu sanallista perustelua.
<b>U</b>	Silloin nopeus on negatiivinen
<b>V</b>	Mielestäni oikea vaihtoehto.
<b>Opis- kelija</b>	<b>2. Millä hetkellä ollaan mahdollisimman etäällä lähtökohdasta?</b>
<b>A</b>	Annetuista vastauksista ainoa mahdollinen vastaus on B
<b>B</b>	Ollaan liikuttu 1,5 m ja pysähtynyt, eikä liikettä pois päin tapahdu 6 s jälkeen
<b>C</b>	Nopeus on 4 s:n kohdalla positiivinen arvo => liikutaan pois päin.
<b>F</b>	Ei syytä vaihtaa vastausta
<b>I</b>	Matkan pituudet ovat 4 s ja 8 s kohdalla samat mutta eri ”puolilla” lähtöpistettä.
<b>L</b>	Koska silloin kävellään 0,5 m/s nopeudella pois päin lähtöpisteestä, sitten taas ollaan paikoillaan ja lopuksi kävellään lähtöpistettä kohti - 0,5 m/s nopeudella.
<b>N</b>	Ennen tätä täytyi perääntyä ja tällä hetkellä seisottiin paikallaan kauimpana anturista
<b>O</b>	Silloin on liikuttu kaikista eniten. Käytännön kokeessa se näkyi selvästi
<b>R</b>	Silloin ollaan matkattu pisimpään pois päin.
<b>S</b>	Ei osaa sanoa
<b>T</b>	4 sekunnin kohdalla liike on tasaista ja 6 sek kohdalla ollaan pysähtynyt
<b>U</b>	Silloin on liikuttu kauiten positiivisella nopeudella.
<b>V</b>	Mielestäni oikea vaihtoehto.
<b>Opis- kelija</b>	<b>3. Kuinka kaukana käytiin lähtöpisteestä?</b>
<b>A</b>	laskulla saa laskemalla kun liikutaan 3 s      0,5 m/s nopeudella niin $0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$
<b>B</b>	3 s ajan kuljettiin 0,5 m/s, joten kuljettiin 1,5 m
<b>C</b>	Ultraäänilaitteen kanssa meni suunnilleen niin kauas...
<b>F</b>	Ei syytä vaihtaa vastausta
<b>I</b>	Kummallakin ”puolen”.
<b>L</b>	Jos kävellään 3 sekuntia 0,5 m/s nopeudella -> $m = v t$ $= \frac{1}{2} \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$
<b>N</b>	Täytyi kävellä 1,5 m/s n. 3 sekunnin ajan
<b>O</b>	Sain uuden kuvan asiasta kokeen jälkeen, joten muutin mielipidettäni
<b>R</b>	Kuvaajasta päätellen
<b>S</b>	Ei perusteluja

<b>T</b>	3 sekunnin ajan $0,5 \text{ m/s} = 1,5 \text{ m}$
<b>U</b>	Kuvaajassa liikutaan 3 s ajan nopeudella $0,5 \text{ m/s}$ joten silloin päästiin $1,5 \text{ m}$ päähän
<b>V</b>	Mielestäni oikea vaihtoehto.

**Testi 3: Toinen opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastausten perustelut.**

Opis- kelija	1. Millä hetkellä kiihtyvyys on suurin?
A	Tulkitsin kuvaajan akselistoa väärin.
B	Käyrä käy yli $-40 \text{ m/s}^2$ , kiihtyvyyttä on myös hidastuminen
C	Koska se näkyy kuvaajasta
D	$0,45 \text{ s}$ :n kohdalta katsoessa kuvaajan kiihtyvyyksien lukema on $40 \text{ m/s}^2$
E	Negatiivinen kiihtyvyys kertoo kappaleen suunnan
H	Tämän voi päätellä suoraan kuvaajasta. Vaikka kiihtyvyys on $-$ merkkistä se on joka tapauksessa suurin kohdassa $0,55 \text{ s}$ .
J	Käyrä on korkein, ja kun kiihtyvyydestä on kyse, niin $\Rightarrow$ kiihtyvyys on suurin
K	B vaihtoehdon kohdalla kiihtyvyyksien näyttää suurimman arvon, vaikkakin kiihtyvyys on negatiivista.
L	Kiihtyvyys eli nopeuden muuttuminen aikayksikköä kohden on suurin tässä kohdassa, vaikka kappale kiihtyykin negatiiviseen suuntaan
M	Ei annettu sanallista selitystä.
N	Kokeessa anturia liikutettiin positiiviseen suuntaan nopeasti. $0,51 \text{ s}$ kohdalla kappale oli pysähdyksissä.
O	Huomasi kokeessa ettei kiihtyvyys voi olla negatiivinen
P	Heilahdusliike anturin nuolen suuntaan nopein ja kuvaajan kärki pisimmällä
R	Kuvaaja on pisin kyseisellä hetkellä positiiviseen suuntaan.
U	Kiihtyvyys on silloin suurin ( $-45 \text{ m/s}^2$ ) mutta tällöin kyseessä on negatiivinen kiihtyvyys (Aluksi vastasin toisin koska, ajattelin kysyttävän $+$ kiihtyvyyttä)
V	Hetkellä $0,55 \text{ s}$ kiihtyvyys on n. $-42 \text{ m/s}^2$ . Sen itseisarvo on kuvaajan suurin.
X	Käyrä nousee lupaavasti
Y	Kuvaajan perusteella kiihtyvyys on $-45 \text{ m/s}^2$ eli suurin. $-$ merkki tarkoittaa suuntaa eikä konkreettisesti negatiivista.
Z	$40 > -45$
Ä	Suurin positiivinen arvo
Opis- kelija	2. Millä hetkellä käsi voi liikkua kohti lähtöpistettä?
A	Huomasin kokeesta, että $1,2 \text{ s}$ on oikein koska, liike tuossa kohtaa on jarruttavaa mutta lähtöpisteeseen palaavaa.
B	En ymmärtänyt kuvaajaa täysin
C	Koska se näkyy kuvaajasta
D	Kiihtyvyys on ensin mennyt negatiiviseksi eli on liikuttu negatiiviseen suuntaan ja sitten se palautuu $0 \text{ m/s}^2$ käyden $1,2 \text{ s}$ :n kohdalla positiivisella puolella.
E	Ei annettu sanallista selitystä.
H	Käsi voi liikkua kys. hetkellä kohti anturia, koska ensimmäiset plus ja miinusmerkkiset nytkähdykset johtuvat kiihtyvyyden kasvusta ja hidastumisesta, kun kättä siirretään lähtöpisteestä pois. Toiset siitä, kun se siirretään takaisin.
J	Toinen käyrä kuvaa kiihtyvyyttä taaksepäin
K	A vaihtoehdon kohdalla kiihtyvyys ainakin on hidastuvaa, jolloin sen voisi olettaa hidastuvan lisää ja palaavan lähtöpisteeseen. $0,7 \text{ s}$ ja $1,2 \text{ s}$ ovat jo lähtöpisteessä
L	Silloin kappaleella = kädellä on negatiivinen kiihtyvyys jolloin se todennäköisesti (riippuu kumpi suunta on $+$ ) liikkuu ns. taaksepäin
M	Ei annettu sanallista selitystä.
N	Kappaletta liikutettiin ekan kerran kohti lähtöpistettä koska kiihtyvyyden täytyi olla negatiivinen
O	Kokeessa tämä näkyi selvästi.
P	Negatiivinen kiihtyvyys ja kuvaaja lähtevät alaspäin juuri niin kuin oletetiinkin
R	Kiihtyvyys on negatiivista, joten silloin liikutaan lähtöpistettä kohti
U	Muissa kohdissa nopeus hidastuu. Kohdassa ( $0,7 \text{ s}$ ) liike on tasaista mutta sen suunnasta ei ole tietoa
V	Kiihtyvyys on negatiivinen eli liikutaan lähtöpisteeseen päin.

<b>X</b>	Käyrä lähtee aluksi laskuun
<b>Y</b>	0,5 kohdalla kyse on jarrutuksesta, mutta 1,2 kohdalla lähdetään 0-kiihtyvyydestä negatiiviseen suuntaan eli taaksepäin
<b>Z</b>	Ajassa 0,5 s käsi hidastaa vauhtiaan, ajassa 0,7 s käsi on paikoillaan. Ainoa mahdollinen vastaus on tämä.
<b>Ä</b>	Negatiivinen kiihtyminen
<b>Opis- kelija</b>	<b>3. Millä hetkellä nopeuden muutos on suurin?</b>
<b>A</b>	Koska nopeus on suurin.
<b>B</b>	En ymmärtänyt kysymystä
<b>C</b>	Koska se näkyy kuvaajasta
<b>D</b>	1,15 s:n kohdalla nopeus muuttuu positiivisesta arvosta sen vasta-arvoon, negatiiviseen. $a \rightarrow -a$
<b>E</b>	Ei annettu sanallista selitystä.
<b>H</b>	Kun kiihtyvyys kasvaa nopeus kasvaa, on se sitten miinus merkkistä tai ei
<b>J</b>	suurempi kiihtyvyys = nopeuden muutos
<b>K</b>	0,55 s kohdalla kuvaaja näyttää jyrkimmältä ... ( ? )
<b>L</b>	Koska silloin kappale on jo kiihtynyt (aikavälillä 1,1 s – 1,15 s) ja nopeus on ”huipussaan”.
<b>M</b>	Ei annettu sanallista selitystä.
<b>N</b>	Kappale kiihtyi ja saavutti tietyn nopeuden kiihtyvyys piikkejä verratessa voi todeta että se liikkui nopeammin kuin myöhemmin
<b>O</b>	Käyrässä on siinä vaiheessa suurin lukema.
<b>P</b>	pidempi käyrä
<b>R</b>	Silloin kiihtyvyys on suurin, joten myös nopeuden muutos on suurin
<b>U</b>	Tässä kohdassa kiihtyvyyden muutos, ja samalla nopeuden muutos on suurin, sillä kiihtyvyyden käyrä on jyrkin
<b>V</b>	Kiihtyvyyden kuvaajan rajaama pinta-ala on suurin eli nopeus on suurin.
<b>X</b>	Käyrän suurin lukema
<b>Y</b>	Näky kuvaajan jyrkkyydestä
<b>Z</b>	Kiihtyvyyden itseisarvo eli nopeuden muutos on suurin tällä hetkellä.
<b>Ä</b>	Suurin arvo



**Testi 1:**

Kolmannen opetuskokeilun kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastaukset selityksineen. Taulukon sarakkeissa merkintä 1 tarkoittaa, että opiskelija on ennen kinesteettisiä kokeita valinnut vaihtoehdon 1 ja kinesteettisten kokeiden jälkeen hän on valinnut vaihtoehdon 2. Oikea vastausvaihtoehto on lihavoitu. Opiskelija L oli poissa ensimmäisen tunnin, joten hänen testivastauksistaan puuttuu vastausvaihtoehto 1.

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>1. Kuinka suuri nopeus on hetkellä 4,5 sekuntia?</b>	2,5 m/s	<b>0 m/s</b>	- 2,5 m/s
<b>A</b>	Koska kuvaajan mukaan kohde pysyy paikoillaan hetkellä 4,5 . Sen etäisyys lähtöpisteestä ei muutu.		1, 2	
<b>B</b>	Vastaa samalla tavalla, oltiin paikallaan, vaakasuora kuvaaja		1, 2	
<b>C</b>	Paikka ei muutu, nopeus on nolla		1, 2	
<b>D</b>	Koska suora pysyy tasaisena		1, 2	
<b>E</b>	Sama vastaus $v = \Delta s / \Delta t$ paikan muutos on sen hetken 0 m nopeus siis 0 m/s. Kuvaaja vaakasuora		1, 2	
<b>F</b>	Koska olen paikallani joka tapauksessa ja paikallaan ei voi olla nopeutta, suora suora kuvaa paikallaan pysymistä		1, 2	
<b>G</b>	Sama vastaus. Jos tekisi uudelleen, vastaus tulisi nopeammin oman liikkumisen harjoittamisen luoman rutiinin pohjalta.		1, 2	
<b>H</b>	En vastaa uudella tavalla, sillä olen oikeassa		1, 2	
<b>I</b>	Nopeus on nolla eli ei liikuta, sillä kuvaaja on vaakasuora, eli hetkellä 4,5 sek ei matkaa tule lisää.		1, 2	
<b>J</b>	Kuvaajan mukaan kappale ei liiku aikavälillä		1, 2	
<b>K</b>	Kuvaaja on x-akselin suuntainen tässä kohdassa		1, 2	
<b>L</b>	Koska jos ei liiku niin viiva on vaakasuora		2	
<b>M</b>	Nopeus on 0 m/s, koska vaakasuora suora tarkoittaa paikallaan pysymistä.		1, 2	
<b>N</b>	Koska tuona aikana kappale on paikoillaan joten sillä ei ole nopeutta.		1, 2	
<b>O</b>	Koska metrimäärä ei muutu eli kuvaaja on vaakasuora		1, 2	
<b>P</b>	Esine on paikallaan kohdassa 4,5 s, koska kuvaaja on vaakasuora.		1, 2	
<b>Q</b>	Vastaa samoin koska olen edelleen sitä mieltä että kuvaajassa liikkuja on paikallaan.		1, 2	
<b>R</b>	Henkilö on paikallaan sama vastaus		1, 2	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>2. Millä välillä liikutaan pois päin lähtöpisteestä?</b>	<b>2 s – 3 s</b>	4 s – 5 s	6s – 7 s
<b>A</b>	Suora on sillä välillä nouseva, menee pois päin lähtöpisteestä.	1, 2		
<b>B</b>	Sama: kuvaajan suora nouseva, lähtöpaikasta etäännyvä	1, 2		
<b>C</b>	Kun kuvaaja nousee liikutaan pois päin aloitus kohdasta	1, 2		
<b>D</b>	koska suora nousee	1, 2		
<b>E</b>	Positiivinen suunta pois päin	1, 2		
<b>F</b>	Siinä kohtaan suoran suunta on alaspäin ja se tarkoittaa sitä, että suunta muuttuu ja liikutaan taaksepäin			1, 2

<b>G</b>	Sama vastaus. Jos tekisi uudelleen, vastaus tulisi nopeammin oman liikkumisen kartoittamisen luoman rutiinin pohjalta.	1, 2		
<b>H</b>	En vastaa uudella tavalla, sillä olen oikeassa	1, 2		
<b>I</b>	Sillä ajalla 4 – 5 s ei liikuta ja 6 – 7 s kuvaajan mukaan matkaa tehdään lähtöpisteeseen kohti. Eli välillä 2 – 3 s mennään pois päin lähtöpisteestä	1, 2		
<b>J</b>	Koska kuvaaja kertoo näin	1, 2		
<b>K</b>	Kuvaaja nousee eli etäisyys lähtöpisteestä nousee	1, 2		
<b>L</b>	Koska silloin etäisyys mittauspisteestä suurenee	2		
<b>M</b>	Välillä 2 – 3 s liikutaan positiivista liikettä eli pois päin lähtöpisteestä.	1, 2		
<b>N</b>	Tällöin janan y-akselin arvo lähenee lähtöpistettä	1, 2		
<b>O</b>	Koska suora on nouseva	1, 2		
<b>P</b>	Kuvaajassa liikutaan pois päin kohdassa 6 – 7 s, koska suunta tapahtuu negatiiviseen suuntaan.			1, 2
<b>Q</b>	Vaihdoin vastausta koska aikavälillä 6 – 7 s liikkuja tulee takaisin päin lähtöpisteestä katsottuna.	2		1
<b>R</b>	Sama vastaus	1, 2		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Kuinka kaukana lähtöpisteestä olet 8 sekunnin kohdalla?</b>	1,75 m	4,25 m	<b>0,75 m</b>
<b>A</b>	Koska 8 s kohdalla etäisyys nolasta on 1,75 m ja lähtöpiste oli 1 m niin $1,75\text{m} - 1\text{m} = 0,75\text{m}$			1, 2
<b>B</b>	Vastauksen näkee y-akselilta + kuvaajasta $1,75\text{m} - 1,0\text{m} = 0,75\text{m}$			1, 2
<b>C</b>	Kuvaajan piste 8:n s:n kohdalla on 0,75 m päässä lähtöpisteestä, koska lähtöpiste on metrin päässä 0:sta	1		2
<b>D</b>	Koska y-koordinaatti näytti 1,75 8 sekunnin kohdalla	1, 2		
<b>E</b>	Matkan erotus on 0,75 m			1, 2
<b>F</b>	Alkukohtaan on sen verran matkaa suora alkaa sellaisesta kohdasta, mistä lukujen erotus on 0,75 m			1, 2
<b>G</b>	Sama vastaus. Jos tekisi uudelleen, vastaus tulisi nopeammin oman liikkumisen kartoittamisen luoman rutiinin pohjalta.	1, 2		
<b>H</b>	En vastaa uudella tavalla, sillä olen oikeassa			1, 2

<b>I</b>	1,75 m – 1 m = 0,75 m Kun aloitetaan 1:stä metristä, niin 8 sekunnin kohdalla ollaan 1,75 m kuljettu.			1, 2
<b>J</b>	Kun tarkastellaan 8 sek kohdalla kuvaajaa ja lähtöpisteessä niin piste on 0,75 m päässä			1, 2
<b>K</b>	Sillä lähtöpiste oli 1 m eikä 0	1		2
<b>L</b>	Ei annettu sanallista selitystä	2		
<b>M</b>	Etäisyys on 0,75 m, koska lähtöpiste on 1,0 m ja 8 sekunnin kohdalla piste on 0,75 m ylempänä			1, 2
<b>N</b>	Kun tarkastellaan lähtöpisteen ja 8 sekunnin kuluttua olevaa pistettä saadaan y-akselin arvoksi $ 1,75 - 1  = 0,75$			1, 2
<b>O</b>	Kuvaaja näyttää kohtaa 1,75 m 8 sekunnin kohdalla	1, 2		
<b>P</b>	Jos alkupiste on pisteessä 1,0 m ja 8 s kohdalla ollaan pisteessä 1,75 on näiden pisteiden ero 0,75 m.			1, 2
<b>Q</b>	Vastaaan uudella tavalla koska aiemmin en katsonut että lähtöpiste ei olekaan 0 m:ssä.	1		2
<b>R</b>	Sama vastaus	1, 2		

**Testi 2, Kuvaaja 1: Kolmas opetuskokeilu. Kuvaajaan 1 liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastaukset selityksineen: Taulukon sarakkeissa merkintä 1 tarkoittaa, että opiskelija on ennen kinesteettisiä kokeita valinnut vaihtoehdon 1 ja kinesteettisten kokeiden jälkeen hän on valinnut vaihtoehdon 2. Oikea vastaus on lihavoitu.**

		A	B	C
Opiskelija	1. Millä aikavälillä liikutaan nopeimmin?	0 s – 2 s	2 s – 4 s	6 s – 8 s
A	Koska kuvaajan aikavälillä 2 – 4 kappale on liikkeessä lähes kokoajan, kun taas muissa vaihtoehdoissa ollaan paikoillaan osan ajasta.		1,2	
B	Vastaa samalla tavalla, sillä kyseisellä aikavälillä liikutaan koko ajan pois päin lähtöpisteeseen nähden, ja silmämääräisesti nopeus eli toisin sanoen kuvaajasuoran jyrkkyys näyttäisi tällä välillä olevan suurempi/jyrkempi kuin välillä 6 – 8 s.		1,2	
C	Koska kuvaaja on silloin jyrkästi nouseva eikä aikavälillä pysähdytä kertaakaan		1,2	
D	Silloin käyrä on jyrkin		1,2	
E	Sama vastaus. V: 0 – 2s: (0,5m)/(2s) V: 2 – 4s: (1m)/(2s) ← Isoin nopeus V: 6 – 8s: (0,75m)/(2s)		1,2	
F	Vastaus on sama, koska suoran kulmakerroin kyseisellä välillä on jyrkin ja keskinopeus kyseisellä aika välillä on suurin		1,2	
G	Välillä 2-4s liikutaan 0,5m/s nopeudella (lähes) koko ajan, välillä 0-2s ollaan paikallaan ja välillä 6-8s on liikkeen lisäksi pysähtynyt vaihe, joka näkyy aikavälin keskinopeudessa.		1,2	
H	Kuvaajassa liikutaan 0,5 m/s välillä 2 - 4 s ja vain 0,75 m/s välillä 6 – 8s		2	1
I	Tuolla aikavälillä liikutaan lähes kokoajan, kun muissa vaihtoehdoissa on kohtia, joissa ei liikuta ollenkaan eikä niitten suorat ole jyrkempiä		1,2	
J	Koska kuvaajasta voi päätellä, että aikavälillä 2 – 4 s nopeus on 1m/s ja taas 6 - 8s ja 0 - 2s nopeus on < 1m/s		1,2	
K	Välillä 2s – 4s käyrä on vilsimmässä nousussa, välillä 6 – 8 lasku ei ole niin nopeaa kuin mitä nousu on välillä 2s – 4s		1,2	
L	Tällä aikavälillä liikutaan kokoajan. Liikutaan pidempi matka kuin esim. aikavälillä 6 – 8 s mutta kuitenkin samassa ajassa.		1,2	
M	Aikavälillä 2 – 4 s liikutaan nopeimmin, koska nopeus on suurin nousevan suoran yläpäässä (nopeus on tasaisesti kiihtyvää)		1,2	
N	Pysyin valitsemisani vaihtoehdossa. 2 – 4s kohdalla liikutaan pisin matka kahden sekunnin aikana ja $v = s/t$		1,2	
P	Aikavälillä 2 – 4s liikutaan nopeiten, koska suora on suht jyrkkä verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Muissa vaihtoehdoissa liike on tasaista (suora on vaakatasossa). Aikavälillä 2-4s kuljetaan pisin matka tiettyssä ajassa.		1,2	

<b>Q</b>	Vastaa samoin, henkilö ehtii kulkea pisimmän matkan kahdessa sekunnissa aikavälillä 2 – 4 s, eli nopeus on silloin suurin.		1,2	
<b>R</b>	B $\frac{1m}{2s} = \frac{1}{2} m/s$ C $\frac{0,75m}{2s} < \frac{1}{2} m/s$		1,2	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 1 s – 2 s?</b>	<b>0,5 m/s</b>	1,5 m/s	2,0 m/s
<b>A</b>	1,5 m – 1 m = 0,5 m, joten henkilön nopeus aikavälillä 1 – 2 s on 0,5 m/s	1,2		
<b>B</b>	Vastaa samalla tavalla, sillä kyseisellä aikavälillä eli yhden sekunnin aikana henkilö liikkuu 0,5 m. Nopeuden on tällöin oltava 0,5 m/s.	1,2		
<b>C</b>	Kuvaajasta saadaan matkanmuutos jaettuna ajanmuutoksella eli $\frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>D</b>	0,5 m/s koska $\frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>E</b>	V: 1 – 2 s: $(s_2 - s_1)/(t_2 - t_1) = (1,5 m - 1 m)/(2s - 1s) = (0,5m)/(1s) \quad V = 0,5m/s$	1,2		
<b>F</b>	Vastaus on sama koska $(1,5 m - 1 m)/(2s - 1s) = 0,5m/s$ Kyseiset kohdat ovat siis alue jolta kysyttiin nopeutta	1,2		
<b>G</b>	Kappale liikkuu kuvaajan perusteella 0,5 m 1s aikana, joten $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>H</b>	En vastaa	1,2		
<b>I</b>	Mittauksieni mukaan tuolla aikavälillä liikutaan 0,5 m $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{1,5m - 1m}{2s - 1s} = \frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>J</b>	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Delta s = 0,5 m \quad \Delta t = 1s$ $\frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>K</b>	Henkilö etenee välillä 1 – 2s 0,5 m, eli 0,5m/s	1,2		
<b>L</b>	Aikavälillä 1s – 2s liikutaan 0,5 m, eli yhden sekunnin aikana	1,2		
<b>M</b>	Nopeus lasketaan jakamalla matkan muutos ajan muutoksella, jolloin henkilön nopeudeksi aikavälillä 1 – 2 s tulee 0,5m/s.	1,2		
<b>N</b>	Henkilö liikkuu tuon sekunnin aikana 0,5 m joten $v = (0,5m)/(1s) \quad v = 0,5m/s$	1,2		
<b>P</b>	Henkilön nopeus on 0,5 m/s, koska henkilön kulkema matka on 0,5 m ja siihen käytetty aika on 1s. $\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,5m}{1s} = 0,5 \frac{m}{s}$	1,2		
<b>Q</b>	Vastaa samoin, henkilö liikkuu eteenpäin 0,5 m sekunnin aikana	1,2		
<b>R</b>	$\frac{0,5m}{1s} = 0,5m/s$	1,2		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Mikä on henkilön nopeus aikavälillä 6 s – 7 s?</b>	<b>- 0,5 m</b>	- 1,5 m	- 2,0 m/s

<b>A</b>	2,5 m – 2 m = 0,5 m ja koska liikkeen suunta on laskeva/negatiivinen, niin henkilön nopeus aikavälillä 6 – 7 s on –0,5 m/s	1,2		
<b>B</b>	Vastaan samalla tavalla, sillä kyseisellä aikavälillä henkilö liikkuu yhden sekunnin aikana 0,5 metriä takaisin päin lähtöpaikkaan nähden. Nopeus on tällöin –0,5 m/s.	1,2		
<b>C</b>	Kuvaajasta saadaan $\frac{-0,5m}{1s} = -0,5\frac{m}{s}$ (koska matka on ”negat”)	1,2		
<b>D</b>	Sama kuin äsken mutta negatiivisena	1,2		
<b>E</b>	V: 6-7s: $(s_2-s_1)/(t_2-t_1) = (2m-2,5m)/(7s-6s) = -0,5m/(1s)$ V: -0,5m/s	1,2		
<b>F</b>	Vastaus on sama, koska $(2,0m-2,5m)/(7s-6s) = -0,5m/s$ Otin toisiaan vastaavat luvut ja selvitin nopeuden	1,2		
<b>G</b>	Kappale liikkuu kuvaajan perusteella 0,5 m 1 s aikana negatiiviseen suuntaan, eli v = -0,5 m/s.	1,2		
<b>H</b>	En vastaa	1,2		
<b>I</b>	Sama perustelu kuin kakkosessa. $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2-s_1}{t_2-t_1} = \frac{2,0m-2,5m}{6s-7s} = \frac{0,5m}{-1s} = -0,5\frac{m}{s}$	1,2		
<b>J</b>	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ $\Delta s = -0,5 m$ $\Delta t = 1s$ $\frac{0,5m}{1s} = 0,5\frac{m}{s}$	1,2		
<b>K</b>	Henkilö etenee välillä 6 –7s –0,5m, eli –0,5m/s	1,2		
<b>L</b>	Aikavälillä 6s – 7s, eli yhden sekunnin aikana liikutaan negatiiviseen suuntaan 0,5 m	1,2		
<b>M</b>	Sama juttu kuin kohdassa kaksi, mutta nopeus on negatiivinen, koska suora on laskeva.	1,2		
<b>N</b>	Henkilö liikkuu tuona aikana 0,5 metriä takaisin päin joten v= (-0,5m)/(1s) v= - 0,5 m/s	1,2		
<b>P</b>	Henkilön nopeus aikavälillä on -0,5 m/s, koska hän kulkee 0,5 m 1 s sisällä. Lisäksi suora on laskeva, joten henkilö kulkee pois päin jostain pisteestä.	1,2		
<b>Q</b>	Vastaan samoin koska mielestäni kuvaaja näyttää henkilön liikkuvan 0,5 m taaksepäin yhden sekunnin aikana, eli nopeus on –0,5 m/s	1,2		
<b>R</b>	$-\frac{0,5m}{1s} = -0,5\frac{m}{s}$	1,2		

**Testi 2: Kuvaaja 2. Kolmas opetuskokeilu. Kuvaajaan 2 liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastaukset selityksineen: Taulukon sarakkeissa merkintä 1 tarkoittaa, että opiskelija on ennen kinesteettisiä kokeita valinnut vaihtoehdon 1 ja kinesteettisten kokeiden jälkeen hän on valinnut vaihtoehdon 2. Oikea vastaus on lihavoitu.**

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>1. Millä hetkellä liikutaan takaisin lähtöpisteeseen päin?</b>	5 s	7 s	<b>9 s</b>
<b>A</b>	Olin katsonut huolimattomasti, kun kohdassa 7s negatiivinen nopeus vasta alkaa, eli ei voida sanoa, että liikettä olisi vielä paljon. Vaikea sanoa kumpaa se on paikoillaan vai negatiivisessa?		1	2
<b>B</b>	Vastaa samalla tavalla, koska kyseisessä kohdassa kuvaajasuora ”palaa” takaisin lähtöpaikkaan nähden.	1,2		
<b>C</b>	Kun nopeus on negatiivista myös liikkeen suunta on negatiivista		1,2	
<b>D</b>	koska kiihtyvyys pienenee ja menee negatiivisen puolelle 7 sekunnin kohdalla		1,2	
<b>E</b>	nopeus on negatiivista eli lähtöpisteeseen suuntautunutta			1,2
<b>F</b>	Vastaus on sama, koska siinä kohtaa käyrä menee alaspäin ja se tarkoittaa negatiivista suuntaa sillä kohdalla suora myös leikkaa lähtöpisteen eli sen on täten oltava ko. piste	1,2		
<b>G</b>	Nopeus ei ole nolla ja suunta on alun positiivisen liikkeen jälkeen negatiivinen.			1,2
<b>H</b>	En vastaa		1,2	
<b>I</b>	5 s:ssa ei liikuta ollenkaan, sillä nopeus on tuolloin 0 m/s. 7:ssäkään ei liikuta, joten yhdeksän sekunnin kohdalla jää ainoaksi vaihtoehdoksi		1	2
<b>J</b>	koska kappale liikkui eka positiivisella nopeudella eli kauemmas ja sitten nopeus kääntyi negatiiviseksi joten kappale liikkui takaisin lähtöpisteeseen päin.		1,2	
<b>K</b>	Lähtöpiste on 0,0 m. Hetkellä 5 s etäisyys lähtöpisteestä palautuu nollaan. Eli hetkellä 5 s liikutaan kohti lähtöpistettä	1,2		
<b>L</b>	Hetkellä 5 s tapahtuu suunnanmuutos takaisin lähtöpisteeseen päin	1,2		
<b>M</b>	Liikutaan negatiiviseen suuntaan eli kohti lähtöpistettä.	1,2		
<b>N</b>	7 sekunnin kohdalla vauhti on negatiivista, joten henkilö liikkuu takaisin lähtöpisteeseen päin.		1,2	
<b>P</b>	Pisteessä 5 s liikutaan takaisin päin lähtöpisteeseen. Kuvaajasta voi nähdä, että tällöin suunta on kohti lähtöpistettä.	1,2		
<b>Q</b>	Vastaa samoin. suunta vaihtuu kuvaajassa, eli kuljetaan lähtöpisteeseen päin.	1,2		
<b>R</b>	Kun liikutaan kohti ”nollaa”, liikutaan lähtöpisteeseen päin	1,2		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>

<b>Opiskelija</b>	<b>2. Millä hetkellä ollaan mahdollisimman etäällä lähtökohdasta?</b>	4 s	6 s	8 s
<b>A</b>	silloin ollaan liikuttu vain positiiviseen suuntaan, koska on ollut vain positiivista nopeutta		1,2	
<b>B</b>	vaihdan vastausta, sillä n. välillä 2 – 4 s on liikuttu nopeudella 0,5 m/s eli 1 m ja välillä 7 -8 s vain – 0,5m/s eli - 0,5 m.	2		1
<b>C</b>	Juuri ennen kuin lähdetään kohti lähtöpistettä (ennen kuin nopeus muuttuu negat.)		1,2	
<b>D</b>	Siinä vaiheessa kiihtyvyyttä on jatkunut yhteen suuntaan kaikista pisimmän ajan		2	1
<b>E</b>	Silloin ollaan liikuttu pisimpään positiiviseen suuntaan.		1,2	
<b>F</b>	Muutin mieleni kun tein laskutoimituksen $2 = v = \frac{s}{t} = \frac{6}{3} = s = 6 = t \cdot v = 3 \cdot 2$ eli $s = -4$ mikä on suurempi kuin 2	1		1,2
<b>G</b>	positiivinen (loittonevan) liikkeen vaihe on ohi eikä olla vielä palattu takaisin päin.		1,2	
<b>H</b>	En vastaa	1,2		
<b>I</b>	Tuolloin kappale on liikkunut 0,5 m/s kahden sekunnin ajan, 6 s:n kohdalla ollaan takaisin lähtöpisteessä. 8 s:n kohdalla ollaan myös liikuttu 0,5 m/s mutta vain 1 s.	2		1
<b>J</b>	kuvaajasta näkee suoraan että kappale on 6 s kohdalla mahdollisimman etäällä lähtöpisteestä		1,2	
<b>K</b>	Hetkellä 4 s ollaan + 0,5 m päässä lähtöpisteestä, sillä etäämmälle ei mennä.	1,2		
<b>L</b>	kohdassa 4 s liike on pysynyt tasaisena nopeudella 0,5 m/s kahden sekunnin ajan	2		1
<b>M</b>	Kun liikutaan positiiviseen suuntaan lähtöpisteestä, liikutaan siitä pois päin.	1,2		
<b>N</b>	6 sekunnin kohdalla henkilö on liikkunut noin 3 sekuntia 0,5 m/s vauhdilla ja saavuttanut vaihtoehtoista etäisimmän pisteen, jonka jälkeen henkilö pysähtyy		1,2	
<b>P</b>	Mielestäni kummatkin vaihtoehdot käyvät (4 s ja 8 s), koska silloin ollaan yhtä etäällä lähtökohdasta. Kummatkin ovat käyviä.	1,2		1,2
<b>Q</b>	Valitsen vain toisen vaihtoehtoista, koska 4 s:n kohdassa ollaan kauempana lähtöpisteestä kuin 8 s:n kohdalla.	1,2		1
<b>R</b>	kauimpana lähtöpisteestä			1,2
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Kuinka kaukana käytiin lähtöpisteestä?</b>	0,5 m	1,5 m	- 3 m
<b>A</b>	$3 \times 0,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$		1,2	
<b>B</b>	Vastaan samalla tavalla, sillä n. hetkellä 5 s ollaan 1,5 m etäisyydellä lähtöpisteestä. välillä 2 – 5 s liikutaan nopeudella 0,5 m/s eli kolmen sekunnin aikana liikutaan 1,5 m.		1,2	
<b>C</b>	Positiivisen nopeuden ja käytetyn ajan muodostama pinta-ala kertoo kuinka pitkä matka kuljettiin		1,2	
<b>D</b>	$3 \text{ s} \cdot 0,5 \text{ m/s} = 1,5 \text{ m}$		1,2	
<b>E</b>	$s = s_0 + v t$ Ol. $s_0 = 0 \text{ m}$ siis $s = v t = 0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$		1,2	
<b>F</b>	Vastaukseni ei muuttunut koska ylempi etäisyys on ko. verran		1,2	



<b>G</b>	3s ( $\Delta t = 5 \text{ s} - 2 \text{ s}$ ) ajan kuljettiin 0,5 m/s nopeudella lähtöpisteestä poispäin. $v = s/t \Rightarrow s = v t = 0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$		1,2	
<b>H</b>	En tiedä	ei valintaa	ei valintaa	ei valintaa
<b>I</b>	Sillä $s = vt$ $s = 0,5 \text{ m/s} \cdot (5 \text{ m} - 2 \text{ m}) = 1,5 \text{ m}$ $s_2 = v_2 t_2$ $s_2 = -0,5 \text{ m} \cdot (10 \text{ m} - 7 \text{ m}) = 1,5 \text{ m}$	1	2	
<b>J</b>	$v = s/T$ $s = vT$ $v = 0,5 \text{ m/s}$ $0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$ $T = 3 \text{ s}$		1,2	
<b>K</b>	Käytiin +0,5 m ja -0,5 m etäisyyksissä, mutta vain 0,5 m päässä lähtöpisteestä.	1,2		
<b>L</b>	etäisyys kasvaa aikavälillä 2 s – 5 s 1,5 metriin ja sen jälkeen pysytään paikallaan 7 sekuntiin asti	1	2	
<b>M</b>	Matka lasketaan kertomalla nopeuden muutos ajan muutoksella.	1	2	
<b>N</b>	Henkilö liikkuu 2 – 5 sekunnin aikana nopeudella 0,5 m/s $v = s/t \parallel \cdot t$ $t v = s$ $s = 0,5 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s}$ $s = 1,5 \text{ m}$		1,2	
<b>P</b>	Ei annettu vastausta	ei valintaa	ei valintaa	ei valintaa
<b>Q</b>	Vaihdan vastausta, koska en aikaisemmin huomioinut että kuvaajassa tarkastellaan nopeutta	1	2	
<b>R</b>	$0,0 \text{ m} - (-0,5 \text{ m}) = 0,5 \text{ m}$	1,2		

**Testi 3: Kolmas opetuskokeilu. Kuvaajaan liittyvät kysymykset ja opiskelijoiden vastaukset selityksineen: Taulukon sarakkeissa merkintä 1 tarkoittaa, että opiskelija on ennen kinesteettisiä kokeita valinnut vaihtoehdon 1 ja kinesteettisten kokeiden jälkeen hän on valinnut vaihtoehdon 2. Oikea vastaus on lihavoitu.**

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>4. Millä hetkellä kiihtyvyys on suurin?</b>	<b>0,45 s</b>	0,51 s	0,55 s
<b>A</b>	Kiihtyvyys saa suurimman arvon kohdassa 0,45 s	2	1	
<b>B</b>	Kiihtyvyys on suurimmillaan $-40\text{m/s}^2$ eli arviolta noin kohdassa 0.55 s			1,2
<b>C</b>	Kiihtyvyys on suurin juuri kun aletaan hidastamaan	2		1
<b>D</b>	Koska tällä kohdalla y-akselin arvo on suurin.	1,2		
<b>E</b>	0,55 s olisi suurin, mutta kun silloin kiihtyvyys on negatiivista. Katsotaan korkein kohta kuvaajasta.	1,2		
<b>F</b>	Sillä kohtaa kulma on jyrkin mikä tarkoittaa myös sitä, että nopeus on suuri. Se menee itseisarvoltaan hieman pidemmälle kuin muut huiput			1,2
<b>G</b>	Kuvaajasta näkyy, että $a \approx 40\text{m/s}^2$ .	1,2		
<b>H</b>	Ei annettu kirjallista perustelua			1
<b>J</b>	Kuvaajasta voi päätellä	1,2		
<b>K</b>	Kiihtyvyys on suurimmillaan y:n arvon ollessa suurimmillaan.	1,2		
<b>L</b>	Koska nopeus kasvaa kun kiihtyvyys on positiiviseen suuntaan	2		1
<b>M</b>	Kiihtyvyys on suurin vaihtoehdossa A, sillä kiihtyvyys kasvoi, kun kättä liikutettiin positiiviseen suuntaan	1,2		
<b>N</b>	Vaihdoin, koska 0,45 s kohdalla kiihdyttää. 0,55 s kohdalla kappale jarruttaa voimakkaammin kuin kappale kiihtyisi 0,45 s kohdalla, mutta onko jarruttaminen myös kiihtymistä	2		1
<b>P</b>	kiihtyvyys on suurin hetkellä 0,55 s, koska kuvaaja on hyvin suippo ja koska aikaa ei kulu kovinkaan paljon			1,2
<b>R</b>	Kuvaaja on korkeimmillaan	1,2		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>3. Millä hetkellä käsi voi liikkua kohti lähtöpistettä?</b>	<b>0,5 s</b>	<b>0,7 s</b>	<b>1,2 s</b>
<b>A</b>	Kiihtyvyys on negatiivista	1		2
<b>B</b>	Noin hetkellä 0,5 s (ja vähän sen jälkeen) kappale liikkuu negatiiviseen suuntaan	2	1	
<b>C</b>	Kuvaajan ensimmäinen säkkyrä kuvaa kun liikuttiin pois päin lähtöpisteestä ja pysähdyttiin, seuraavan säkkyrän aikana liikutaan kohti lähtöpistettä ja pysähdytään	1		2
<b>D</b>	Koska kuvaaja laskee ensin ja nousee sitten	1		2
<b>E</b>	Sillä tällä hetkellä nopeus voisi olla tasaista lähtöpisteeseen päin, sillä kiihtyvyyskuvaajasta ei näy tasaista liikettä.		2	1
<b>F</b>	Sillä kohdalla käsi liikkuu kohti lähtöpistettä ja suunnan muutos on havaittava. Suunta on lähtöpistettä kohti.	1,2		

<b>G</b>	Omien testien perusteella huomaan, että jo pieni negatiivinen alku ”pompsahduksessa” kertoo näillä laitteilla negatiivisesta suunnasta.		1	2
<b>H</b>	Ei antanut sanallista selitystä.	1		
<b>J</b>	Kuvaajasta voi päätellä	1,2		
<b>K</b>	Kun kiihtyvyys tippuu nolasta negatiiviseksi, myös käden vauhti on negatiiviseen suuntaan, eli kohti lähtöpistettä	1		2
<b>L</b>	Kuvaajassa käden liike on ensin alkupisteestä pois päin ja sitten takaisin alkupisteeseen, jota toinen ”nyppylä” kuvaa.	1		2
<b>M</b>	Kun kättä liikutettiin negatiiviseen suuntaan, se liikkui kohti lähtöpistettä.	1		2
<b>N</b>	Tällöin kappale kiihdyttää lähtöpistettä kohden, jolloin kappale lähenee lähtöpistettä			1,2
<b>P</b>	Käsi liikkuu kohti lähtöpistettä ajalla 0,5 s, koska kuvaaja on tällöin laskeva suora. Ajalla 0,7 s se on lähtöpisteessä ja ajalla 1,2 s kappale on huipussa, jolloin se ei ole vielä kääntynyt	1,2		
<b>R</b>	Tehtyäni kokeen, huomasin, että käsi liikkui tällä kohdalla lähtöpisteeseen päin	1		2
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Opiskelija</b>	<b>4. Millä hetkellä nopeuden muutos on suurin?</b>	0,45 s	<b>0,55 s</b>	1,15 s
<b>A</b>	Jos ymmärsin kysymyksen oikein, kohdassa 0,55 s kappale pysähtyy jolloin muutos on suurin		1,2	
<b>B</b>	Hetkellä 0,45 s kappale lähtee kiihdyttämään melko paljon kiihdyttämättömästä tilasta	1,2		
<b>C</b>	Kun posit. Kiihtyvistä liikkeestä aletaan hidastamaan		1,2	
<b>D</b>	Tajusin että nopeus on eri asia kuin kiihtyvyys	1	2	
<b>E</b>	Vaikkakin muutos on negatiivista, kuvaajan tangentti siinä kohdassa on jyrkin. Mutta kun se on negatiivinen, se on $a = \Delta v / \Delta t$ , siksi suunta on suurin hetkellä 0,45 s.	2	1	
<b>F</b>	Tosiaan kulma on jyrkin mikä tarkoittaa nopeuden muutoksen suuruutta		1,2	
<b>G</b>	Kohdassa 0,55 s kiihtyvyyden itseisarvo on suurin.		1,2	
<b>H</b>	Ei annettu sanallista selitystä.		1	
<b>J</b>	Kuvaajasta voi päätellä		1,2	
<b>K</b>	Nopeuden muutos on suurin kun kiihtyvyyden kuvaaja on kauimpana nolasta		1,2	
<b>L</b>	koska tässä kohdassa liike pysähtyy/hidastuu radikaalisti, eli nopeus muuttuu paljon		1,2	
<b>M</b>	Nopeuden muutos on suurin, kun kättä liikutettiin positiiviseen suuntaan nopeasti. Käyrä nousi korkealle.	2	1	
<b>N</b>	0,55 s kohdalla hieman aikaisemmin kiihdytetty nopeus laskee voimakkaasti ja suunta kääntyy		1,2	
<b>P</b>	Nopeuden muutos on suurin kohteessa 0,55 s, koska tällöin kuvaaja on kaikkein korkein verrattuna muihin käyriin.		1,2	
<b>R</b>	Silloin kun pysähdytään	1,2		

**Taulukko 8. Ensimmäinen opetuskokeilu. Testin 4 vastaukset. Oikeat vastaukset on lihavoitu.**

Tehtävä/Valinta	A	B	C	D	E
1		B, D		<b>A, C, E, F, G</b>	H
2	B		<b>A, C, D, E, F, G, H</b>		
3	A, B, D	<b>C, E, F, G, H</b>			
4	<b>A, C, E, F, G</b>	B, D, H			
5		D	B, E, G	<b>A, C, F, H</b>	
6	<b>C, E, F, G, H</b>	A, B, D			
7		<b>A, B, C, E, G, H</b>	D		F
8	D				<b>A, B, C, E, F, G, H</b>

**Taulukko 9. Toinen opetuskokeilu. Testin 4 vastaukset. Oikeat vastaukset on lihavoitu.**

Tehtävä/Valinta	A	B	C	D	E
1				<b>D,O,R,T,U,V,X Y,Z,Ä</b>	B,C,E,I,J,K,L,M N,S
2			<b>B,C,D,E,I,J,K,L M,N,O,R,S,T,U V,X,Y,Z,Ä</b>		
3	C,I,L,O,R,V,Ä	<b>B,D,E,J,K,M,T U,X,Y,Z</b>			N,S
4	<b>B,C,D,E,J,K,L M,O,T,U,X,Y,Z</b>	R,V,Ä		I,N,S	
5		D,K,N,O	C,E,I,J,R,S,X,Y Z	<b>B,L,T,U Ä</b>	M,V
6	<b>B,D,E,J,K,L,M R,T,U,X,Y,Z,Ä</b>	I,N,S	C,O,V		
7		<b>B,C,D,K,L,S,T U,V,X,Y,Z,Ä</b>	J,M,N,O,R	E	I
8	N	O			<b>B,C,D,E,I,J,K,L M,R,S,T,U,V,X Y,Z,Ä</b>

**Taulukko 10. Kolmas opetuskokeilu. Testin 4 vastaukset. Oikeat vastaukset on lihavoitu.**

Tehtävä/Valinta	A	B	C	D	E
<b>1</b>			K	<b>A,B,C,D,E,F,G H,J,L,M,N,O,R</b>	I
<b>2</b>	O		<b>A,B,C,D,E,F,G, H,I,J,K,L,M,N, R</b>		
<b>3</b>	I,N	<b>A,BC,D,E,F,G, H,J,K,L,M,O,R</b>			
<b>4</b>	<b>A,C,D,F,G,I,K, L</b>	B,E,H,J,O,R		M,N	
<b>5</b>		H,M,R	B,C,E,F,I,J,O	<b>A,D,G,K,L,N</b>	
<b>6</b>	<b>A,B,C,D,E,F,G, L,M,R</b>	H	I,J,K		N,O
<b>7</b>	H	<b>A,B,C,D,E,F,G. I,J,K,L,M,N,O, R</b>			
<b>8</b>					<b>A,B,C,D,E,F,G, H,I,J,K,L,M,N, O,R</b>

**Taulukko 11. Testi 4. Kaikki kolme opetuskokeilua. Tehtävien vaatimustaso taulukoituna (joko graafinen derivointi tai integrointi) sekä laskutapa, jolla väärät tulokset saadaan. Tehtävien vaihtoehtojen vastausprosenttia (lihavoitu) on verrattu Beichnerin testin kahteen eniten vastattuun vaihtoehtoon. Jokaiseen tehtävään on saatu 44 vastausta eli yhteensä 352 vastausta.**

Tehtävä	A	B	C	D	E
1		Laskettu suoran kulmakertoimen käänteisluku. Saadaan väärä yksikkö.	Otettu aikavälin loppupistettä vastaava nopeuden lukuarvo matkan arvoksi. Saadaan väärä yksikkö.	<b>graaf. int. osattu</b> Laskettu kolmion pinta-ala.	Laskettu suorakulmion pinta-ala
<b>Testi 4</b> Beichner		5 %	2 %	66 % 30 %	27 % 30 %
2	Laskettu tangentin kulmakertoimen käänteisluku. Saadaan väärä yksikkö.		<b>graaf. deriv. osattu</b> Laskettu tangentin kulmakerroin.		
<b>Testi 4</b> Beichner	5 %		96 % 70 %	0 % 20 %	
3	Jaettu pisteen koordinaatit keskenään. Saadaan oikea yksikkö.	<b>graaf. deriv. osattu</b> Laskettu tangentin kulmakerroin.			Otetaan vastaukseksi aikakoordinaattia vastaavan nopeuskoordinaatin lukuarvo. Saadaan väärä yksikkö.
<b>Testi 4</b> Beichner	27 % 45 %	68 % 25 %			5 %
4	<b>graaf. deriv. osattu</b> Laskettu tangentin kulmakerroin.	Laskettu tangentin kulmakerroin ruutujen ei akselien jaotuksen avulla. Saadaan oikea yksikkö.		Otetaan vastaukseksi aikakoordinaattia vastaavan nopeuskoordinaatin lukuarvo. Saadaan väärä yksikkö.	
<b>Testi 4</b> Beichner	61 % 30 %	27 %		11 %	0 % 30 %
5		Laskettu suoran kulmakerroin. Saadaan oikea yksikkö.	Otetaan vastaukseksi aikakoordinaattia vastaavan kiihtyvyysskoordinaatin lukuarvo. Saadaan väärä yksikkö.	<b>graaf. int. osattu</b> Laskettu kolmion pinta-ala.	Ei mitään loogista ratkaisua kuvaajan avulla. Gravitaatiokiihtyvyyden aiheuttama nopeuden muutos sekunnin aikana?
<b>Testi 4</b> Beichner		18 % 40 %	43 %	34 % 20 %	5 %
6	<b>graaf. deriv. osattu</b> Laskettu laskevan suoran kulmakerroin.	Laskettu laskevan suoran kulmakertoimen käänteisluku ruutujen eikä akselien jaotuksen avulla. Saadaan väärä yksikkö.	Laskettu laskevan suoran kulmakerroin ruutujen eikä akselien jaotuksen avulla. Saadaan oikea yksikkö.		Otetaan vastaukseksi aikakoordinaattia vastaavan matkakoordinaatin lukuarvo. Saadaan väärä yksikkö.
<b>Testi</b> Beichner	66 % 20 %	16 % 45 %	14 %		5 %

7 <i>(Tehtävässä oli annettu valmiiksi kaikki kurssiivilla kirjoitetut vastausvaihtoehtojen perustelut)</i>	<i>Otat lukeman 5 suoraan pystyakselilta.</i>  Saadaan väärä yksikkö	<b>graaf. int. osattu</b> <i>Määrität pinta-alan, joka jää kuvaajan tämän osan ja aika-akselin väliin, laskemalla <math>(5 \times 2) / 2</math>.</i>	<i>Määrität kuvaajan tämän osan jyrkkyyden suorittamalla jakolaskun <math>5/2</math>.</i>  Saadaan väärä yksikkö.	<i>Määrität kuvaajan tämän osan jyrkkyyden suorittamalla jakolaskun <math>15/5</math>.</i>  Saadaan väärä yksikkö	<i>Kuvaajassa ei ole riittävästi tietoa, jotta kysymykseen voisi vastata.</i>
<b>Testi 4</b> Beichner	2 %	77 % 45 %	14 % 30 %	2 %	5 %
8	Jaetaan nopeuskoordinaatti kysytyyn aikavälin alarajan aikakoordinaatin lukuarvolla. Saadaan väärä yksikkö.	Otetaan vastaukseksi kysytyyn aikavälin alarajan nopeuskoordinaatin lukuarvo. Saadaan väärä yksikkö.			<b>graaf. int. osattu</b>  Laskettu suorakulmion pinta-ala.
<b>Testi 4</b> Beichner	5 % 20 %	2 %			93 % 75 %

**Tilastollisista testeistä**

Ei-parametrisiä testejä voidaan käyttää vastaamaan tutkimuskysymyksiin, jotka vaihtelevat aina kysymyksistä onko kahden muuttujan välillä yhteyttä kysymyksiin eroavatko ryhmät mitattavan lopputuloksen suhteen.

Parametrisia merkitsevyystestejä käytetään, kun arvioidaan vähintään yhtä populaatioparametria, mikäli voidaan olettaa, että populaatioparametrin jakauma tunnetaan. Lisäksi useat testit vaativat, että jakauma on normaalin., Ei-parametrisillä testeillä ei ole tällaisia olettamuksia. Siksi niitä kutsutaan jakaumattomiksi "distribution free".

Toinen merkittävä tekijä, on kerätyn tiedon luonne. Yksinkertaisimmillaan tieto sisältää vain koodin, joka on vain esim. ryhmän numero. Koodien järjestysnumerosta ei voida päätellä paremmuudesta mitään (esim. mies = 1, nainen = 2). Tiedon luonne vaikuttaa siihen, mitä testejä voidaan käyttää (Table 7.1 Tests of differences, Munro 2005, s.146-147). Tiedon luonne on luokiteltu neljään ryhmään: (Munro 2005)

**TABLE 7.1** Tests of differences

<i>Nature of criterion variable</i>	<i>Type of test</i>	<i>Type of data</i>	<i>Number of comparison groups</i>	<i>Name of test</i>	
Categorical: nominal or frequency	Non-parametric	Unrelated	1	Binomial	
			2+	Chi-square for one sample	
			2+	Chi-square for more than one sample	
		Related	2	McNemar	
			3+	Cochran <i>Q</i>	
Non-categorical:	Non-parametric	Unrelated	1–2	Kolmogorov–Smirnov	
			2	Mann–Whitney <i>U</i>	
			2+	Median	
			3+	Kruskal–Wallis <i>H</i>	
		Parametric: means	Unrelated	2	Sign
				2	Wilcoxon
				3+	Friedman
			Related	1–2	<i>t</i>
				2+	One-way analysis of variance
				2+	Two-way analysis of variance
Parametric: variances	Unrelated	2	<i>t</i>		
		2+	Single factor repeated measures		
		2+	Two-way analysis of variance with repeated measures on one factor		
	Related and unrelated	2+	One-way analysis of covariance		
		2+	Three-way analysis of covariance with repeated measures on one factor		
		2+	Levene's test		



### Kategorisoitu tieto

Jos tieto on kategorista tai nominaalista luonteeltaan eli missä arvot koskevat numeroita tai tapausten frekvenssiä tietyn kategorian sisällä esim. sellaista kuin mustien naispuolisten työntekijöiden määrää, niin tällöin ainoa mahdollisuus liittyä ei-parametriin testeihin. Tässä työssä opetuskokeilu, kinesteettinen vastaus (on/ei), ovat kategorisia. Näille muuttujille voidaan tarkastella ainoastaan onko eri arvojen esiintyvyydellä eri ryhmissä eroja.

### Ordinaali asteikko

Ordinaaliasteikolla numero kertoo myös paremmuusjärjestyksen, mutta ei anna paremmuuden suuruudesta kuvaa. Tässä työssä vastaustyyppi on ordinaaliasteikon muuttuja (oikein, oikein, mutta kielellisesti huono tai väärin jne.).

### Intervalli ja suhde asteikko

Intervalliasteikolla erotusten suuruus on oikea ja suhdeasteikolla myös kahden luvun suhde on oikea eli 0-kohta on oikeassa paikassa. Tässä työssä ei ole käytetty intervalli tai suhdeasteikon muuttujia. Näitä asteikkoja käytetään esimerkiksi, kun verrataan kuinka taitavia työntekijät ovat tai kuinka paljon he ansaitsevat.

Tilastollisissa analyysissä menetelmän teho on sitä suurempi, mitä enemmän muuttujista voidaan olettaa. Siksi tulee pyrkiä aina käyttämään parameterisiä testejä, jotka käyttävät hyväkseen jakauman ominaisuuksia. Tehokkaiden ei-parametristen testien teho on yli 90 % verrattuna vastaavaan parametriseen testiin. (Bryman & Cramer 2005)