

Käsitteiden synnyttämä keskustelu mekaniikan peruskurssilla

Anni Rossi



Pro Gradu

Jyväskylän yliopisto
Fysiikan laitos
Kesä 2013

Tiivistelmä

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin käsitetestiä synnyttämää keskustelua mekaniikan peruskurssilla. Käsitetestit ovat oleellinen osa Peer Instruction -opetusmenetelmää, joka pyrkii lisäämään opiskelijoiden roolia aktiivisina oppijoina massakurssilla. Kurssin luennot rakentuivat vuorottelevista luennoitsijan alustuksista ja esitetyistä käsitesteistä. Opiskelijat pohtivat ja vastasivat ensin testeihin itsenäisesti. Tätä seurasi muutaman minuutin mittainen ryhmäkeskuselu, jonka jälkeen opiskelijat vastasivat kysymykseen uudelleen. Lopuksi testin ratkaisu käytiin läpi - yleensä luennoitsijan johdolla.

Työssä tutkittiin, millaista opiskelijoiden käymä keskustelu on käsitetestiä aikana, ja kuinka se muuttaa opiskelijoiden vastauksia. Lisäksi pyrittiin löytämään käsitetestiä muotoilusta ja esitystavasta opiskelijoita hämmäntäneitä ja keskustelua vaikeuttaneita piirteitä. Testit luokiteltiin kolmeen tyyliin mukaan, ja selvitettiin, onko tehtävyydellä vaikutusta osaamiseen. Tutkimusta varten kurssin luennot videoitiin ja yhden opiskelijan ympärille muodostuneen ryhmän keskustelut nauhoitettiin.

Tutkimuksessa havaittiin, että opiskelijoiden käymät keskustelut käsittelivät pääsääntöisesti esitettyä käsitettä, mutta olivat tyyliltään hyvin suurpiirteisiä. Fysiikan termejä käytettiin epätarkasti, ja suoranaisesti virheellisiäkin ajatuksia esitettiin. Keskusteluryhmän kokoonpanolla oli selvä vaikutus keskustelun kulkuun. Keskustelujen seurauksena lähes kaikissa testeissä oikeiden vastausten määrä kasvoi. Huomattiin, että opiskelijoilla oli ongelmia erityisesti sellaisissa testeissä, joissa oli mahdollisesti useampi oikea vaihtoehto. Lisäksi epäselvyyttä syntyi tarkasti määrittelemättömistä muuttujista ja vakioista. Testin tyyppillä ei näyttänyt juuri olevan vaikutusta osaamiseen.

Sisältö

Johdanto	1
1 Hyvä opetus ja oppiminen	2
2 Peer Instruction	4
2.1 <i>Käsitteiden laadinta ja hyvityspisteiden jakaminen</i>	5
3 Kurssin FYSP102 toteutus	8
3.1 <i>Peer Instruction kurssilla FYSP102</i>	8
4 Motivaatio ja tutkimuskysymykset	10
5 Aineiston kerääminen ja analysointi	11
5.1 <i>Aineiston kerääminen</i>	11
5.2 <i>Aineiston analysointi</i>	11
6 Tulokset	15
6.1 <i>Tilastollinen arvio oppimisesta</i>	15
6.2 <i>Testikohtainen tarkastelu</i>	17
6.3 <i>Käsitteiden vertailu</i>	44
6.4 <i>Tehtävätyyppien vertailu</i>	48
7 Johtopäätökset	49
7.1 <i>Keskustelusta yleensä</i>	49
7.2 <i>Oppimista vaikeuttavat tekijät</i>	49
7.3 <i>Yleisiä huomioita</i>	51
LIITTEET	57

Johdanto

Perinteisten opetustapojen, kuten luentojen, laskuharjoitusten ja laboratorio-työskentelyn kehittäminen ja uudistaminen ovat ajankohtaisia opetuksen kehittämiseen pyrkiviä tavoitteita yliopistofysiikassa. Vaikka fysiikka on luonteeltaan tutkiva ja teorioita kunnioittava tiede, ei tämä aina näy suhtautumisessa fysiikan opetukseen. Fysiikan opetuksen tutkiminen, ja varsinkin opettaminen tutkimustulosten mukaisesti, on vielä valitettavan marginaalista toimintaa. Pyrkimyksiä muutokseen on onneksi havaittavissa.

Tämä pro gradu toteutettiin osana yliopistonlaajuista Interaktiivinen opetus ja oppiminen -hanketta [1], jonka ensimmäinen vaihe ajoittui lukuvuodelle 2011-2012. Hankkeen pyrkimyksenä oli kannustaa jatkuvaan opetuksen kehittämiseen niin henkilökohtaisella kuin laitospohjaisellakin tasolla. Fysiikan laitoksen kohdalla tämä tarkoitti erityisesti opetusmenetelmien kehittämistä sellaisiksi, joissa opiskelijan oma aktiivisuus painottuu. Hankeopettajana toimi Pekka Koskinen, joka jo ennen hanketta oli pyrkinyt kehittämään opetustaan oppimistehokkaammaksi. Hankkeen myötä mekaniikan peruskurssit FYSP101 ja FYSP102 saivat syksyllä 2011 uuden, rohkeasti interaktiivisemmän toteutustavan. Vuorovaikutusta lisättiin käyttämällä luennoilla Peer instruction (PI) -menetelmää [2] ja toteuttamalla laskuharjoitukset pienryhmätyöskentelynä. Peer-opetuksen ydin on opiskelijoiden käymissä pienryhmäkeskusteluissa, joissa he pohtivat ratkaisuja esitettyihin monivalintakysymyksiin. Näiden pienryhmäkeskustelujen analysoiminen antaa sisällön tälle pro gradu -tutkielmalleni.

1 Hyvä opetus ja oppiminen

Pekka Koskista lainatakseni, *vaikka esittävä luennointi voi olla tehokas tapa opettaa, se ei ole tehokas tapa oppia* [3]. Tämä on todettu useissa fysiikan oppimiseen liittyvissä tutkimuksissa. [2,4–8] Mikäli perinteinen luennointi ei johda hyvään oppimiseen, mitä opetukselta sitten vaaditaan?

Nykyään laajalti vallitsevan konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppijaa ei nähdä passiivisena tiedon vastaanottajana vaan aktiivisena tiedon käsitteijänä. [9] Opiskelun tulisi tällöin mahdollistaa opiskelijoiden aktiivinen asennoituminen tiedon keräämiseen ja käsittelyyn.

Oppiminen jaetaan usein kahteen suuntaukseen, syväsuuntautuneeseen ja pintasuuntautuneeseen oppimiseen. Syväsuuntautunut oppija tähtää opittavan asian ymmärtämiseen ja laajempien kokonaisuuksien hallintaan. Hän saa motivaationsa halusta ymmärtää asioita. Syväsuuntautunut oppiminen perustuu tietojen soveltamiseen, vertailuun ja analysointiin. Pintasuuntautunut oppija puolestaan tyytyy muistamaan opeteltavia asioita ilman suurempaa kokonaisuuksien hallintaa. Pintasuuntautuneessa oppimisessa motivaatio tulee ulkoapäin ja tärkeintä on selviytyä esimerkiksi tentissä hyvin. [10]

Opetukseen voidaan nähdä kaksi hallitsevaa laadullisesti erilaista lähestymistapaa: sisältölähtöinen ja oppimislähtöinen. Sisältölähtöinen opetus tavoittelee valitun sisällön mahdollisimman tehokasta esittämistä ja kuvaamista, tarkkaa tiedon siirtämistä. Sisältölähtöinen opettaja korostaa omaa asiantuntijarooliaan ja näkee oppilaan passiivisena tiedon vastaanottajana. Sisältölähtöinen opetus rakentuu perinteisille opetusmenetelmille. Oppimislähtöisessä opetustavassa opettajan keskeinen tavoite on edistää oppilaan oppimista muun muassa vuorovaikutuksellisuuden avulla. Opettajan merkitys on lähinnä motivoida opiskelijaa oppimaan uutta. Oppimislähtöinen opettaja pyrkii mukauttamaan ja parantamaan opetustaan tilanteeseen sopivalla tavalla. [11,12]

Bela Banathyn mukaan oppimislähtöisessä opetuksessa tulisi näkyä seuraavat lähtökohdat: Oppiminen on aktiivinen prosessi, jossa opiskelija pyrkii ymmärtämään ja tulkitsemaan uutta tietoa ja tarkastelee sitä aiemmin omaksumansa tiedon valossa. Opiskelijoille tulisi tarjota useita mahdollisia tapoja rakentaa omaa tietouttaan hyväksyen sen, että kaikki eivät ole lähtötiedoiltaan ja -taidoiltaan samassa tilanteessa eivätkä tavoittele samoja päämääriä. Opetuksen tulisi pyrkiä henkilökohtaiseen syvälliseen oppimiseen. Opetettavien asioiden tulisi lähtökohtaisesti olla peräisin todellisista tilanteista ja ne pitäisi liittää osaksi opiskelijan tuntemaa todellisuutta. Tätä varten teorialle tulisi välittömästi esittää käyttökelpoisia sovelluskohteita. Opiskelijan tulisi voida ymmärtää, mitä merkitystä uudella asialla on oppimisen ja elämän kannalta. [13]

Tutkimusten mukaan sisältölähtöinen opetus on yleistä ´´koviin tieteiden´´ aloilla, kuten fysiikassa. Oppimislähtöinen opetus taas on yleisempää esimerkiksi humanistisilla aloilla. Opetuksen lähestymistapojen eroihin vaikuttavat eroava käsitys tiedon luonteesta ja erot kurssien järjestystavoissa ja oppilasmäärissä. [11,14]

On tutkittu, että oppimislähtöinen opetus kannustaa syväsuuntautuneeseen oppimiseen. Lisäksi oppimislähtöinen opetus on sisältölähtöistä joustavampaa ja mukautuvampaa. [11] Oppimislähtöinen opettaja voi käyttää perinteisesti sisältölähtöisiksi miellettyjä menetelmiä, mikäli pitää niitä tarpeellisina. Sisältölähtöinen opettaja ei mielellään mukauta opetustapojaan. Näistä syistä yliopisto-opetusta tulisi pyrkiä suuntaamaan oppimislähtöisempään suuntaan kaikilla aloilla.

Arthur Chickering ja Zelda Gamson esittelevät artikkelissaan *Seven Principles For Good Practice in Undergraduate Education* [15] lähtökohtia hyvälle opetukselle. Hyvän opetuksen tulisi

- kannustaa vuorovaikutukseen opiskelijoiden ja laitoksen henkilökunnan välillä
- kehittää opiskelijoiden välistä vuorovaikutusta
- kannustaa opiskelijoita aktiiviseen oppimiseen (active learning)
- antaa säännöllisesti palautetta
- opastaa tehokkaaseen ajankäyttöön
- asetaa vaatimustaso riittävän korkealle
- kunnioittaa erilaisia kykyjä ja tapoja oppia.

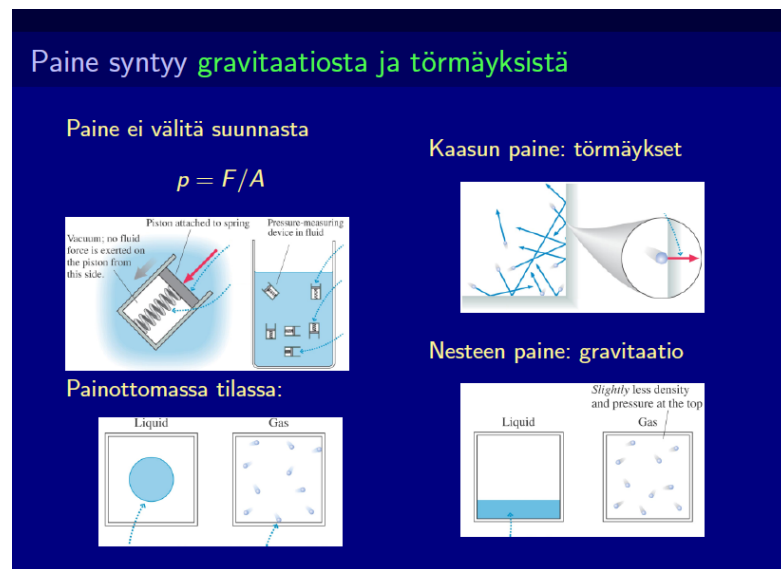
Myös fysiikan alalla on kehitetty useita opetustapoja, jotka pyrkivät tuottamaan syväsuuntautunutta oppimista. Aktiivista oppimista¹ voidaan tukea monilla tavoilla [2, 17–19]. Useat aktiivista oppimista kannustavat opetusmuodot lisäävät myös opiskelijoiden välistä vuorovaikutusta. Laitoksen avoin ilmapiiri helpottaa opiskelijoiden ja henkilökunnan välistä kanssakäymistä. Jo varhain alkava osallistaminen esittelee opiskelijoille erilaisia suuntautumisvaihtoehtoja ja opettaa alalle tyypillisiä toimintamalleja.

1. Aktiivista oppimista kuvaavia ominaisuuksia ja siihen liittyvää materiaalia on listattu esimerkiksi artikkelissa [16]

2 Peer Instruction

Eric Mazurin kehittämän Peer Instructionin tarkoitus on luoda opiskelijoita aktivoivia tilanteita luentojen keskelle. Tämä tapahtuu siten, että luennoitsija esittää erilaisiin fysiikan ilmiöihin liittyviä käsitteitä ("ConcepTest"), eli monivalintakysymyksiä, joihin opiskelijat vastaavat henkilökohtaisesti joko vastauskorttia tai interaktiivista vastausjärjestelmää käyttäen. Vastaamisen jälkeen opiskelijat keskustelevat pareittain tai pienissä ryhmissä kysymyksestä. Muutaman minuutin keskustelun jälkeen opiskelijat vastaavat uudelleen aiemmin esitettyyn käsitteisiin. Tämän jälkeen, mikäli vastauksissa on runsaasti vääriä vastauksia, luennoitsija johdattelee opiskelijoita oikeaan ratkaisuun tai, mikäli opiskelijat ovat pääsääntöisesti päätyneet oikeaan ratkaisuun, luennoitsija kertoo oikean vastauksen ja antaa lyhyen selityksen. [2] Koska luennolla ei käydä kattavasti ja yksityiskohtaisesti läpi koko oppimateriaalia, opiskelijoiden odotetaan tutustuvan kulloiseenkin aiheeseen omatoimisesti ennen luentoa. Luennoitsija ainoastaan esittelee aiheen ydinkohdat muutamalla kalvolla. Kuvassa 1 on esimerkki kurssilla FYSP102 olleesta luentokalvosta.

Peer Instructionin pyrkimys on erityisesti lisätä opiskelijoiden käsitteellistä osaamista. Tutkimuksissa on havaittu, että vaikka keskusteleva tyyli "vie aikaa" perinteiseltä tauluopetukselta, kuten kaavojen johtamiselta, ja laskujen laskemiselta, opiskelijoiden ongelmanratkaisukyky ei ainakaan oleellisesti huo-



Kuva 1: Esimerkki luentokalvosta. Oppikirjan neljä kappaletta oli tiivistetty kuuteen kalvoon.

Kelluvat jääpalat

Kahdessa täsmälleen samanlaisessa lasissa on vettä siten, että vedenpinnat ovat samalla korkeudella. Toisessa lasissa on kuitenkin jääpaloja kellumassa. Kumpi lasista painaa enemmän?

- Lasi, jossa on jääkuutioita.
- Lasi, jossa ei ole jääkuutioita.
- Lasit painavat yhtä paljon.

Kuva 2: Esimerkki käsitettestistä, joka ei vaadi laskemista, mutta voidaan ratkaista myös algebrallisesti. Kysymys on suomennettu Mazurin Peer Instruction -oppaasta. [2]

none - mahdollisesti jopa paranee. [2,6,7] Perinteisissä laskutehtävissäkin oleellista on kuitenkin käsitteellinen ymmärrys ja opiskelijat saavat harjoitella mekaanista ongelmanratkaisua laskuharjoituksissa. Aktivoivan opetuksen etuna on myös se, että se lisää opiskelijoiden läsnäoloa opetustilaisuuksissa. Opiskelijoiden vähäinen osallistuminen on yksi suuri syy siihen, että peruskursseilla on paljon niitä, jotka eivät läpäise kursseja. [20] Peer instruction -menetelmän on havaittu myös vähentävän kurssien keskeyttäjien määrää. [6]

2.1 Käsitettestien laadinta ja hyvityspisteiden jakaminen

Peer Instruction -menetelmässä hyvien käsitettestien valinta on oleellisen tärkeää. [21,22] Mazurin mukaan kysymysten tulisi

- keskittyä yhteen aiheeseen
- vaatia muutakin kuin kaavojen pyörittelyä
- sisältää sopivat monivalintavastaukset
- olla yksiselitteisesti muotoiltuja
- olla vaikeusasteeltaan sopivia. [2]

Kuvassa 2 on esimerkki Mazurin hyväksymästä käsitettestistä.

Ian Beatty *et al.* asettaa testeille laajemmat tavoitteet painottaen niihin liittyvää laaja-alaisempaa pedagogiikkaa. Kysymysten laadinnassa tulisi näkyä, mikä

on kysymysten rooli kurssilla, mitä yksittäisellä kysymyksellä halutaan saavuttaa ja millä mekanismeilla tavoite saavutetaan. Kysymysten tarkoituksena ei ole vain lisätä opiskelijoiden ymmärrystä fysiikan aihealueista, vaan myös opettaa alalle tärkeitä työskentelytapoja ja ajatusmalleja. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi voidaan soveltaa useita taktiikoita [ks. kuva 3(a)]. Esimerkki tehtävän erilaisista muotoiluista on esitetty kuvassa 3(b). [22]

Kysymysten laatimisen helpottamiseksi valmiita, testattuja tehtäviä on tarjolla monessa eri lähteessä (esimerkiksi [2, 23, 24]). Myös ohjeita hyvien testien laadintaan löytyy (esimerkiksi [2, 25]).

Luentokysymysten valinnan lisäksi oleellista on miettiä, jaetaanko kysymyksiin vastaamisesta hyvityspisteitä. Oleellisesti asiaan voidaan suhtautua kolmella eri tavalla: kysymyksiin vastaamisesta ei jaeta pisteitä, oikeista vastauksista jaetaan pisteitä tai kaikista vastauksista jaetaan pisteitä. Tutkimukset osoittavat, että opiskelijat keskustelevat ja ilmaisevat epävarmuuttaan vähemmän, jos hyvitystä annetaan lähinnä oikeista vastauksista. [26] Lisäksi tällöin vastauksestaan varmemmat/osaavammat opiskelijat dominoivat keskusteluja. [27]

Pohdinnan arvoinen kysymys on myös se, esitetäänkö opiskelijoiden (interaktiivisesti annetut) vastaukset koko ryhmälle ennen pienryhmäkeskustelua. Mikäli näin tehdään, voi olla, että opiskelijat valitsevat helpommin yleisimmän vastausvaihtoehdon riippumatta heidän omasta näkemyksestään. [28] Toisaalta muiden vastausten näkeminen voi toimia uusien näkökulmien herättäjänä.

Tactics for directing attention and raising awareness:

Remove nonessentials
Compare and contrast
Extend the context
Reuse familiar question situations
Oops-go-back

Tactics for stimulating cognitive processes:

Interpret representations
Compare and contrast
Extend the context
Identify a set or subset
Rank variants
Reveal a better way
Strategize only
Include extraneous information
Omit necessary information

Tactics for formative use of response data:

Answer choices reveal likely difficulties
Use "none of the above"

Tactics for promoting articulation discussion:

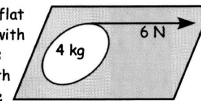
Qualitative questions
Analysis and reasoning questions
Multiple defensible answers
Require unstated assumptions
Trap unjustified assumptions
Deliberate ambiguity
Trolling for misconceptions

a) A block of mass 4 kg sits on a frictionless tabletop, and is pulled by a string having tension 6 N. What is the block's acceleration?



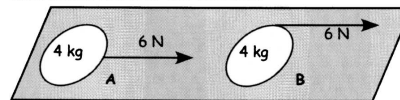
- 1) 0 m/s^2
- 2) 0.67 m/s^2
- 3) 1.5 m/s^2
- 4) 24 m/s^2
- 5) None of the above
- 6) Cannot be determined

b) A disk of mass 4 kg lies flat on a frictionless tabletop, with a string wrapped around its rim. The string is pulled with a force of 6 N. What is the acceleration of the disk's center of mass?



- 1) 0 m/s^2
- 2) 0.67 m/s^2
- 3) 1.5 m/s^2
- 4) 24 m/s^2
- 5) None of the above
- 6) Cannot be determined

c) Two disks lie flat on a frictionless tabletop. Each is pulled by a string with the same constant force. For one disk, the string is attached to the disk's center. For the other, it is attached to and wound around the disk's rim and can unwind. Which statement describes the center of mass accelerations of the two disks?



- 1) $a_A = a_B > 0$
- 2) $a_A > a_B > 0$
- 3) $a_A > a_B = 0$
- 4) $a_B > a_A > 0$
- 5) $a_B > a_A = 0$
- 6) Cannot be determined

(a)

(b)

Kuva 3: Beatty *et al.* on kehittänyt ja luokitellut useita erilaisia muotoiluja, joilla luentokysymykset saadaan monipuolisemmin opettamaan erilaisia ajatusmalleja ja tuomaan esiin opiskelijoiden väärinkäsityksiä. [22] (a)-kuvassa on esitelty eri taktiikoita kysymysten laatimiseen. (b)-kuvassa on esitetty kolme muunnelmaa kysymyksestä Newtonin toisesta laista yksiulotteisessa liikkeessä: a)-kohdassa suoraviivainen vaihtoehto, b)-kohdassa tehtävää on muokattu tuomaan esiin opiskelijoiden väärinkäsityksiä (taktiikka *trolling for a misconception*). c)-kohta tuo vielä b)-kohtaa selvemmin esille väärinkäsityksiä ja johdattaa opiskelijat vertailemaan tilanteita (taktiikka *compare and contrast*).

3 Kurssin FYSP102 toteutus

Syksyn kurssi FYSP102 on lähinnä fysiikan pääaineopiskelijoille tarkoitettu mekaniikan peruskurssin jatko-osa. Kurssi on laajuudeltaan 5 op ja se sisältää neljän viikottaisen luentotunnin lisäksi laskuharjoituksia ja laboratoriotöitä. Syksyllä 2011 kurssin läpäisi yli sata opiskelijaa, joista luennoille osallistui säännöllisesti 70-90 opiskelijaa. Kyseessä oli siis perinteinen massakurssi. Kurssikirjana toimi Randal J. Knightin *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* [29] ja luentomateriaalit löytyivät Moodle-verkkoympäristöstä. Perinteisen esittävän luennoinnin sijasta syksy 2011 toi kurssille vuorovaikutteisen otteen. Luennoitsija, akatemiaututkija Pekka Koskinen sanoi jäähyväiset luennoinnille ja pyrki siirtämään vastuun oppimisesta opiskelijoille itselleen. Passiivisen kuuntelun sijaan luennoilla käytetty Peer instruction -menetelmä haastoi opiskelijat aktiivisesti keskustelemaan ajatuksistaan. Koskinen oli käyttänyt vastaavaa menetelmää myös mekaniikan peruskurssilla FYSP101, joka edelsi kurssia FYSP102.

3.1 Peer Instruction kurssilla FYSP102

FYSP102-kurssilla PI-menetelmää sovellettiin melko perinteisesti Mazurin oppien [2] mukaan, joskin toimintoihin käytetyt ajat olivat pidempiä. Jokainen luentokerta koostui vuorottelevista luennoitsijan alustuksista ja käsitteistä. Joillakin luennoilla käytettiin appletteja tai esitettiin demonstraatioita.

Opiskelijat - ja luennoitsija - olivat harjoitelleet uutta opetustapaa jo edeltäneellä mekaniikan peruskurssilla, joten toimintatapa oli useimmille tuttu. Opiskelijat olivat myös hyvin motivoituneita opiskeluun ja heillä oli hyvä suhde luennoitsijaan. [30] Suurin osa opiskelijoista osallistui aktiivisesti keskusteluihin, mutta luennolla oli myös pieni joukko opiskelijoita, jotka istuivat yksin penkkirivin päädyssä ilman keskustelukumppania. Tämä yksinjähtäytyminen tuntui olevan tarkoituksellista.

Keskusteluryhmät muodostuivat vapaasti lähekkäin istuvista opiskelijoista ja vaihtelivat luennosta toiseen. Jotkut ystävysparit pysyivät samoina lähes kaikilla luennoilla, mutta pääsääntöisesti opiskelijat keskustelivat kurssin aikana useiden kanssaopiskelijoiden kanssa. Ryhmäkokoo vaihteli kahdesta opiskelijasta noin kymmeneen, ja ryhmien keskustelut lomittuivat välillä toisiinsa. Opiskelijoilla oli keskimäärin kaksi ja puoli minuuttia aikaa pohtia esitettyä testiä itsenäisesti ja tämän jälkeen neljä ja puoli minuuttia aikaa keskustella kysymyksestä (vrt. Mazurin 1 min ja 1-2 min, [2, s.10]). Jokaisella luennolla (2×45 minuuttia) esitettiin 3-5 käsitteistä².

2. Käsittestit on numeroitu luennon mukaan, esimerkiksi testi 4.1 on siis neljännen luen-

Kaikki opiskelijat vastasivat käsitetesteihin paperiselle vastauslapulle, jotka kerättiin pois luennon jälkeen. Osalla opiskelijoista (noin 15 henkeä) oli käytössä älypuhelin tai kannettava tietokone, ja he vastasivat myös interaktiivisesti. Näiden vastaajien pohjalta luennoitsija sai käyttöönsä reaaliaikaisen kuvan opiskelijoiden ajatuksista. Näistä vastauksista saadut kuvaajat näytettiin myös opiskelijoille kysymykseen vastaamisen jälkeen. Interaktiivisena vastausjärjestelmänä toimi internetistä löytyvä ilmainen Socrative-ohjelma [31]. Opiskelijoita kannustettiin osallistumaan luennoille jakamalla laskuharjoituspisteitä kysymyksiin vastaamisesta. Mikäli opiskelija oli vastannut vähintään 50 % esitetyistä testeistä, hän sai yhden laskuharjoituspisteen. Mikäli vähintään puolet vastauksista oli oikein ryhmäkeskustelujen jälkeen, opiskelija sai toisen hyvityspisteen. Hyvityspisteillä oli vähäinen vaikutus kurssiarvosanaan. Luennolla olleista opiskelijoista 0-10 jätti palauttamatta vastauslapun, ja joiltakin luennoilta palautui nimettömiä tai pilailunimellä täytettyjä lappuja.

Luennolla esitetyistä käsitetesteistä suuri osa oli peräisin kirjasta *Peer instruction: A user's manual* [2] ja valittujen kysymysten tyyli riippui luennon aiheesta. Joskus testien valinnassa vaikutti myös tietyn ajatus- tai ratkaisumallin tutuksi tuominen. Koska kurssi FYSP102 luennottiin suomeksi ja valtaosa valmiista käsitetesteistä on englanniksi, tuli testien kääntäminen hoitaa huolellisesti. Joidenkin testien kohdalla kieli herättikin pientä epäselvyyttä. Tällöin opiskelijat kuitenkin melko rohkeasti kysyivät selvennystä tilanteeseen.

non ensimmäinen käsitetesti jne.

4 Motivaatio ja tutkimuskysymykset

Kuten jo aiemmin totesin, tämä tutkielma on toteutettu osana laajempaa opetuksen kehittämishanketta. Aktivoiva lähestyminen opetukseen on uutta paitsi opetushenkilökunnalle myös opiskelijoille. Suomalaiseen koulujärjestelmään ei merkittävästi kuulu suullinen itsensä ilmaisu - oppimateriaalit, tehtävät ja kuulustelut ovat yleensä kirjallisia. Oppilaan ääni jää kaikilla kouluasteilla usein hiljaiseksi, kun opettaja on se, joka puhuu. Yliopisto-opintonsa aloittavilla opiskelijoilla ei näin välttämättä ole juuri kokemusta suullisesta vertaisoppimisesta.

Koska PI-menetelmä ei ole hyvin yleisesti käytössä Suomessa, opiskelijoiden käymistä keskusteluista ei ole saatavilla minkäänlaista tietoa. Aloitan siis keskustelujen analyysin aivan pohjalta, ja pyrin runsaita esimerkkejä hyödyntäen kuvaamaan, millaista keskustelua opiskelijat käyvät käsitteiden aikana. Keskustelun kuvaamisen lisäksi selvitän, kuinka keskustelu muuttaa opiskelijoiden vastauksia - erityisesti lisää oikeiden vastausten määrää. Kutsun tätä muutosta oppimiseksi. Pyrin selvittämään, mitkä konkreettiset asiat testejen muotoilussa ja käsittelyssä vaikeuttavat keskustelun kulkua ja oppimista. Luokitelen myös tehtävät tyyliinsä mukaan ja katson, onko tehtävätyypillä vaikutusta oppimiseen. Lopuksi pyrin miettimään tapoja, joilla opiskelijoiden käymää keskustelua voisi ohjata opettavammaksi. Tässä tutkielmassani en tutki, onko PI-menetelmä oppimisen kannalta perinteistä luennointia parempi tapa opettaa.

Muotoilun tutkimuskysymykseni siis seuraavasti:

1. Millaista opiskelijoiden käymä keskustelu on käsitteiden aikana?
2. Miten keskustelu muuttaa opiskelijoiden vastauksia?
3. Mitkä asiat vaikeuttavat oppimista?
4. Onko tehtävätyypillä vaikutusta oppimiseen?

5 Aineiston kerääminen ja analysointi

Seuraavissa kappaleissa esittelen aineiston keruun ja analysoinnin. Aluksi tarkastelen käsitetestiä vastauksia tilastollisesti. Tätä varten kaikki vastaukset kirjattiin sähköiseen muotoon Excel-taulukoksi. Tilastollisen tarkastelun jälkeen käsittelen osaa tehtävistä yksityiskohtaisemmin hyödyntäen ääninauhoja. Lopuksi esittelen testiparien valinnan ja tehtävätyyppien luokittelun.

5.1 Aineiston kerääminen

Kolmannesta luentokerrasta alkaen kurssin luennot (11 luentokertaa) kuvattiin kahdella videokameralla, joista toinen kuvasi opiskelijoita ja toinen luennoitsijaa ja taulutyöskentelyä.³ Lisäksi luennoitsijalla oli taskussaan nauhuri. Opiskelijoiden välisien keskustelujen selvittämiseksi yhdellä opiskelijalla oli myös nauhuri. Opiskelija, *Minni*, valittiin ensimmäisten luentojen ja laskuharjoitusten jälkeen sillä perusteella, että hän osallistui aktiivisesti keskusteluihin ja istui aina ryhmässä. Hänen äänensä on myös helposti tunnistettavissa.

Audiovisuaalisen materiaalin lisäksi luennoilla kerättiin käsitetestiä vastauslaput, kuvaajat interaktiivisista vastauksista sekä alku- ja loppukyselyt, joilla selvitettiin opiskelijoiden motivaatiota ja kokemusta toimivuudesta kurssilla.

5.2 Aineiston analysointi

5.2.1 Tilastollinen arvio oppimisesta ryhmäkeskusteluissa

Pelkkien käsitetestiä vastausten perusteella tehtävä tulkinta opiskelijoiden oppimisesta ei kerro koko totuutta. [27] Tiedon, tai vähintään perustellun arvauksen, lisäksi opiskelijat tekevät valintojaan muun muassa puhtaasti arvaamalla, väärin perusteluiden nojalla (ks. esimerkiksi keskustelu tehtävästä 9.1) ja keskustelutoverin vastausta matkimalla (ks. esimerkiksi keskustelu tehtävästä 7.1). Tarkastelemalla vastauksia tilastollisesti voidaan kuitenkin tehdä suuntaa-antavia tulkintoja ryhmäkeskustelun vaikutuksesta oppimiseen.

Luennoilla esitettiin yhteensä 47 käsitetestiä. Valitsin näistä tilastolliseen tarkasteluun ainoastaan sellaiset testit, joihin oli yksi ainoa oikea vastaus. Tällaisia kysymyksiä oli 38, joista jouduin karsimaan pois kaksi opiskelijoiden epäselvien vastausten vuoksi.⁴ Lisäksi yhden tehtävän käsittelyssä opiskelijoiden välinen keskustelu jäi puuttumaan. Tarkasteluun jäi siis 35 tehtävää. Kysymyksiin

3. Opiskelijoilta kerättiin kurssin aluksi kirjallinen hyväksyntä kuvaamista varten. Yksikään opiskelija ei kieltänyt kuvaamista.

4. Kyseessä oli kaksi peräkkäistä kysymystä, joista ensimmäinen oli nk. pikakysymys, johon ei ollut tarkoitus vastata kirjallisesti. Osa opiskelijoista kuitenkin merkitsi vastauksensa paperille, jolloin nämä vastaukset sekoittuivat seuraavan tehtävän vastauksiin.

vastasi keskimäärin noin 70 opiskelijaa yhtä luentoa lukuunottamatta. Suuri osa opiskelijoista oli tällöin ilmeisesti lähtenyt Luonnontieteelliselle Jouluristeilylle, joten tehtäviin vastasi vain alle 50 henkeä.

Aineiston käsittelyn aluksi kokosin Excel-taulukoksi kaikki opiskelijoiden palauttamat vastauslaput. Tämän aineiston pohjalta selvitin tehtäväkohtaisesti, kuinka moni opiskelija

1. vaihtoi väärän vastauksen oikeaksi (vo)
2. vaihtoi oikean vastauksen vääräksi (ov)
3. vastasi oikein kummallakin kerralla (oo)
4. vastasi väärin kummallakin kerralla (vv).

Tämän tiedon pohjalta sain myös tiedon siitä, kuinka moni opiskelijoista vastasi oikein/väärin ennen ja jälkeen keskustelun. Näistä tiedoista pystyin selvittämään, kuinka suuri osa väärin vastanneista vaihtoi vastauksensa oikeaan keskustelun jälkeen. (tilasto, ks. LIITE 1)

5.2.2 Testikohtainen tarkastelu

Valitsin tarkasteluun sellaiset testit, joissa

1. vähintään 80 % ennen keskustelua väärin vastanneista opiskelijoista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon
2. vähintään 40 % opiskelijoista vaihtoi väärän vastauksen oikeaksi.

Näitä tarkastellaan kappaleessa 6.2.1 Opettavat tehtävät. Lisäksi kappaleessa 6.2.2 Vaikeat tehtävät tarkastelen testejä, joissa

4. osaaminen oli keskustelun jälkeen huonompaa kuin ennen keskustelua
5. keskustelun jälkeenkin yli puolet opiskelijoista vastasi väärin.

Valitsin yllämainitut kriteerit sillä perusteella, että tarkasteltavia tehtäviä tulisi sopivan kattava otos. Tarkastelin näitä käsitetestejä tarkemmin ääninauhaa hyödyntäen. Poimin keskusteluista testeihin ja erityisesti tehtävänantoihin liittyviä seikkoja, jotka herättivät epäselvyyttä opiskelijoissa. Lisäksi pyrin kohdentamaan fysiikan käsitteisiin ja teorioihin liittyviä kohtia, joissa opiskelijoilla oli vaikeuksia. Tarkoitukseni ei ollut kuitenkaan selvittää kattavasti esimerkiksi opiskelijoiden termien käytön oikeellisuutta, se jääköön toisen tutkielman aiheeksi.

5.2.3 Testiparien vertailu

Valikoin käsitetesteistä muutamia nk. testipareja, eli tehtäviä, jotka liittyvät läheisesti toisiinsa. Testiparit joko vaativat ratkaisussaan samojen periaatteiden soveltamista tai käsitelivät samaa fysikaalista tilannetta. Testipareista pyrin selvittämään, oliko jälkimmäisen testin osaaminen ensimmäistä parempaa.

5.2.4 Tehtävätyyppien luokittelu ja analyysi

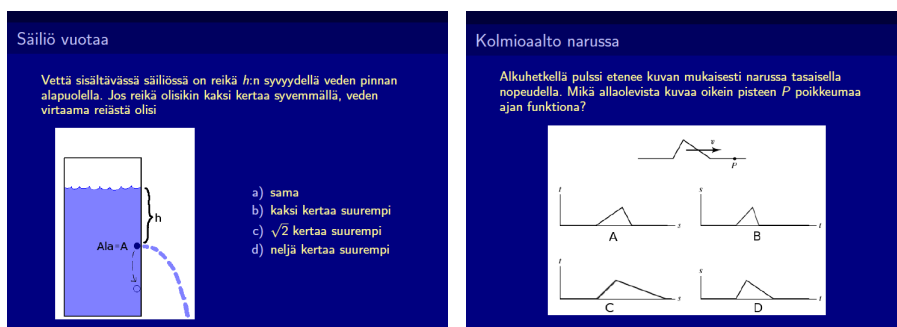
Tarkastellakseni tehtävätyypin vaikutusta oppimiseen luokittelin tehtävät kolmeen osaan sen perusteella, tarvittiinko tehtävän ratkaisemiseksi kaavojen hyödyntämistä vai ei, ja vaatikko ratkaisu kuvaajan tai matemaattisen olion tulkintaa.

Sanallisten tehtävien (S) ratkaisu ei vaadi matemaattisia yhtälöitä. Tehtävässä voi olla apuna kuva, mutta varsinaista kuvaajan tulkintaa ei vaadita. Esimerkki tästä tehtävätyypistä on esitelty kuvassa 2.

Laskutehtävien (L) ratkaisemiseksi opiskelijoiden tulee soveltaa jotakin tunnettua kaavaa. Tehtävänannossa voi olla absoluuttisia lukuarvoja tai suureiden suhteita. Vastauksena voidaan hakea suureiden suhdetta tai absoluuttista lukuarvoa, tai laskun tulosta voi joutua tulkitsemaan sanallisesti. Esimerkki laskutehtävästä löytyy kuvasta 4(a)

Kuvaajan tulkinta -tehtävissä (K) päähuomio on nimensä mukaisesti mekaanisessa kuvaajan tai matemaattisen olion⁵ tulkinnassa, esimerkkinä kuva 4(b).

Luentokysymyksiä oli kaikkiaan 47. Näistä laskutehtäviä oli 10 ja kuvaajantulkintaa 8, loput olivat sanallisia. Tehtävistä yksi oli tietokoneella näytetty PhET-simulaatio [32] ja kahteen liittyi ääninäyte.



(a) Esimerkki laskutehtävästä

(b) Esimerkki kuvaajan tulkintaa vaativasta testistä

Kuva 4: Kaksi käsitetestiä, joista toinen on selkeä laskutehtävä ja toinen vaatii kuvaajan tulkintaa.

Osa näistä sanalliseksi luokitelluista tehtävistä oli sellaisia, että ne oli mahdollista ratkaista myös laskemalla, mutta tämä oli tarpeetonta. Perinteisen ku-

5. Matemaattisella oliolla tarkoitetaan (ennestään oppilaille tuntematonta tai vaikeaselkoista) yhtälöä, funktiota tai kaavaa, jonka sisältöä opiskelijoiden tulee arvioida varsinaisesti ratkaissamatta sitä.

vaajan tulkinnan lisäksi luokittelin kategoriaan myös ns. matemaattisten olioien tulkintaa vaativia tehtäviä. Kolmannen ryhmän muodostivat laskutehtävät, joissa siis ratkaisuun päästiin jotakin tunnettua kaavaa hyödyntäen. Laskutehtävissäkin lopullinen vastaus saattoi vaatia yhtälön ratkaisemisesta saadun tuloksen tulkintaa tai vertailua. Monissa laskutehtävissä kysyttiin itse asiassa jotakin suhdetta, jolloin opiskelijoiden tuli osata erotella vakiona pysyvät suureet muuttuvista. Tarkastelin tilastollisen aineiston avulla, oliko eri tehtävätyyppien välillä eroja osaamisessa tai oppimisessa.

6 Tulokset

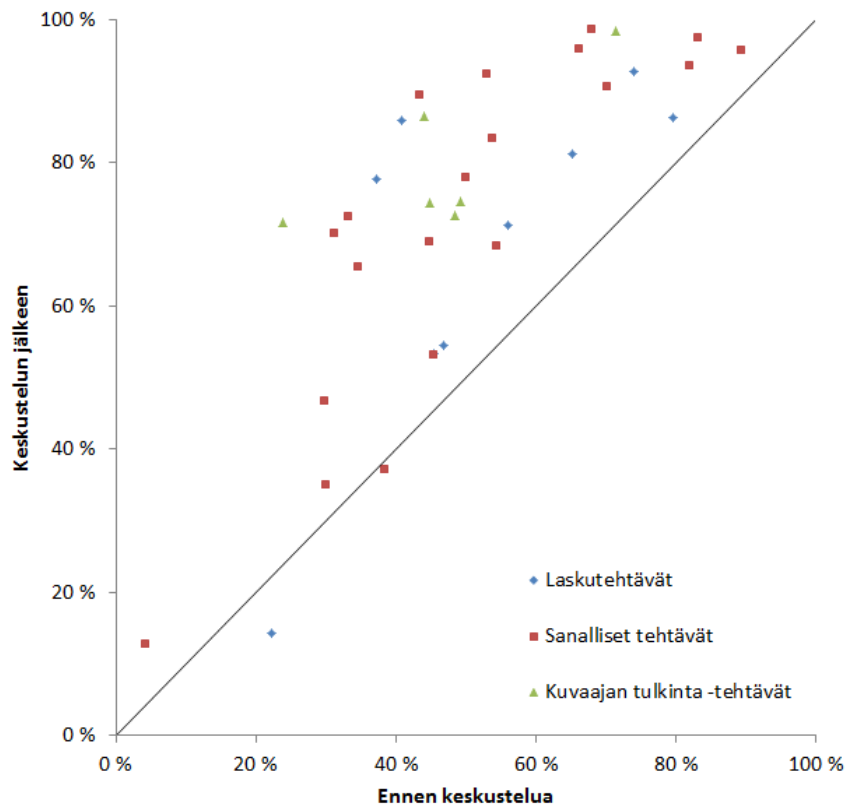
Aluksi voin todeta keskusteluista yleisesti, että suurimmaksi osaksi ne pysyivät aiheessa, eivätkä rönsyilleet esimerkiksi viikonlopun tapahtumiin tai videopeleihin (näinkin kävi joskus). Mikäli testi oli erityisen helppo tai vaikea, esiintyi tällaista epäoleellista keskustelua enemmän. Selvästi oli myös havaittavissa loman läheisyys viimeisen luentokerran kohdalla. Valtaosa keskustelusta ainakin pyrki käsittelemään oikeaa asiaa.

Seuraavissa kappaleissa esittelen analyysin tuloksia. Käsittelen aluksi aineistoa tilastollisesti. Tämän jälkeen tarkastelen osaa testeistä tarkemmin. Testikohtaisen tarkastelun jälkeen pyrin arvioimaan oppimista testiparien avulla. Viimeisessä kappaleessa tarkastelen tilastollisesti, onko eri tehtäväluokkien osaamisessa eroa.

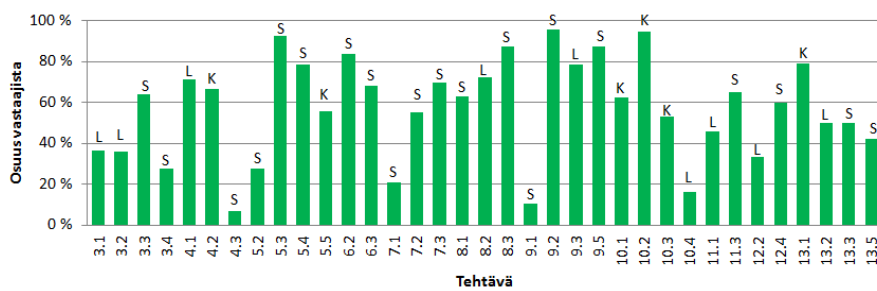
6.1 Tilastollinen arvio oppimisesta

Opiskelijan voidaan katsoa oppineen ryhmäkeskustelusta erityisesti silloin, kun hän vaihtoi väärän vastauksensa oikeaksi keskustelun jälkeen. Keskustelujen vaikuttavuutta yleisesti voidaan arvioida vertaamalla oikean vaihtoehdon valinneiden lukumäärää ennen ja jälkeen keskustelujen. Kuvassa 5 on esitetty oikeiden vastausten osuus ennen keskustelua verrattuna oikeiden vastausten osuuteen keskustelun jälkeen. Tämä antaa hyvän yleiskuvan keskustelun vaikutuksesta. Keskustelun merkitystä voidaan tarkastella myös tutkimalla sitä, miten alun perin väärin vastanneiden mielipiteet muuttuvat. Kuvassa 6 on näytetty testikohtaisesti, kuinka suuri osuus ennen keskustelua väärin vastanneista vaihtoi oikeaan vastaukseen keskustelun jälkeen. Kuvaajassa 7 on esitetty opiskelijoiden vastauskombinaatiot ennen ja jälkeen keskustelun.

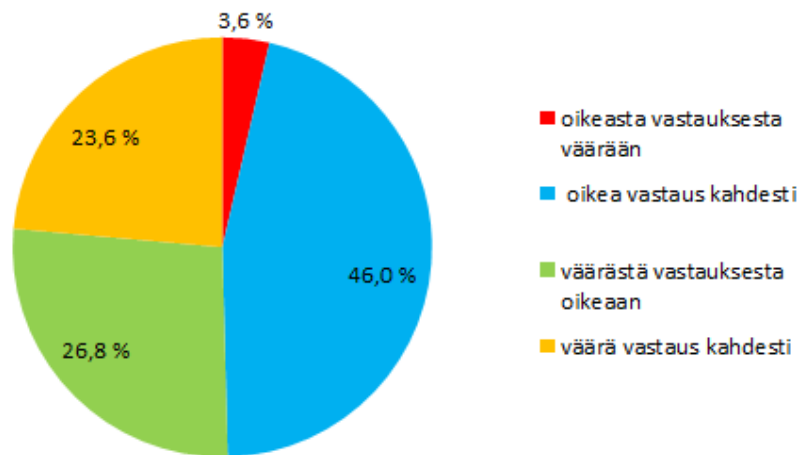
Kuvaajasta 5 voi nähdä, että keskustelu paransi osaamista lähes kaikissa tehtävissä. Toisissa testeissä oppimista on havaittavissa enemmän (pisteet kaukana viivasta) ja toisissa vähemmän (pisteet viivan tuntumassa). Jos vertaa kuvaajaa kirjasta *Peer instruction: A user's manual* [2, s.13] löytyvään vastaavaan, voi todeta osaamisen olleen heikompa. Tämä voi johtua vaikeammista testeistä. Vertailu ei ole mahdollista, sillä kirjassa ei esitellä käytettyjä käsitteitä (eikä muutakaan tietoa kyseisestä kurssista). Toisaalta suuri osa kurssilla käytetyistä käsitteistä on peräisin juuri kyseisestä teoksesta, joten vaikeimmat kysymykset eivät selittäne koko totuutta. Kuvasta 7 nähdään, että keskimäärin noin neljännes opiskelijoista vaihtoi vastauksensa väärästä oikeaan keskustelun seurauksena. Samasta kuvasta nähdään myös, että keskimäärin noin 4 % opiskelijoista vaihtoi oikean vastauksensa vääräksi keskustelun jälkeen. Tässä vaihtelu testien välillä oli kuitenkin suurta - enimmillään jopa 21 % opiskelijoista kuului tähän ryhmään.



Kuva 5: Kuvaaja oikeista vastauksista ennen keskustelua verrattuna oikeisiin vastauksiin keskustelun jälkeen. Jokainen piste kuvaa yhtä käsiteltyä. Jako eri tehtävätyyppeihin on esitelty kappaleessa 5.2.4.



Kuva 6: Tehtäväkohtainen tarkastelu siitä, kuinka suuri osuus ennen keskustelua väärin vastanneista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon keskustelun jälkeen. Kirjaimet palkkien yläpuolella kuvaavat eri tehtävätyyppejä. Jako tehtävätyyppeihin on esitelty kappaleessa 5.2.4.



Kuva 7: Kuvaaja siitä, kuinka opiskelijoiden vastaukset muuttuivat keskustelun aikana keskimääräisesti.

6.2 Testikohtainen tarkastelu

Ennen jokaisen käsitetestin käsittelyä esitän kyseisen testin sekä kuvaajan opiskelijoiden vastauksista ennen ja jälkeen keskustelun. Aluksi käsittelen jokaista valittua tehtävää yleisesti. Tämän jälkeen tarkastelen *Minnin* ryhmän käymää keskustelua ja, mikäli mahdollista, esitän siitä katkelmia - tai toisinaan koko keskustelun. Lopuksi pyrin poimimaan käsitetestin käsittelyä hankaloittaneita asioita.

6.2.1 Opettavat käsitetestit

Käsittelen aluksi testit, joissa vähintään 80 % ennen keskustelua väärin vastanneista opiskelijoista vaihtoi oikeaan vastaukseen. Tämän jälkeen käsittelen testit, joissa vähintään 40 % kaikista opiskelijoista vaihtoi väärän vastauksen oikeaksi.

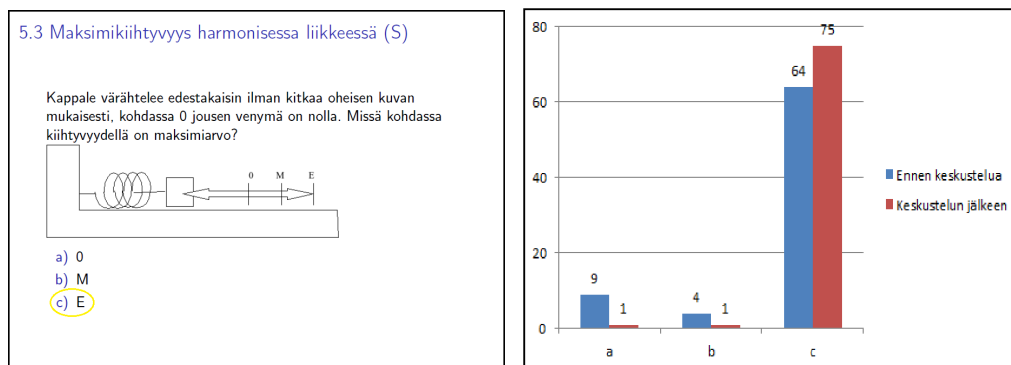
Testit, joissa vähintään 80 % väärin vastanneista vaihtoi kantansa oikeaan

Vähintään 80 % ennen keskustelua väärin vastanneista opiskelijoista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon testeissä 5.3, 6.2, 8.3, 9.2, 9.5 ja 10.2.

Käsitetesti 5.3

Testissä piti hahmottaa kiihtyvyyttä harmonisessa liikkeessä. Ratkaisun perustana oli Newtonin toinen laki ja harmoninen jousivoima. Testi oli osattu hyvin,

sillä jopa 83 % opiskelijoista vastasi oikein jo ennen keskustelua. Keskustelu sai väärinvastanneistakin lähes kaikki (92 %) vaihtamaan oikeaan vaihtoehtoon.



(a) Käsitetesti 5.3

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 8: Käsitetesti 5.3 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

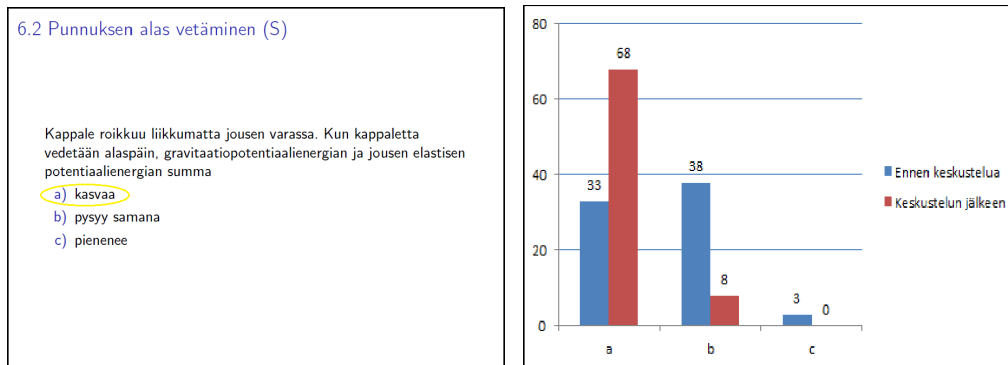
Testi ei herättänyt kunnollista keskustelua, sillä kaikki lähiryhmässä olivat vastanneet samoin (oikein). *Minni* keskusteli kuitenkin vähän aikaa hieman kauempana istuvan naisen kanssa, joka ei tuntunut olevan aivan varma oikeasta vaihtoehdosta. *Minni* perusteli valintaansa hänelle:

Minni Kato kun ihan miettii af on $am\ aa$, se toimii aina. Siis ihan, minä en oo vielä kertaakaan kyllä varmaan sillä osunu väärään. Et jos se voima on suurin ku sitä venytetään. Ja sama juttu ku pallon heittää ilmaan, se lakipisteessä ku se on ihan kauimpana tavallaan siitä alkuperäisestä pisteestä, sen kiihtyvyys on suurin. Sillon ku se vaihtaa suuntaa.

Kommentin alun kehoitus miettiä Newtonin toista lakia on aivan oikein. Lopun vertaus pallon heittoon on kuitenkin väärin. Toisin kuin jouseen, palloon ei ilmalennon aikana kohdistu muita voimia kuin gravitaatiovoima (kun jätetään ilmanvastus huomioimatta). Pallon kiihtyvyys on siis jatkuvasti vakio.

Käsitetesti 6.2

Testi käsitteli jousisysteemin energiaa. Ratkaisuun saattoi päätyä työn käsitteen kautta tai ajattelemalla tasapainotiloja. 43 % opiskelijoista vastasi oikein ennen keskustelua, mutta keskustelu sai suurimman osan (84 %) väärin vastanneista tarkistamaan kantansa.



(a) Käsitetesti 6.2

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 9: Käsitetesti 6.2 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni ja vierustoverinsa kuuluivat siihen suureen osaan opiskelijoista, joka korjasi vastauksensa oikeaksi. *Minni* oli selvästi epävarma omasta valinnastaan, sillä koko keskustelu alkoi vaihtoehdon kyseenalaistamisella.

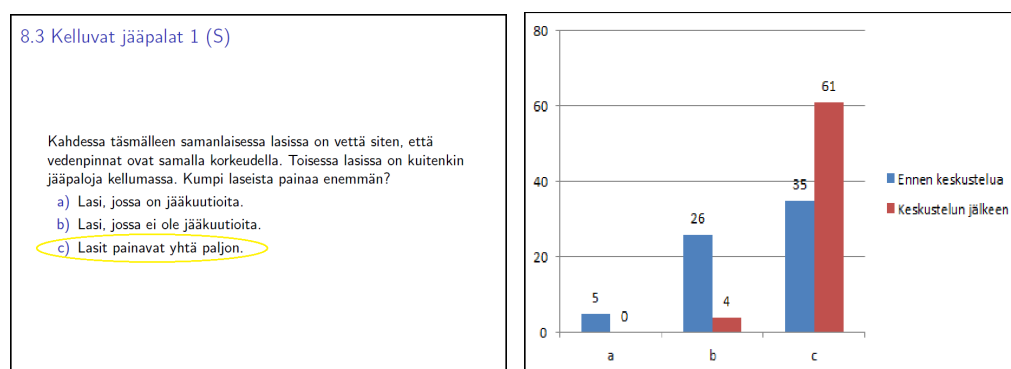
- 1 *Minni* Mä eka vastasin et pysyy samana, mutta toisaalta...
- 2 *Mies1* Kun siihen periaatteessa tehdään työtä siihen systeemiin
- 3 *Minni* Nii! Koska ilman että mä kosken siihen se on paikallaan ja sitten kun mä kosken siihen ni se rupee värähtelemmään tai siis kun mä venytän sitä ja päästän irti. Mä oon tehny siihen työtä, koska se liikkuu. Sen jälkeenhän se pysyy vakiona, mutta..
- 4 *Mies1* Sitten ku se värähtelee siinä
- 5 *Minni* Mut se että teenkö minä kun laitan sitä alas päin, periaatteessa muminaa Kun mä sitä mietin kanssa että, jos se on tietyllä korkeudella, sillä on potentiaalienergiaa. Sitten mä vedän sitä kappaletta alas päin. Mutta hei, eihän se jousi siinä liiku mihinkään. Se kappale liikkuu, mut se jousi ei. Jos mä niinku laskisin jostain hyllyltä jonku alas niin tarkoittais, sen kappaleen potentiaalienergia pienenis, mutta...
- 6 *Mies1* Nii mut se jousikin venyy.
- 7 *Minni* Nii, mutta se menee siihen jousen venymiseen. Et se jousi, tai jousen toinen pää pysyy paikallaan. Et itessään se systeemiä ei liiku. Nii eli kummin päin se tulee? Minä oon tehny siihen työtä, eiku... Nii tehny työtä, koska se se... kumpi se on, pieneneekö se vai kasvaa?
- 8 *Nainen* Mut jos aattelis et se...

- 9 Mies1 Jos siihen tulee lisää energiaa..
- 10 Nainen Ei mut jos sihe tekee työtä jos se menee se työ siihen jousen venymiseen. Sittehan periaatteessa... Mut onko tuossa gravitaatiopotentiaalienergia niinku se, mikä riippuu paikasta ja sitte se tuo elastinen jousen potentiaalienergia se on niinku se venymä? En mä tiä, mut mä oisin silti sitä mieltä et se pysyy samana. Vaikka sitä venyttää.
- 11 Minni Mut ku se pot... gravitaatiopotentiaalienergia ei muutu, koska se systeemiin kun mä venytän sitä nii se jousen toinen pää pysyy paikallaan. Se ei muutu, mutta sitte se venytys-
hän muuttuu. Mä venytän sitä, ni se potentiaalienergia siinä jousessa kasvaa. Eikö kasvaki? Koska se sitte liikkuu. Ja sitte sille tulee se amplitudi. Kyllä!
- 12 Mies1 Eli se kasvaa.
- 13 Nainen Eli jousen potentiaalienergia kasvaa... Mut miten sit gravitaatiopotentiaalienergia? Se ei muutu mihinkään kö?
- 14 Minni Niin, koska minun mielestä koska me ei koko systeemiä liikuteta vaan osaa siitä.
- 15 Aku Kyllä siihen silti tulee energiaa.
- 16 Minni Niin tulee energiaa sinne. Mutta gravitaatiopotentiaalienergia ei muutu.
- 17 Aku Se pienenee hetkellisesti sillä kappaleella.
- 18 Minni Nii kappaleella, mutta entä koko systeemi? Mehän nyt tarkastellaan...
- 19 Aku Koko systeemi...
- 20 Minni Eihän me... Jousi pysyy osittain siinä paikallaan, me vaan venytetään sitä josta.
- 21 Aku Kyllähän se pienenee sillä koko systeemillä se gravitaatio. Jousivoima, tai jousen elastinen potentiaalienergia kasvaa niin paljon et se...
- 22 Minni Nii, kyl mäki sanoisin et se on *suurempi*...
- 23 Aku Koska jos se energia pysyis samana, niin ku se kappale päästetään irti siellä alhaalla nii se palais takas alkuperäseen paikkaansa. Mutta koska se kasvaa, niin se menee sen alkuperäsen paikan ohi ja alkaa värähdellä.
- 24 Minni Niin niin. Mut sitä mä oon mieltä, et pysyys, muuttuiks se gravitaatiopotentiaalienergia? Koska kun gravitaatiopotentiaalienergia muuttuu ku minä siirrän jonku kappaleen paikkaa, mut jos mä venytän jotain josta, joka on tässä ja mä venytän sitä, niin se jousen toinen pää ei muuta paikkaa.

- 25 Aku Se gravitaatiopotentiaalienerga ei katoa, vaan se muuttuu sen jousen elastiseksi.
- 26 Mies3 Eiköhän meidän jouset oo massattomia.
- 27 Minni Ai niin, sekin vielä.
- 28 Aku Se ei katoa se potentiaalienergia vaan se varastoituu siihen jouseen, ku sitä vedetään alaspäin.
- 29 Minni Se et silloin se kasvas, tietenki. Eihän se voi pienentyä aina-kaan, jos se on ensin tasapainossa.
- 30 Aku Jos se pienuis, kun sä päästätä irti siitä kappaleesta ni se jäis siihen. Silloin se vois pienentyä.
- 31 Minni Niin kyllä. Se on kasvanu. Koska mä ensin vastasin et se on yhtä suuri, mutta ei se, ei se nyt taida kyllä olla.
- 32 Nainen Mä vaan ajattelin sitä kappaletta enkä ottanu sitä jouta huomioon ollenkaan.

Vaikka keskustelussa tulee ilmi useitakin hyviä perusteluja (esimerkiksi kommentit 3 ja 23), esimerkiksi kommenteista 7, 14 ja 16 näkyy, että systeemin (ja systeemin energian) käsite on epäselvä. Gravitaatiopotentiaalienergiaa tarkasteltaessa oleellinen, eli painopisteen liike, jää huomiotta. Kysymyksen pilkkominen osiin ei näin oikein onnistu, vaikka kokonaisratkaisuun perustelut löytyykin. (Muutahan ei tässä kysytyykään!) Tehtävänantokin toisaalta jättää hieman jossittelun varaa: entä jos kappaleesta vetäminen liikuttaisikin koko systeemiä alaspäin jousen venyttämisen sijaan?

Käsitetesti 8.3



(a) Käsitetesti 8.3

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 10: Käsitetesti 8.3 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Testi käsitteli nostetta. Aluksi noin puolet opiskelijoista valitsi väärän vaihtoehdon, mutta keskustelun jälkeen 92 % päätyi oikeaan vastaukseen. Vaikka kysymyksen käsittely selkeästi vaati nosteen käsitettä, ja sitä oli käsitelty luennolla myös juuri ennen käsitetestin esittämistä, ryhmä ei keskustelussaan maininnutkaan nostetta. Keskustelu kävi melko vilkkaana, mutta varsinaisen asian vierestä. Ajatuksiin haettiin apua vanhoista esimerkeistä ja arkikokemuksista. Vasta aivan keskusteluajan lopulla viereisestä ryhmästä jäsen kertoi oikean idean ja vastauksen.

- 1 Minni Mitäs te vastasitte?
- 2 Mies1 Mä vastasin että a, mut mä en oo ihan varma et painoko jää enemmän ku vesi.
- 3 Mies2 Mä laitoin c:n.
- 4 Minni Siis ku minä oon sitä mieltä, että ne painaa tasan tarkkaan saman verran, mut et se jää vie enemmän tillaa. Ku se sit sullaa ni sit se o vähemmän vesimääränä. Kun se et mitä se vie tillaa sillo jäänä. Mut se vaan et ku mä rupesin mieltii sit, tässä pitäis minun mielestä ehkä tietää tuota, että miten, oletetaanko että se on puoliksi täällä veden alla. Koska mä ajattelin sillee että esimerkiks jos tää ois suurimmaks osaksi täällä veden alla, nii sillen se veis niinku isomman tilan. Nestepinnat ois yhtä isot ni sillenku tää ois sulat ni tää pinta ois alempana kun sen toisen.
- 5 Mies1 Sehän on ihan samalla korkeudella.
- 6 Minni Mut sitte ku ne sulaa.
- 7 Mies1 Mut ku osa niistä on pinnalla siitä jäätä kummiski.
- 8 Minni Niin mut ku mä sulamisen jälkeen mietin sitä. Että niinku kato ku siis eihän se massa siitä muutu mikskään.
- 9 Mies1 Jeps.
- 10 Minni Nii se vaan että kun niinku se miten me saahaan sitte ne niinku vertailtua niitä vesimääriä. Nii ajatellaanko ne sit sulaa?
- 11 Mies1 Nii eiks se niinku vähän kohoais sit pikkuse? Jos siellä on... jos sitä jäätä on siinä veden pinnallakin. Tai ne kuutiot on sille et...
- 12 Minni Jos ne ois pinnalla nii sit se kohoais, se mutta ku eihän
- 13 Mies1 Nii ei siis kokonaan, mutta tuo pieni osa tosta. Toikin pieni osa tosta eiks se nosta sit hiukan? Jos se sulaa.
- 14 Minni Niinku mä en tiiä sitä suhdetta!
- 15 Mies2 Nehän jää siihen niinku nesteen pinnalle mutta kuitenkin tuonne nesteen alle.

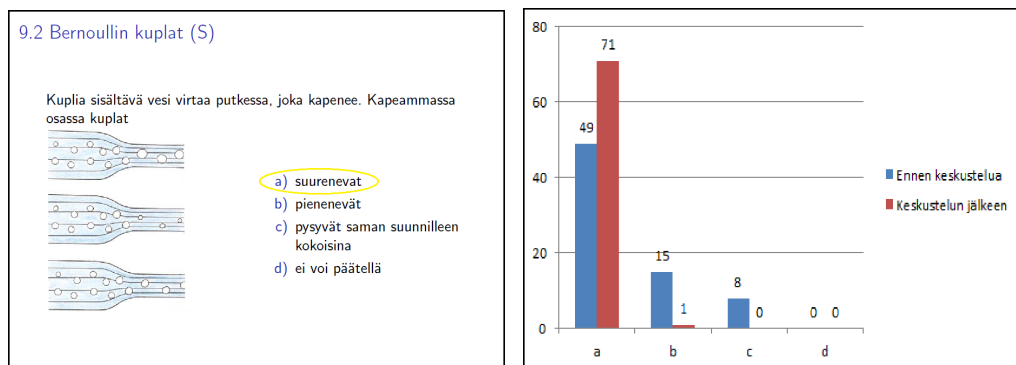
- 16 Mies3 Siis mun mielestä... Meillä oli lukiossa tämä suuri jääpala-ongelma. Olutlasi on täytetty piripintaan ja siellä on jäitä. Sit kun ne jäät sulaa niin valuuko se siitä niinku ylitte se olut. [epäselvää]
- 17 Minni Meillä oli kemiassa tänä syksynä vähän saman tyyppinen. Mut siis että kun nää jäät vie enemmän tillaa. Sillon kun ne on sulanu niin tämän pinta alenee, jos ne on enimmäkseen veden alla. Mutta jos ne on enemmän pinnalla ni siinä käy niinku sinä sanoit. Ku minä mietin että mistä me tietään mistä kohti tämä nyt mennee tämä. Olettaanko tässä että tämä kelluu näin, että se on puolet ja puolet?
- 18 Mies1 Vai onko se sitte tosiaan niinku näin että se on niinku...
- 19 Minni Niinku minä en tiedä sitä. Minä en ainakaan tiä sitä että kumpi se on.
- 20 Mies2 Eikö tossa nyt pointti oo se, et kumpi niistä painaa enemmän. Se massahan siinä pysyy kuiteski samana koko ajan.
- 21 Minni Niin mut se vaan et toisessa sitä tavaraa on vähemmän ja toisessa enemmän. Kummassa on enemmän tavaraa?
- 22 Mies1 Tossa on kuiteski sitä jäätä siellä.
- 23 Minni Nii, jään tilavuus on isompi. Mutta sitä on myös siellä pinnalla. Tai niinku... olettaanko silleen että siinä on neste pinta on tälleen ja sitten jos siinä on sitä jäätä tällee. Hetkonen. Kun minä mietin että jos siinä oletettan että ne *jään* pinta on samalla kun...
- 24 Mies1 Ei kun nesteenhän se oli.
- 25 Mies2 Mä oletan ainakin just sillee et...
- 26 Minni Veden pinnat, nii.
- 27 Mies2 Veden pinnat on samalla korkeudella, tääl on sitte jäitä paloja sit kellumassa.
- 28 Minni Sitä minä en tiedä, että kato kun ku eihän se nyt oo sillee et just tässä on puolet isompi tää tilavuus. Mä en tiä sitä suhdetta. Niinku sitä mä vaan tässä vähän mietin. Niinku että jos kuvitellaan ett ne on puoliksi tässä. Niin sitten pitäisi tietää se että niinku syrjäyttääkö tämä alue tavallaan niinku, niinku jos kuvitellaan että tämän tilavuus vetenä ois puolet pienempi. Tulis tämä ja sitten tää yläpuoli sulasi täksi toiseksi puoleksi niin sanotusti. Mutta jos se ei sula tällee, vaan niinku eihän se nyt ihan mene tuollee. Tai ei mene. Etä veden tilavuus on aika paljon isompi ku mieltii että joku pulloki voi räjähtää periaatteessa niinku sillee haleta pakas-

- timessa.
- 29 Mies2 Niin joo totta. Sitä ei tarvii testata. [Muuta keskustelua]
- 30 Minni Mutta ku minä en tiedä. Minusta tämä on nyt vähän hämää, koska ei myö tietä, ensinnäki minä en ainakaan osaa sanoa että kelluks se puolivälissä. Jos me oletetaan et se kelluu puolivälissä.
- 31 Mies1 Et jos tehään tällanen oletus, että se kelluu siinä puolivälissä... (Tämän jälkeen viereisen ryhmän jäsen, *Aku*, kertoo oikean vastauksen ja perustelun.)

Testiin liittyvä keskustelu on mielenkiintoinen esimerkki siitä, kuinka viisaat päät yhdessä ei välttämättä ole yhtä viisasta päätä viisaampi. Keskustelu tuntuu jatkuvan ja jatkuvan ilman, että kukaan todella ajattelisi esitettyä kysymystä ja siihen oleellisesti liittyvää fysiikkaa.

Käsitetesti 9.2

Testissä tuli soveltaa Bernoullin virtausyhtälöä. Luennoitsija oli ennen testin esittämistä selostanut venturiputkea koskevassa esimerkissä avaimen tehtävän ratkaisuun (ks. LIITE 2). Päättäväksi jäi oikeastaan vain se, mitä tapahtuu kuplalle paineen pienentyessä. Ennen keskusteluakin 68 % opiskelijoista oli valinnut oikean vaihtoehdon ja keskustelun jälkeen ainoastaan yksi opiskelija vastasi väärin. Ennen keskustelun alkua luennoitsija rajasi pois vaihtoehdot c) ja d), mikä ohjasi keskustelua. Yksikään opiskelija ei ollut itsenäisesti valinnut vaihtoehtoa d) ja c):n kannalla oli ollut kahdeksan.



(a) Käsitetesti 9.2

(b) Opiskelijoiden vastaukset

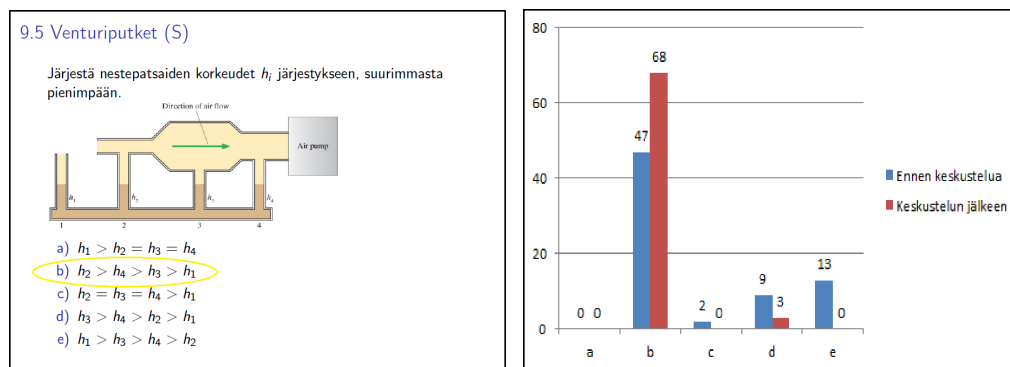
Kuva 11: Käsitetesti 9.2 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni oli aluksi vastannut väärin, mutta luennoitsijan ohjaus muutti mielipiteen. Perustelukin löytyi helposti.

- 1 *Minni* No silloin mä tiän. Joo, silloin se on a.
- 2 *Mies* Niinku mä mietin sille et siellä on suurempi nopeus ni siellä on pienempi paine. Ja sit niihin kupliin kohistuu pienempi paine. Ja se niinku kasvais.
- 3 *Minni* Niinku mä mietin että ku pienemmässä, mitä suurempi paine ni sitä, niinku kaasutkin pyrkii suuremmassa paineessa pienempään tillaan, pinta-allaan, eiku tota tilavuuteen. Sillo jos käy toisin päin elikkä ne...
- 4 *Mies* Paine on pienenee.
- 5 *Minni* ...niin, paine on pienempi ni silloin ne pyrkii isontummaan.

Käsitetesti 9.5

Testi oli samankaltainen kuin testi 9.2. 34 % opiskelijoista vastasi väärin ennen keskustelua, mutta heistä 88 % vaihtoi oikeaan vastaukseen keskustelun jälkeen.



(a) Käsitetesti 9.5

(b) Opiskelijoiden vastaukset

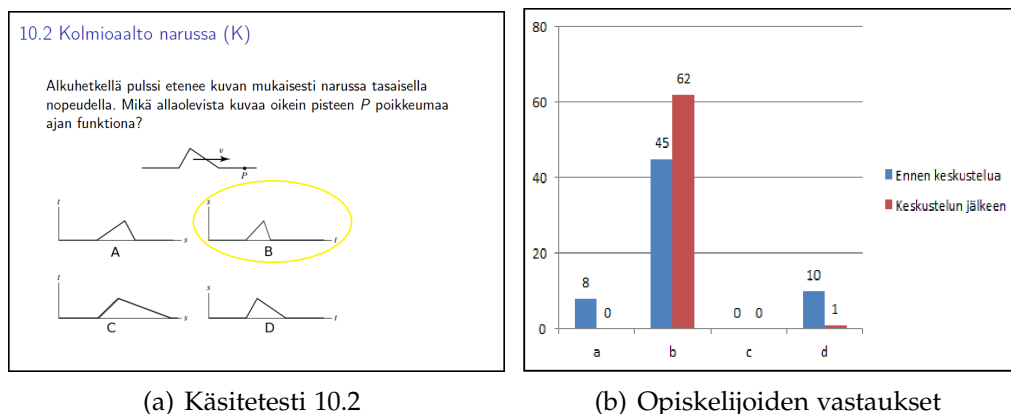
Kuva 12: Käsitetesti 9.5 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni ja tämän keskustelutoveri olivat kaksi niistä kolmesta, jotka vastasivat väärin keskustelun jälkeen. Itse asiassa heidän väärä vastauksensa oli vahinko, sillä he katsoivat epähuomiossa väärää vaihtoehtoa oikeaksi. Keskustelu ja perustelut käytiin selvästi toista, oikeaa, vaihtoehtoa ajatellen. Keskustelukumppanit huomasivat virheensä, kun kysymystä käytiin läpi.

- 1 Minni Eiku, mä oon vastannu väärin. [Mutinaa vaihtoehdoista] Siis mä oon kahtonu väärän kohan! Siis mäkin oon niinku samaa järjestystä miettiny, mutta d:ssähän on *hoo kolmonen* eka. Mä oon kahtonu niinku väärää riviä. Noh. Mä niinku olevinnaan vastasin niinku tuo b on. Koska mehän pääteltiin ihan samalla lailla, mutta...
- 2 Mies Pääteltiin oikein, mut vastattiin väärin. Käsitetestin vastaus ei näin aina kerro totuutta osaamisesta. Vastaava virhe voisi hyvin tapahtua myös esimerkiksi loppukokeessa...

Käsitetesti 10.2

Testissä piti tulkita kuvaajaa pulssin etenemisestä. Luentokalvoissa (ks. LIITE 2) oli ollut aivan vastaava esimerkki. Testi olikin osattu hyvin, 71 % vastasi oikein jo aluksi. Keskustelun jälkeen vain yksi opiskelija vastasi väärin. Vaihtoehdoista kahdessa oli "hämäykseksi" koordinaatiston akselit vaihdettu toisin päin. Ennen keskustelua kahdeksan opiskelijaa oli valinnut tällaisen vaihtoehdon, mutta keskustelu oli saanut heidät kaikki muuttamaan mielipidettään.



Kuva 13: Käsitetesti 10.2 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni ja muut keskusteluryhmässä olivat nopeasti vakuuttuneita oikeasta vaihtoehdosta. Kuvaajan tarkka muoto kuitenkin herätti keskustelua, sillä he eivät automaattisesti osanneet ajatella akseleiden satunnaista skaalausta.

- 1 Minni Mutku minun mielestä sen pitäis olla prikulleen saman näkönen ku tuo alkuperänen mutta peilikuva. Tuo ei nyt ihan ole, mutta käytetään mielikuvitusta.

- 2 Mies1 Käytetään mielikuvitusta. Siinä varmaan, emmä tiiä, vaikuttaako siinä tuo nopeus sitte mikä se muoto ton ajan suhteen on. Veikkaisin näin.
- 3 Minni Niin, ku mä vaan mietin että jos on tasanen nopeus nii kaikki pisteethän mennee samalla lailla. Jos nopeus on vakio.
- 4 Mies1 Eikö tuo on suhteessa mut sitä on vaan litistetty?
- 5 Minni No sitä en tiiä. Onko ne sammaa. Eiku en tiiä.
- 6 Mies2 Liian jyrkästi mennee ehkä alussa.
- 7 Minni Nii minusta, sepä se. Pitäis olla vähän näin.
- 8 Mies2 Onko tuo jälkimmäinen kuluma, niinku onko se jyrkempi ku tossa alakuperäsessä? Koska jos tuo mennee nuin jyrkästi ajan funktiona, ni sit sen pitäs olla tosi jyrkästi mennä kans.
- 9 Mies1 Toisaalta Paintilla piirretty kuva, et ei se oo niin justinsa...

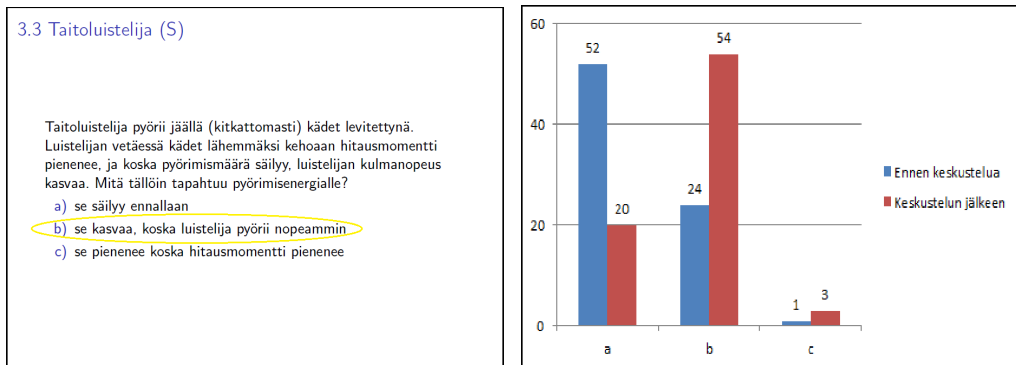
Jokainen fysiikan opiskelija sisäistänee opintojensa aikana, ettei akseleiden skaalauksella ole merkitystä. Asiasta olisi hyvä keskustella jo aluksi, jotta huomio ei kiinnittyisi epäoleellisiin.

Testit, joissa vähintään 40 % kaikista vastanneista vaihtoi kantansa oikeaan

Suurinta osaa edellä esitellyistä testeistä yhdistää se, että suurin osa opiskelijoista oli vastannut niihin oikein jo ennen keskustelua. Tällöin valtaosassa keskusteluryhmistä ainakin joku oli oikean vastauksen kannalla ja toisaalta suostuteltavia oli vähemmän. Mikäli tarkastellaan niitä testejä, joissa mahdollisimman moni on vaihtanut väärän vastauksensa oikeaksi, huomionarvoisia ovat edellisten lisäksi käsitetetit 3.3, 4.1, 4.2, 8.1, 9.3 ja 13.1. Näissä testeissä vähintään 40 % opiskelijoista vaihtoi väärän vastauksen oikeaksi.

Käsitetesti 3.3

Testi käsitteli pyörimisenergiaa. Työn ja energian käsitteitä ymmärtämällä saattoi päätellä oikean vaihtoehdon, mutta oikeaan ratkaisuun pääsi myös laskeamalla. Ennen keskustelua 31 % opiskelijoista oli päätenyt oikeaan ratkaisuun, mutta keskustelu sai lopulta 70 % opiskelijoista vastaamaan oikein. Aluksi vastaukset painottuivat yhden väärän vaihtoehdon puolelle, mutta keskustelun jälkeen 44 % väärin vastanneista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon. Toisaalta 4 opiskelijaa vaihtoi oikeasta vaihtoehdosta väärään. Koska yhteensä 55 % opiskelijoista vaihtoi mielipidettään keskustelun jälkeen, voitane päätellä, että varmuutta omasta vastauksesta ei ollut.



(a) Käsitetesti 3.3

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 14: Käsitetesti 3.3 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Luennoitsija alusti keskustelua kehottamalla miettimään, tekeekö taitoluistelija työtä vetäessään kädet kehonsa lähelle. *Minni* keskusteli kahden miehen kanssa, joista toinen oli selkeästi eri mieltä kuin *Minni*. Keskustelu ei oikein edennyt, sillä osapuolet eivät ymmärtäneet toistensa näkökulmia ja perusteluja. Ryhmä ei oikein löytänyt yhteistä ratkaisua tehtävään, ja jokainen pitäytyi omassa vaihtoehdossaan. Luennoitsijan neuvo työn ajattelemisesta oli varmasti ainakin osasyyllinen siihen, että opiskelijat pääsääntöisesti vaihtoivat oikeaan ratkaisuun.

- 1 *Minni* Mun mielestä tekee, koska mä aatelin sen energia kasvas. Miä vastasin b.
- 2 *Aku* Hmm...
- 3 *Minni* Pyörimisenergia oli tää *puoli ii omega toiseen*, ni miä tätä aukasin tälle jotaki *cee äm är toiseen*. Ärrät menee pois, elikä sillon... Kato ku sillon ku se vetäsee ne kädet sissää se tangentiaalinen nopeus kasvaa. Eli sillon tää kasvaa hirveesti. Tää on potenssiin kaks. Mä aattelin et se pyörimisenergia lisääntys.
- 4 *Aku* Ooksä kokeillu tuota?
- 5 *Minni* Ai pyörii? Menee kovempaa.
- 6 *Aku* Nii-i. Mut sit ku sä laitit kädet taas pitkälle ni sä pyörit taas samaa vauhtia ko alunperi.
- 7 *Minni* Nii-i.
- 8 *Aku* Mistä se niinku liikemäärä muuttuu nii...
- 9 *Minni* Ei se liikemäärä, mut pyörimisenergia. Energia ja se liikemäärä ei oo sama asia.

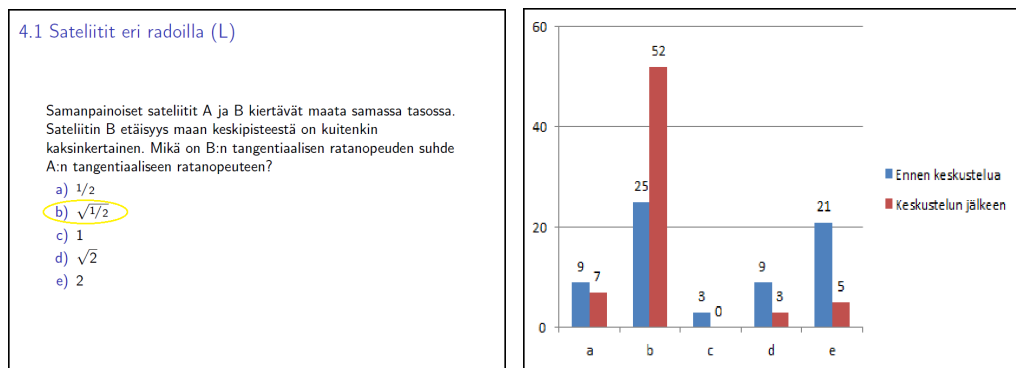
- 10 Aku Mut ei se energia mihinkää katoa.
- 11 Minni Mutku se tekee työtä sillä et se laittaa ne kädet... Mutku se niinku sillon ku ää... tekee niinku työtä et se saa ne kädet sinne levälleen ja sisälleen. Niinku että tuota koska se sillä käsien levittämällä aiheuttaa sen isomman sätteen itelleen. Se siirtää sitä sätteen pituutta. Sillälaila siinä on matkaa.
- 12 Aku Tekeekö se, muuttuko se liike-energia siis työks?
- 13 Minni Emmä tiiä, mut siinä...
- 14 Aku Lihaksethan siinä tekee työtä eikä liike-energia.
- 15 Minni Niin, mutta ku minä vaan nyt noita yhtälöitä oon ruennu tuijottelemaan ku kerran niitte avulla se [luennoitsija] kuitenkin sano ne. Se pyörimisenergia on tuota... Jos se ärrä pienenee ni sillon se kulmanopeus pienenee, jollon se tangentiaalinen, tuota siis kasvaa, jollon se tangentiaalinen nopeus kasvaa.
- 16 Aku Miten pyörimisenergia voi muuttua niinku ku siihen... Et sä voi mitenkään valjastaa pyörimisenergiaa siihen et sä vedät kädet ittees vaste.
- 17 Minni Em mä tiiä.
- 18 Aku Ei se voi kulua siihen se et sä vedät kädet, niinku veät kädet kylkien viereen nii ei siinä mitenkää voi kulua sitä pyörimisenergiaa. [Pitkä tauko keskustelussa]
- 19 Aku Mä jotenki toivon et ku tuossa on kolme noita tuoleja tuossa eessä, et joku menis pyörimään noille tuoleille ja kokeilis tuota.
- 20 Mies2 Mä oon kokeillu kotona sitä.
- 21 Minni Siis minäki oo kyllä kokoeillu, mutta minun mielestä sitte se... Ku eihän aina kaikissa jutuissa, niinku esimerkiks törmäyksissä ni se liikemäärä säilyy mutta energia ei. Mihinkä se siinä katoa?
- 22 Mies2 Tekeeks se jotain negatiivista työtä sit jos se on niinku vetäny käet sisään...
- 23 Aku Mut entäs sit kun sä päästätä kädet irti, sehä kuluttaa paljo vähemmän energiaa mut siitä tulee sama nopeus sitte.
- 24 Minni En minä tiiä. Minä vaan ajattelin, ku lähinnä kaavojen perusteella...
- 25 Aku Ehkä kaikki ei mee niinku yhteen kaavaan. Se on jännä tapahtuma. Se pitää intuitiolla tietää jatkuvasti.
- 26 Mies2 Tai sit joskus se intuitio on ihan päin seinää.
- 27 Minni Nii! Sen takia mä oon ruennu miettimäänn näitä.

- 28 Aku Intuitio voi olla päin seiniä, mut se on vaan mielen heikkoutta. Energiaperiaate toimii aina. Tästä mä oon aina lähteny.
- 29 Minni Mut eihän se toimi törmäyksissä.
- 30 Aku Toimii se kaikissa. Ei se energia katoa mihinkää niinku tietämättömille teille. Kyllä se aina johonki menee. [Tauko keskustelussa]
- 31 Aku Jos sä vedät kädet niinku ittees vasten niin sä teet kemiallista työtä käsillä, et kuluta liike-energiaa. Sä et hallitse omaa liike-energiaas.

Akun hyökkäävä asenne sai muut keskustelijat varovaisiksi ja jarrutti keskustelun etenemistä. Ongelmaksi nousi pyörimisen symmetrisyys: käsien lähemmäs vetäminen nopeuttaa pyörimistä, mutta levittäminen hidastaa. Jos käsien lähelle vetäminen lisää liike-energiaa, mihin se häviää, kun kädet levitetään? *Akun* kommentit 14 ja 31 olivat ristiriidassa hänen valitsemansa vaihtoehdon a) se säilyy ennallaan kanssa, sillä hän myönsi, että luistelija tekee lihaksillaan työtä itselleen.

Käsitetesti 4.1

Testi oli laskutehtävä koskien gravitaatiovoimaa. Oikean vaihtoehdon saattoi rajata kahteen ilman laskua, mikäli ymmärsi perusteet gravitaatiosta, mutta helpoiten oikeaan lopputulokseen päätyi varmasti lyhyen laskun avulla. Alun perin 63 % opiskelijoista vastasi väärin, mutta keskustelun jälkeen luku oli enää 22 %. Jopa 61 % opiskelijoista vaihtoi mielipidettään keskustelun jälkeen, mikä kertonee epävarmuudesta oman valintansa suhteen.



(a) Käsitetesti 4.1

(b) Opiskelijoiden vastaukset

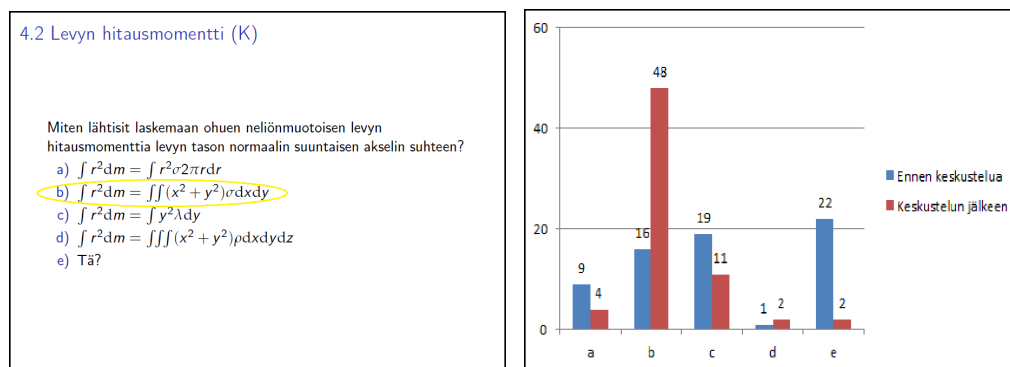
Kuva 15: Käsitetesti 4.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minnin vierustovereilla oli monta näkemystä oikeasta vaihtoehdosta. *Minni* huomasi alussa virheen laskussaan, mutta kaksi miespuolista keskustelijaa törmäsi hieman odottamattomaan ongelmaan tehtävänannossa:

- 1 Aku Jos se kiertää samassa ajassa, niin sen pitää kulkea sen yhen mukana. Että sillä pitää olla suurempi nopeus.
- 2 Mies2 Samassa tasossa? Siis tarkoitatko sä niinku jos... Mitä sä tarkoitat?
- 3 Aku Maapallo on tuossa. Eli silloin tuo alempi sateliitti on tuossa ja korkeempi ois tuolla. Niitten pitäis kiertää sit niinku samassa tasossa.
- 4 Mies2 Aa, että meinaatko että ne niinku kiertää sillee niinku...
- 5 Aku ...samaa vauhtia. Tai niinku samaa, saman suuntasella vauhdilla. Samassa ajassa sama kulma.

Väärinkäsitys sanamuodosta ratkesi kuitenkin, kun keskustelija 2 käänsi keskustelun takaisin gravitaatiovoimaan ja sen etäisyysriippuvuuteen. Hänen vahva ajatuksensa siitä, että kauempana olevan sateliitin nopeuden pitää olla pienempi pienemmän gravitaatiovoiman vuoksi, sai ryhmäläiset kääntymään vaihtoehtojen a ja b kannalle. Ääninauhalta ei selvästi paljastu, vaihtoivatko kaikki keskustelijat oikeaan vaihtoehtoon, mutta olettaisn niin.

Käsitetesti 4.2



(a) Käsitetesti 4.2

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 16: Käsitetesti 4.2 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Testi vaati integraalien tuntemusta, mitä opiskelijoilla ei selvästikään ollut. Ennen keskustelua kolmannes opiskelijoista valitsi vaihtoehdon Tä? ja vain 24 %

päätyi oikeaan vastaukseen. Keskustelun jälkeen tilanne oli parempi, sillä vain kaksi opiskelijaa oli Tä?-vaihtoehdon kannalla ja 72 % valitsi oikean vaihtoehdon. Ensimmäisellä luennolla luentokalvoissa oli ollut esimerkki vastaavasta tehtävästä, mutta se ei selvästi ollut jäänyt opiskelijoiden mieleen, mikä oli odotettavissa, sillä asia oli uusi ja luennosta oli jo aikaa.

Joillakin keskusteluryhmästä tuntui olevan hieman enemmän ajatusta ratkaisusta, mutta testin hankaluus kuului nauhalta koko keskustelun ajan. Testin hankaluutta kuvaa hyvin erään keskustelijan kommentti,

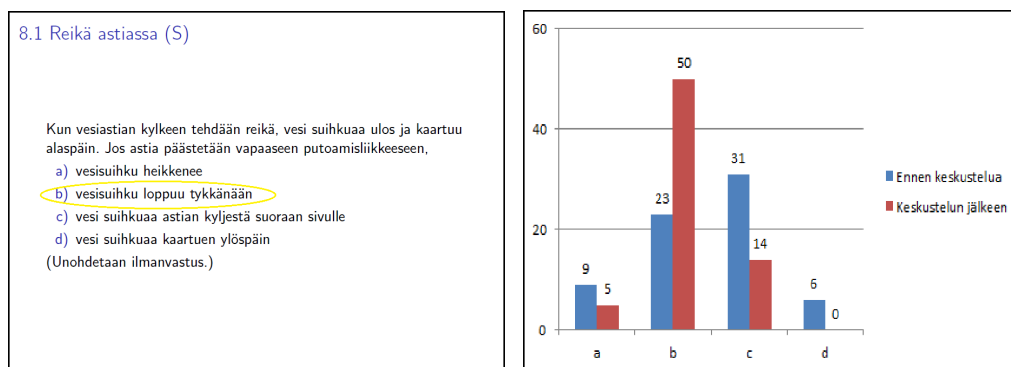
Mies1 En mä tiiä miten tommonen [tilavuusintegraali] lasketaan. Ku tuossa kysytään, että miten lähtisit laskemaan, nii en ainakaan noin, kun en osaa.

Toisaalta viitteitä ymmärryksestäkin on:

Aku Siinä c:ssä ei oo otettu yhtään huomioon sitä, että se saa olla se akseli ihan missä tahansa. [Toistaa saman Minnille] B:ssä ja d:ssä on otettu se huomioon et se akselikin liikkuu siellä. Saa olla missä tahansa. Elikkä siinä ois otettu ne akselin koordinaatit huomioon.

Aivan loppuun asti keskustelua käytiin vaihtoehtojen järkevyyden pohtimisen sijaan lähinnä tehtävän vaikeudesta. Ongelmana tuntui olevan myös se, ettei oppikirja juuri käsittele integraalejen laskemista. Lisäksi testissä esiintyvät vaihtoehdot σ , λ ja ρ olivat epäselviä. Keskustelun pohjalta ei voi sanoa, mikä sai valtaosan opiskelijoista lopulta valitsemaan oikean vaihtoehdon.

Käsitetesti 8.1



(a) Käsitetesti 8.1

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 17: Käsitetesti 8.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Testissä tarvittiin ymmärrystä nesteiden paineesta. Aluksi vain kolmannes opiskelijoista oli valinnut oikean vastauksen, mutta keskustelu sai 63 % väärin vastanneista muuttamaan käsityksensä oikeaksi.

Minni kuului siihen ryhmään, joka vaihtoi väärästä vastauksesta oikeaan. Testi herätti vilkasta keskustelua kierrellen eri vaihtoehtojen ympärillä. Monet ajatuksista olivat sinällään aivan oikeita, mutta eivät liittyneet tarkastelussa olevaan tapaukseen, ja oikeaan vaihtoehtoonkin päädyttiin ikään kuin takakautta ajatusleikin avulla. Asetelman tavallisuus herätti halun kokeilla tilannetta käytännössä.

- 1 Minni No mitäs vastasitte? Mä vastasin c.
- 2 Mies1 Mä vastasin d ihan intuition mukaan.
- 3 Mies2 Mäkin heitin c:n. En tiiä kyllä minkä takia se ois, mut jotenki mulla vaan ku se korkeus siinä koko ajan kuitenkin muuttuu. Ja sitte siinä vaikuttaa gravitaatio vapaassa pudotuksessa... Em mä oikeen tiiä mikä siinä oli ideana.
- 4 Mies1 Miks c?
- 5 Minni Ensin miä mietin tätä et jos se ei liiku, niin mikä aiheuttaa sen et se tulee sieltä, se kaartuu alaspäin normaalisti. Elikkä se nesteen oma paino ja se ilmanpaine, mikä siihen kohistuu, ni se aiheuttaa sen et se kaartuu. Kaartuminen, se et se menee alaspäin on tietysti gravitaation vaikutuksesta. Entäs sit kun se tölkki tulee samalla vauhilla, kiihtyy siis siihen gravitaation vaikutuksesta nin en mä tiiä. Mä vaan ajattelin et se sillon, mikä aiheuttas sitte sen kaartumisen alaspäin? Miks se kaartuis se neste nopeammin ku se tölkki tulis alas?
- 6 Mies1 No ei se sillee ainakaan.
- 7 Mies2 Minkä takia se sitte ei kaartuis ylöspäin jos niillä on sama kiihtyvyyys ku ne on vapaassa pudotuksessa molemmat?
- 8 Minni Nii-i.
- 9 Mies2 Nii kun se lähtee sieltä tulemaan ulos nii sillonhan se on vapaassa pudotuksessa. Kun se on paikallaan. Sillonhan se sen takia kiihtyy alas. Sittenhän se tulee samaa...
- 10 Minni Mä vaan aattelin et...
- 11 Mies2 ...pudotus tulee samaa tahtia. Tuleeks sieltä mitään ulos sitte?
- 12 Minni Sehän nesteen omastaki painosta ja siitä paineesta jonka se aiheuttaa se ilmakehä sun muut, nii nekin vaikuttaa siihen että se neste tulee sieltä ulos.
- 13 Mies2 Jaa.

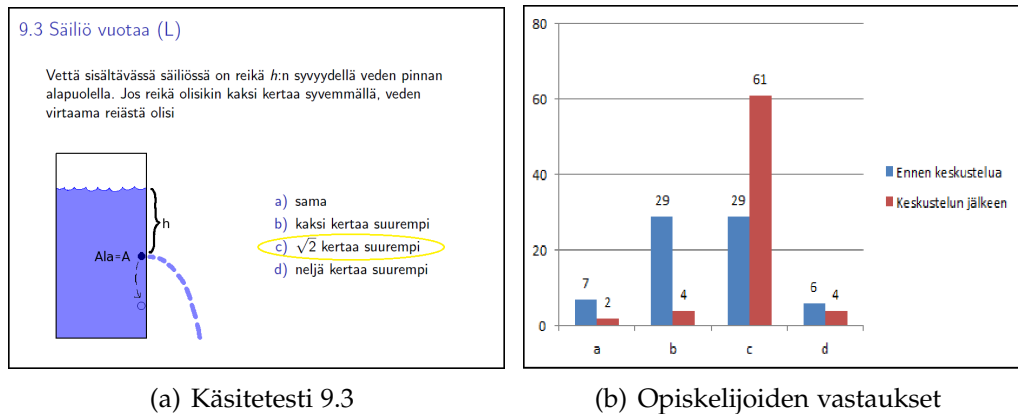
- 14 Minni Sitä mä mietin et tuleeks sieltä mitään... Onko semmosta vaihtoehtoa? Nii, on kyllä on b.
- 15 Mies2 Nii että sieltä ei tuliskaan mitään ulos.
- 16 Minni Mutta onhan se paine siltiki. Tulisko sitä vähäse vähemmän? Että heikkenee? Koska se menis samalla alas... Toisaalta lähinnä se paine jossain niinku ylempänä on heikempi ku alhaalla... Mutta ei tässä varmaan ajatella että se niin paljo niinku tippus, että se sen takia niinku heikkenis niin paljo.
- 17 Mies3 Eihän se oo sanottu et miten vapaassa pudotuksessa se on. Voihan se olla niinku kiertoradalla kiertää aurinkoa ympäri.
- 18 Mies1 Niin tietenkki. Ku ilman vastustakaan ei huomioida.
- 19 Minni Niin. En minä... Minä vaan sen takia aattelin tota c:tä, että koska se neste ku se tullee se putoaa kans sillä samalla nopeudella. Et se näyttäis siltä et se menis niinku... Tää pitäski testata.
- 20 Mies1 Ei kellää sattus olutta olee tai mitään?
- 21 Minni Ku mietin sitä paine-eroo niin se niinku ylhäällä, eiku ylhäällä se ois *heikempi*, siellä on pienempi se paine ku alhaalla. Eli silloin sen pitäs niinku, jos se muuttuu, niin se muuttusi korkeemmaks eli niinku kovemmin tulis.
- 22 Mies2 Nii eihän se heikkenis vaan voimistuis.
- 23 Minni Ylhäällähän se on pienempi paine!
- 24 Mies2 C:hän se on silloin oltava!
- 25 Minni Tuntus ainaki, mut ei se välttämättä oo.
- 26 Mies1 Luotan teihin.
- 27 Minni Eiku älkää luottako, pliiis!
- 28 Mies1 Luotan nyt täysin. Tökkäis jossain lentokoneessa siihen reijän ja tiputtais sen siitä. Tulis yhä enemmän ja enemmän.
- 29 Minni No a se ei oo ainakkaan.
- 30 Mies1 Eikä se oo d:kään.
- 31 Minni Niin, koska miä luulisin et se ei ois d.
- 32 Mies1 Ei, koska se vaan niinku näyttää sille ku se tippuu alaspäin niin se kuitenkin jää koko ajan...
- 33 Minni Kyllähän ne molemmat kiihtyy saman verran.
- 34 Mies2 Mikä siinä ois se syy, et se lähtis ylöspäin menee?
- 35 Mies1 Niin just.
- 36 Mies2 Ei siinä oo mitään voimaa, jokalaittas sen kaartumaan.
- 37 Mies1 Se vaan näyttää siltä ku se tippuu sieltä. Jos sen tipauttaa jostakin ja kattoo.

- 38 Mies2 Jos katot vaikka alhaalta päin, nii kyl se sitte periaatteessa näyttää. Mut jos sä tippuisit samaan tahtiin siinä ja kattoisit, nii sä näkisit et se menee vaakasuoraan.
- 39 Minni Ku esimerkiksi jos lasi tippuu ja siinä on maitoa, niin sehän johtuu varmaan siitä massan hitaudesta et se lasi niinku lähtee ensin. Luulisin ainakin että niinku siinä tapauksessa.
- 40 Mies1 Pitääpä kokeilla tää.
- 41 Minni Niin.
- 42 Mies1 Lisää testejä!
- 43 Minni Kyl se sillee tuntuis et c ois, mutta b:kin. En mä tiä, onko tuo b:kään nyt ihan mahoton.
- 44 Mies1 Niin et sieltä ei tulis mitään?
- 45 Minni Mut ohan siinä se paine, joka vaikuttaa siihen tietysti. [Luennoitsija tarkentaa, että säiliö on umpinainen, mutta toteaa kohta, ettei se vaikuta tilanteeseen. Täsmennyksestä seuraa lyhyt keskustelu, joka jätetään välistä.]
- 46 Mies2 Hetkinen, eikö tuo nyt oo sama tilanne kun et jos sitä lähtis pois siitä koko ajan, niin siihen muodostuis tyhjiö sinne sisään?
- 47 Mies1 Siis sinne koko ajan tulee alipaine sinne sisälle...
- 48 Mies2 Niin, koska jos se on umpinainen, niin eihän sinne tuu mitään sinne sisälle. Sieltä vaan lähtee koko ajan nestettä pois. Eli sinne tulee alipainetta yhä enemmän ja enemmän, niin loppuuko se sitte? Ei sieltä tuukkaan mitään ulos.
- 49 Mies3 Niin. Jo se niinku tipahtaa maksiminopeudella ja joku ampuu siihen reijän samaan aikaan [epäselvää]
- 50 Minni Hyvin hankalaa.
- 51 Mies2 Onks sillä väliä, mihin kohtaan?
- 52 Mies1 Tehdää ihan ylös siihen.
- 53 Minni Niin mut kuvitellaan varmaan, että se tosiaa niinku ei loppu sen takia, että se...
- 54 Mies1 Totta kai se loppuu tykkänään, koska sitten se jossain vaiheessa loppuu sieltä se vesi.
- 55 Mies2 Koska niillä on sama kiihtyvyys, niin eihän siinä...
- 56 Minni Miks se menis kovempaa se vesi...
- 57 Mies2 Niin, mutta eihän siinä oo mitään voimaa, mikä niinku työntäs sitä pois siitä reiästä periaatteessa ku se on vapaapudotuksessa.
- 58 Minni Niin *gee* vaikuttaa alaspäin, mut *gee* on molemmilla sama.
- 59 Mies2 Sama sillä vedellä ja säiliöllä kuitenkin alaspäin. Sitte...

- 60 Minni Paineen kuitenkin...
- 61 Mies2 ...oli se nyt täys tai ei, mut periaatteessa kun sitä alkaa tyhjenemään ku sieltä tulis sitä vettä ulos, nii sinne muodostus koko ajan alipainetta sinne sisälle. Niin sehän niinku vaan pyrkii vetämään sitä takasin sinne.
- 62 Minni Niinku se sano et se on niinku... se asta on niinku kiintee...
- 63 Mies2 Umpinainen. Että periaatteessa sinne... mikä sitä niinku työntäs koko ajan pois päin sieltä? Se pitäs olla aika vahva voima niinku loppuu kohti, et sieltä tulis sitä nestettä.
- 64 Minni Niin. Et oisko se sitteki b? Onko tapahtunu mittää semmosta et niinku... Oisko se b?

Käsitetesti 9.3

Testissä piti soveltaa Bernoullin virtausyhtälöä. Ennen keskustelun alkua luennoitsija kehottaa tarkastelemaan tiettyä virtaviivaa. Ennen keskustelua 41 % opiskelijoista oli valinnut väärän vastauksen. Vastaukset jakautuivat pääasiassa oikean ja yhden väärän vastauksen välille. Keskustelun jälkeen 46 % väärin vastanneista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon.



Kuva 18: Käsitetesti 9.3 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni keskusteli testistä kahden miehen kanssa. Aluksi keskustelijat vain selostivat Bernoullin yhtälön mekaanista ratkaisemista. Kun lauseke ei sieventynyt yksinkertaiseksi, kääntyi puhelu ala-asteaikaisten fysiikan kokeiden muisteluun. Miesopiskelija muisti, kuinka maitopurkkiin tehdyistä rei'istä suihkusi vettä eri nopeuksilla. Keskustelusta huomaa, ettei virtaviiva-malli ollut opiskelijoille tuttu. Tämä käy ilmi esimerkiksi seuraavista kommentteista:

Minni Vastasin b:n kuitenkin et kaks kertaa suurempi, koska siinä on se paine kaks kertaa suurempi siellä.

(todellisuudessa sekä lähtö- että pääte pisteessä vallitsee ilmanpaine)

ja

Mies Sinne jää vaan *vee yks* siis *vee kaks* on *vee yks* miinus jotain.

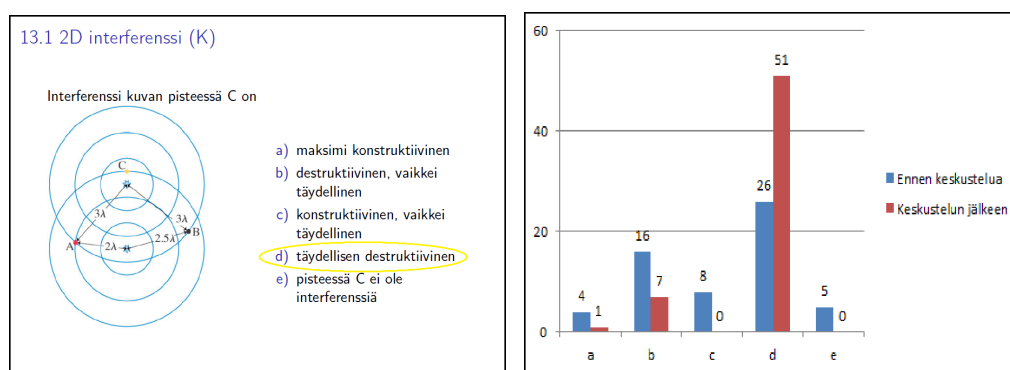
(pitäisi huomata, että $v_1 = 0$)

Lopullinen vastauskin jää perusteettoman tuntuman varaan,

Minni Musta tuntus et tästä tulis neliöjuuri kaks.

Käsitetesti 13.1

Testissä piti kuvasta päätellä interferenssin laatu annetussa pisteessä. Luento-kalvoissa oli ollut vastaavanlainen kuva, jota oli hetkeä aikaisemmin tarkas-teltu (ks. LIITE 2). Ennen keskustelua alle puolet valitsi oikean vaihtoehdon, mutta keskustelun jälkeen 86 % opiskelijoista päätyi oikeaan vastaukseen.



(a) Käsitetesti 13.1

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 19: Käsitetesti 13.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni valitsi alunperin väärän vaihtoehdon, mutta vaihtoi vieruskumppanien-sa päättäväisesti esittämään oikeaan vaihtoehtoon. Testi ei herättänyt juuri lai-sinkaan aiheeseen liittyvää keskustelua, vaikka *Minni* ehkä olisikin halunnut keskustella vaihtoehdoista.

6.2.2 Vaikeat käsitetestit

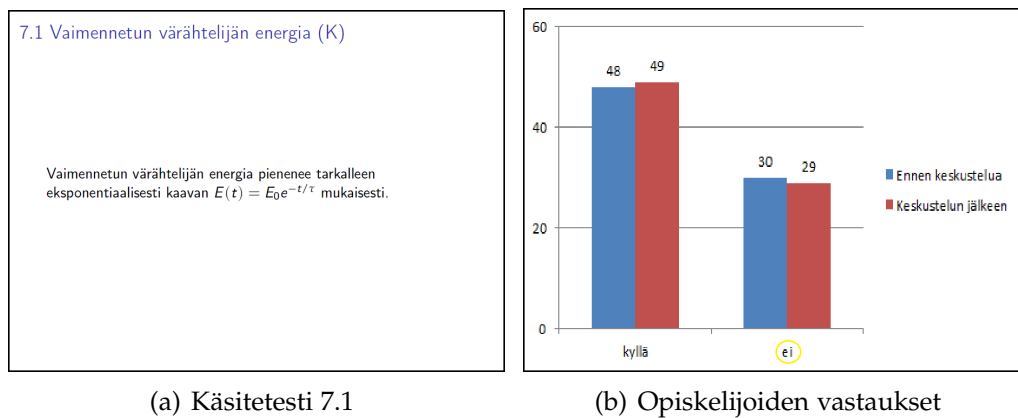
Tämän kappaleen aluksi käsittelen testit, joissa oikeita vastauksia oli keskustelun jälkeen vähemmän kuin ennen keskustelua. Tämän jälkeen käsittelen testit, joissa keskustelun jälkeenkin yli puolet opiskelijoista vastasi väärin.

Testit, joissa keskustelu vähensi oikeiden vastausten määrää

Kuvaajasta 5 voidaan nähdä, että kahta testiä lukuun ottamatta keskustelu paransi osaamista kaikissa käsiteteissä. Oikeita vastauksia oli keskustelun jälkeen vähemmän testeissä 7.1 ja 10.4.

Käsitetesti 7.1

Kyseessä oli oikein-väärin-tehtävä, jossa piti arvioida vaimennetun värähtelijän energian yhtälön paikkansapitävyyttä. Kysymystä ennen oli käsitelty vaimennetut värähtelyt. Luentokalvoista löytyi annettua yhtälöä kovasti muistuttava yhtälö, jossa oli eri kerroin edessä (ks. LIITE 2). Jopa 37 % ennen keskustelua oikein vastanneista vaihtoi vastauksensa vääräksi keskustelun jälkeen (11 opiskelijaa).



Kuva 20: Käsitetesti 7.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni keskusteli tehtävästä kahden vieressään istuvan miehen kanssa. Tehtävä ei juuri herättänyt keskustelua, *Minni* lähinnä pohdiskeli ratkaisua yksin. Miehet eivät tuntuneet ymmärtävän tehtävän ydintä ollenkaan, vaan päätyivät vastaukseensa suuremmin ajattelematta. Erityisesti lopun keskustelussa oli

jopa hieman vähättelevä sävy, kun miehet eivät ottaneet vakavasti *Minnin* pohdintoja. Aivan keskusuteluajan lopuksi *Minni* taipui miesten hiljaiselle kannalle ja vaihtoi vastauksensa oikeasta väärään. *Minnin* keskustelunavauksessa (kommentti 1) vilahti maininta vastusvoimista ja nopeudesta, jotka olisivat olleet oleellinen avain tehtävän oikeaan ratkaisuun, mutta nopeasti pohdinta siirtyi yhtälöissä esiintyviin muuttujiin ja vakioihin.

- 1 *Minni* Miä ensin mietin sitä, ku täällä oli potenssina toi *tau* ja että se *tau* riippuu massasta ja siitä *beestä* ja ku eikös yleensä nää vastusvoimat riipu siitä nopeudestaki? [epäselvää] Nii mutta ku mää sitä mietin että se nopeus hidastuu ni sillon se hidastus tuokin mutta sillon se ei menis vähän vinnoon tää. Mutta en minä tiä ku ... ku tuo *beehän* on joku vakio vaa. [Viittaa lausekkeeseen luentokalvossa]
- 2 *Mies1* Miä mietin vaan noita yli- ja alivaimennettuja... Kuitenki pistää ota kiinni heilurista, ylivaimennat se, ni eihän se pääse [epäselvää] kasvais eksponentiaalisesti tai siis pienenee eksponentiaalisesti se energia...
- 3 *Minni* Kun tuota mä mietin näitä että tähän vaikuttaa, nämä pysyy vakiona.. Eiku hetkone, amplitudihan siinä pienenee, eikö pienenekki? Koska tuossa on jätetty tuo *ee nolla* kertomatta ja se *ee nolla* on tämä. Se amplitudihan, eikös se niinku muutu sen ajan ku tämäki muuttuu näitten lisäksi? Eiks se riipu siitä että mistä tilanteesta me lähetään? Kyllä tässä nyt, jos tämä ois niinku vakio nii sittehän tää menis, mut ku eihän tää oo vakio. Onko tää vakio? Koska onko tää amplitudi sillon alkuhetkellä vai onko se se ku sehän pienenee se amplitudi... Kumpi se on? Kato mä luulen että koska jos tää ois alussa nii täällä ois varmaan joku *alaviite nolla* tai jotaki että se niinku alussa. Ja sitäpaitsi, jos tämä ois eksponentiaalinen nii Pekka [luennoitsija] ois varmaan sanonu sen tossa aiemmin. Sekin on yks semmonen, mut se ei aina pidä paikkaansa, se voi olla ovela, mutta mä vaan tätä mietin ku tuo *aa* muuttuu ja nämä kaikki muut pysyy vakiona paitsi tuo *aa* ei. Ja on *potenssiin kaksi*. Ja tämä on taas täällä oma potenssiin, vai lasketaanko tämäkin eksponentiaaliseksi sitte?
- 4 *Mies1* En nyt tiä... [epäselvää]
- 5 *Minni* Ku nää molemmat, tää koko paketti tietysti pienennee. Että niinku... ku periaatteessa jos meillä on joku vakio niinku *aa potenssiin*, eiku *aa kertaa ee potenssiin tee*, eiks tääki oo eksponentiaalinen? Entäs sitte sellanen, jossa on niinku *tee kertaa ee*

potenssiin tee? Tää tässä muuttuu... Eiks tääki oo eksponentiaalinen?

6 Mies1 Minust se on sama.

7 Minni Nii..

8 Mies1 Sitäpaitsi eiks se.. tää on minusta tärkeä tää *ee*. Ja tossaki vaikka se pienenee, sehän on toiseen nii se pysyy aina positiivisena. [Myöntävää muminaa] Sillee ku aattele, ni mä päätelisin, että tää määrää sen miten se muuttuu.

9 Minni Mut muuttuuhan tääki samalla! Eli tää kerroin muuttuu, siinä että muuttaako se kerroin sitä yhtälöä tavallaan niin paljon että se sitten...

10 Mies2 Eikö tuo oo se energia alussa tuo?

11 Minni Nii tuo oo se *ee nolla*?

12 Mies2 Eikös se sitte oo oikein?

13 Minni Nii mut se vaan et se amplitudi muuttuu. Lasketaanko, onks tuo se alkuperäinen? Siis se on se alkuperäinen vai, tää ei muutu...

14 Mies2 No suunnilleen sama se amplitudi...

15 Minni No ku se vaimenee ja hiljennee lopulta

16 Mies1 Jos mä sanon totta,

17 Mies2 ...jos se nyt suunnilleen on sama silti...

18 Minni Nii mut kun se että eksponentiaalisesti...

19 Mies1 Se vaan tuntuu jotenki järkevältä.

20 Mies2 Mikä eksponentiaalisesti?

21 Minni Se että *tarkalleen* eksponentiaalisesti.

22 Mies1 Lukee tarkalleen...

23 Minni Minä sanon vieläkin et tää on väärin. Eiku minä vaan mietin! Minä en tienny. Ku minä vaan sitä että onko tuo *aa* se se *ajanhetkellä aa* vai se *alku aa*?

24 Mies1 Kovassa uskossa..

25 Minni Mitä?

26 Mies1 Että kovassa uskossa.

27 Minni Ku minä vaan tuon tietäsin... Mut jos se on se *aa alku aa*, elikkä tuo on se energia..

28 Mies1 Siä ajattelet liian vaikeesti.

29 Minni No nii...

30 Mies1 Mieti enemmän näin käsitteellisesti ni helpottaa!

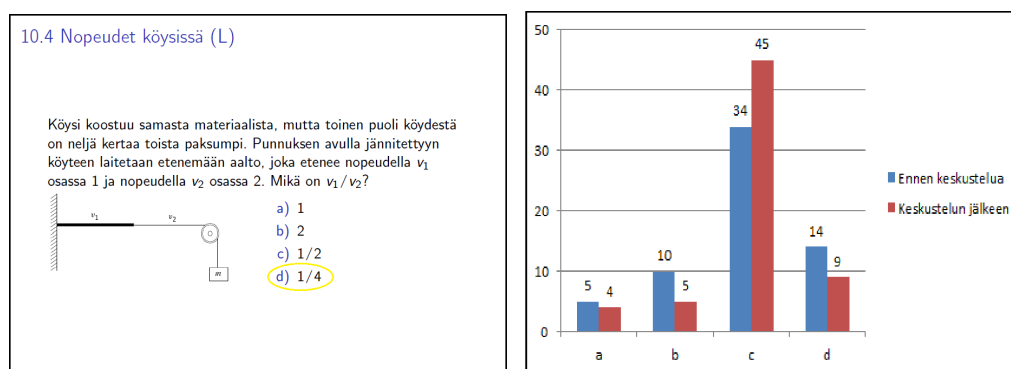
31 Mies2 Ai sinä aiot murtua tähän loppuun?

32 Minni Kyllä (Vaihtaa siis vastauksensa oikeasta vääräksi)

Kysymyksen asettelu on hieman hämmentävä - varsinaisestihan se ei ole kysymys ollenkaan. Opiskelijat eivät osaa kohdentaa testin ongelmaa ja sen ratkaisemiseen ei tartuta kunnolla. Tehtävänannon sana *tarkalleen* ja luentokalvoissa esiintyvä muuttuja A herättävät epäselvyyttä.

Käsitetesti 10.4

Testi oli näennäisesti yksinkertainen laskutehtävä, johon vaadittava yhtälö köyden jännitykselle löytyi luentokalvoista (ks. LIITE 2). Tässä testissä lähes kaikki (93 %) alunperin oikein vastanneet vaihtoivat vastauksensa vääräksi. Keskustelun jälkeen vastaukset siirtyivät muista vaihtoehdoista yhteen väärään vaihtoehtoon. Suurin osa opiskelijoista oletettavasti ajatteli väärin köyden paksuuden vaikutuksen köyden massatiheyteen ($\mu \propto D^2$ ei D), ja sai täten väärän vastauksen.



(a) Käsitetesti 10.4

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 21: Käsitetesti 4.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

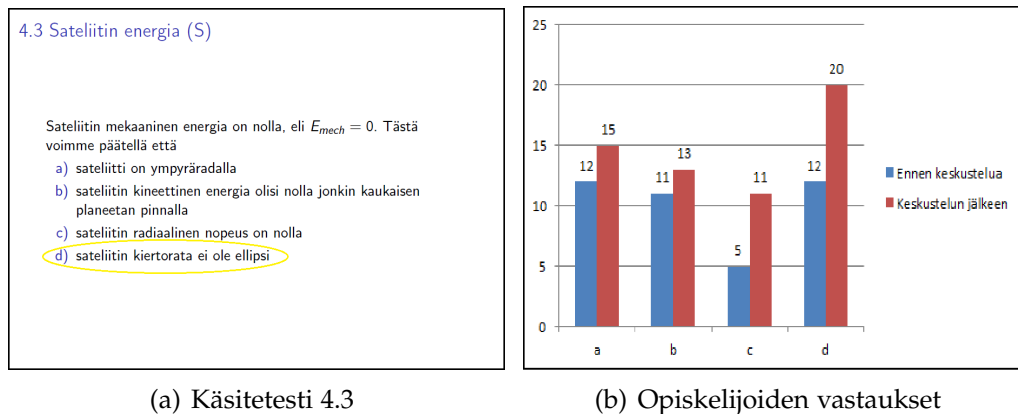
Testit, joissa vähintään puolet opiskelijoista vastasi väärin keskustelun jälkeenkin

Edellä käsiteltyjen tehtävien lisäksi opiskelijoilla oli suuria vaikeuksia tehtävien 4.3, 5.2 ja 9.1 kanssa. Vähintään puolet opiskelijoista vastasi keskustelun jälkeenkin väärin näihin tehtäviin.

Käsitetesti 4.3

Testissä piti ymmärtää sidotun tilan ero vapaaseen kappaleeseen. Mikäli huomasit, että sateliitti ei ole sidotussa tilassa, kun sen mekaaninen energia on nol-la, saattoi oikean vastauksen päätellä helposti. Tämän huomion tekeminen ei

kuitenkaan ollut selvää, sillä jopa 65 % opiskelijoista valitsi väärän vaihtoehdon keskustelun jälkeen ja vain 7 % ennen keskustelua väärin vastanneista vaihtoi oikeaan vaihtoehtoon. Ennen keskustelua oli hyvin vähän aikaa pohtia vastausta itsenäisesti, ja tämä näkyi erityisesti siinä, että 18 opiskelijaa antoi vastauksen vasta keskustelun jälkeen. Lisäksi yksi opiskelija valitsi kaksi vaihtoehtoa.



(a) Käsitetesti 4.3

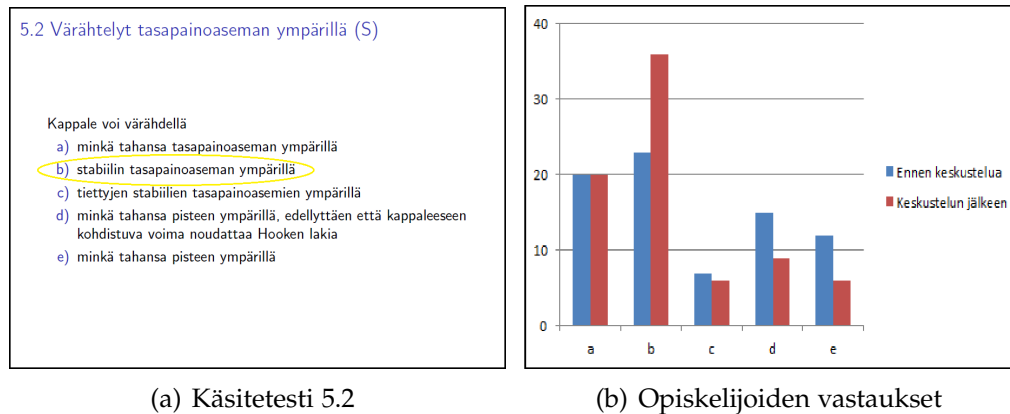
(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 22: Käsitetesti 4.3 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni keskusteli useamman samalla rivillä vierekkäin istuvan miehen kanssa. Rivillä käytiin päällekkäin montaa keskustelua, jotka limittyivät välillä yhteen. Tästä syystä keskustelun seuraaminen on vaikeaa. Kuuluvista kommentteista käy kuitenkin ilmi, että keskustelijoilla ei ollut selkeää ideaa tehtävän ratkaisemiseksi. Keskustelussa huomattiin, että ympyrä on ellipsin erikoistapaus, ja että ympyrä eroaa ellipsistä siinä, että ympyräradalla kappaleen nopeus on vakio. Myös oikea, potentiaalia kuvaava kuvaaja löytyi luentokalvoista, mutta sen tulkinta jäi vajaavaiseksi.

Käsitetesti 5.2

Testi käsitteli värähtelyä tasapainoaseman ympärillä. Vaikka keskustelun jälkeen tilanne olikin alkuperäistä parempi, silti yhä 53 % opiskelijoista vastasi väärin. Etenkin ennen keskustelua kaikki vaihtoehdot saivat melko tasaisesti kannatusta. Keskustelun jälkeen valinnat painoutuivat enemmän oikean ja yhden väärän vaihtoehdon puoleen. Opiskelijoilla ei tuntunut olevan varmuutta vastauksistaan, sillä 40 % opiskelijoista vaihtoi mielipidettään keskustelun jälkeen (heistä lähes puolet vaihtoi väärästä vaihtoehdosta oikeaan).



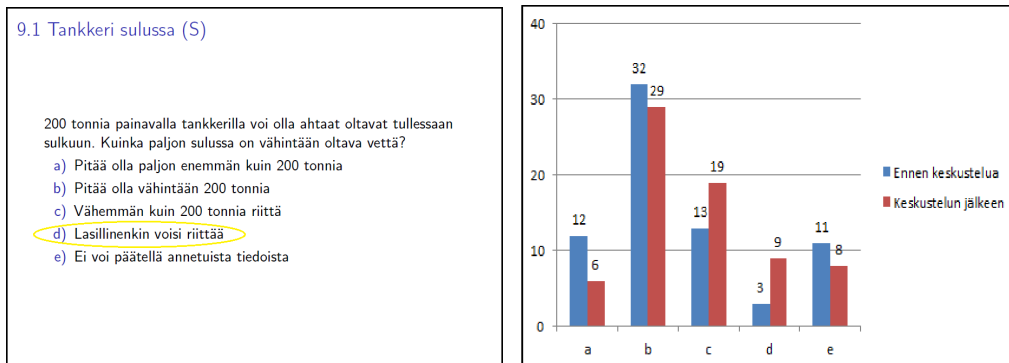
Kuva 23: Käsitetesti 5.2 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Ääninauhalla kuuluu taas useampaa limittäistä keskustelua, joten selkeän kuvan saaminen on mahdotonta. Mikäli kaikki keskustelijat olisivat keskustelleet yhdessä, olisi lopputulos ollut hyvinkin perusteellista, sillä jokaista vaihtoehtoa pohdittiin yksitellen ja perustellen. Valitettavasti kaikki nauhalla kuuluvat keskustelut eivät kuuluneet yhteen, jolloin yksittäisen opiskelijan (ainkaan *Minnin*) käymät keskustelut eivät perustellen kattaneet kaikkia vaihtoehtoja. Yksittäisten opiskelijoiden tiedoista ei päässyt rakentumaan yhteistä, laajempaa tietoa. Keskustelijoilla oli selvä näkemys siitä, että värähtely voi ainakin tapahtua stabiilin tasapainoaseman ympärillä, mutta he eivät olleet varmoja, oliko siinä koko totuus. Keskustelijat pohtivat muun muassa sitä, mitä värähtelyllä tarkoitetaan ja vaikuttaako pakotus tehtävään.

Mikäli noudatetaan Mazurin näkemystä hyvien kysymysten muotoilusta [2], voisi tätä tehtävää rajata. Vastausvaihtoehto d) käsittelee Hooken lakia, joka sinällään kyllä liittyy aiheeseen, mutta vaatii aiemmin käsitellyn asian muistamista. Tämän vaihtoehdon pois jättäminen selkeyttäisi kysymystä käsittelemään vain yhtä aihetta.

Käsitetesti 9.1

Testi käsitteli nostetta. Vain 10 % alun perin väärin vastanneista vaihtoi vastauksensa oikeaan ja 87 % opiskelijoista vastasi väärin keskustelun jälkeenkin.



(a) Käsitetesti 9.1

(b) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 24: Käsitetesti 9.1 ja opiskelijoiden vastaukset siihen ennen ja jälkeen keskustelun. Oikea vastaus on ympyröity.

Minni keskusteli kysymyksestä yhden miehen kanssa. He kävivät melko kattavasti läpi testissä annettuja vaihtoehtoja, mutta seuraava keskustelun pätkä kiteyttää hyvin keskustelun kulun:

- Minni Se että tarviiks sitä olla enemmän ku 200 tonnia, kun mieltii että niinku [...] koska toisaalta laiva on tehty tota...
- Mies Miten iso astia se on? Jo se on ihan jumalattoman levee niin se 200 tonnia vaan sillee [epäselvää] siellä pohjalla vähän.
- Minni Niin sitä mä mietin että jos se on just sen laivan kokonen se astia ja sinne se vesi työnnetään sinne se lasillinen vettä sinne pohjaan. Eiköhän se riitä jos se niinku tavallaan se vesi puristuu sinne koko alueelle kun se ei mene litteemmäks. Se paattihan pysyy sen päällä. Mutta niinku se että oletetaan että se astia on isompi ku se laiva nii sillo ei. [mutinaa] Ei voi.

Nosteen yleinen muotoilu, *syrjäytetyn fluidin painon suuruinen voima*, sekä intuitio johtivat harhaan. Kysymys olisi vaatinut omien oletusten tekemistä (tankkerin koko suhteessa sulun kokoon), mikä ei varmasti ole ensimmäisen vuoden fysiikanopiskelijoille tuttua.

6.3 Käsitetestiparien vertailu

Yksittäisten testien tarkastelun lisäksi oppimista voidaan pyrkiä tarkastelemaan käsitetestiparien kautta. Tietyt kysymykset voidaan selkeästi yhdistää toisiinsa joko niiden ratkaisemiseksi vaadittavan teorian tai menetelmän perusteella. Tällaisista testipareista valitsin tarkasteluun käsitetestit 3.1 ja 3.2, joista

molempien ratkaisu vaatii vierimisehdon huomioimista; 13.1 ja 13.2, joissa molemmissa tarkastellaan interferenssiä pisteessä tietyllä etäisyydellä lähteistä sekä 8.3 ja 8.4, joissa molemmissa tarkastellaan kelluvan jään fysiikkaa. Mikäli opiskelijat olivat oppineet käymästään ryhmäkeskustelusta, voisi olettaa, että tehtäväpareista jälkimmäinen olisi paremmin osattu. Toisaalta käsitettestiparia voidaan ajatella yhtenä oppimistilanteena, mikäli tehtävien tarkoitus oli täydentää toisiaan tai näyttää tilanteen eri puolia. Käsitetesteistä voi erotella valittujen lisäksi muitakin testipareja, mutta niiden vertaaminen ei tuonut juuri mitään (hyödyllistä) informaatiota.

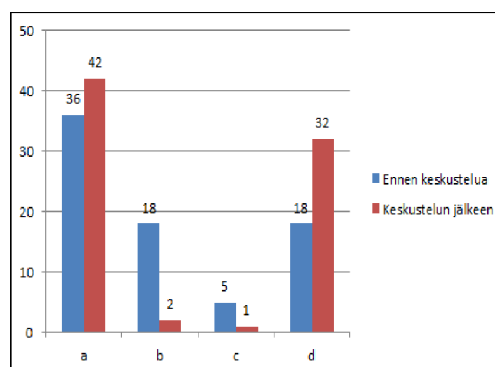
Käsitetestit 3.1 ja 3.2

3.1 Ylös vierivät pallot (L)

Kaksi samanpainoista palloa vierii ylös kaltevaa tasoa samalla alkunopeudella. Pallon B massa on jakautunut tasaisesti, pallo A on ontto. Kumpi palloista nousee tasolla korkeammalle?

a) pallo A
b) pallo B
c) molemmat pallon nousevat samalle korkeudelle
d) riippuu pallojen säteiden suhteesta

(a) Käsitetesti 3.1



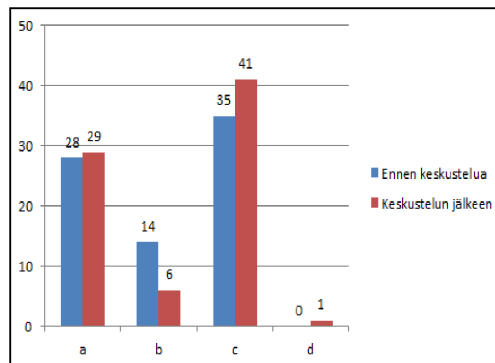
(b) Opiskelijoiden vastaukset

3.2 Alas vierivät renkaat (L)

Kaksi levossa olevaa rengasta alkavat vierimään liukumatta alas kaltevaa tasoa samalta korkeudelta. Renkailla on sama massa, mutta renkaalla B on kaksi kertaa suurempi säde kuin renkaalla A. Molemmilla renkailla kaikki massa on keskittynyt renkaan ulkoreunaan. Kummalla renkaalla on translaatioon liittyvä kineettinen energia on suurempi alas tultua?

a) renkaalla A
b) renkaalla B
c) energiat ovat samat
d) tarvitaan lisää tietoa

(c) Käsitetesti 3.2



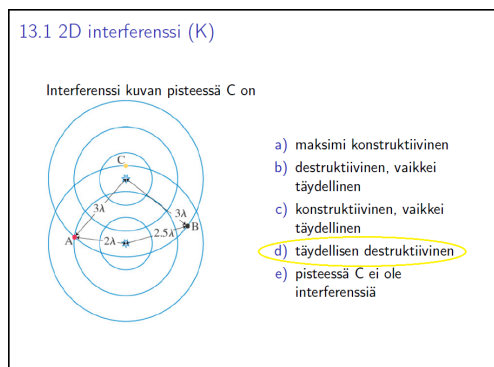
(d) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 25: Käsitetestit 3.1 ja 3.2 sekä opiskelijoiden vastaukset niihin ennen ja jälkeen keskustelun. Oikeat vastaukset on ympyröity.

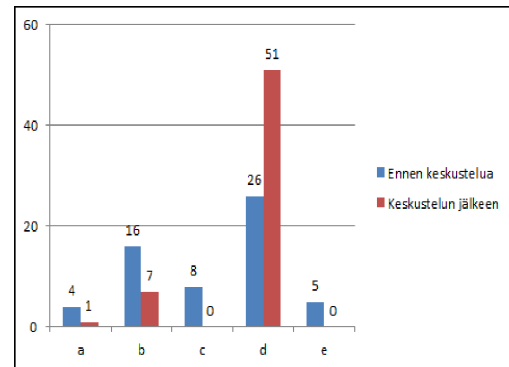
Testi 3.1 oli osattu melko heikosti (45 % vastasi väärin keskustelun jälkeen) ja ratkaisu käytiin yksityiskohtaisesti läpi taululla. Tehtävän ratkaisussa oli ongel-

mana vierimisehdon unohtuminen. Myös testin 3.2 ratkaisun avain oli vierimisehdossa. Vaikka luennoitsija painotti käsitetestin olevan aivan edellisen kaltainen, vierimisehto unohtui myös toisen testin kohdalla, ja lähes puolet opiskelijoista vastasi keskustelunkin jälkeen väärin. Vierimistä ei siis selvästi ollut vielä omaksuttu kunnolla. Yksi vastaavanlainen käsitetesti luennon loppuksi tai seuraavan luentokerran aluksi olisi voinut olla paikallaan asian sisäistämisen varmistamiseksi.

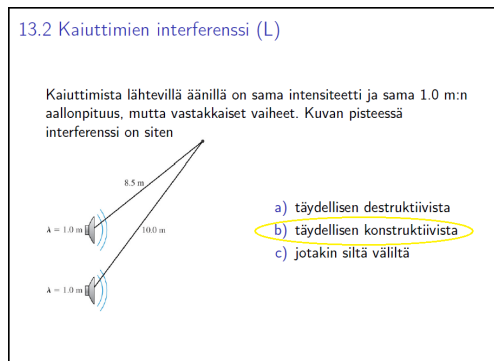
Käsitetestit 13.1 ja 13.2



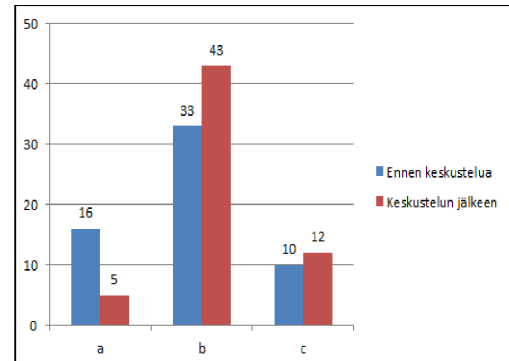
(a) Käsitetesti 13.1



(b) Opiskelijoiden vastaukset



(c) Käsitetesti 3.2



(d) Opiskelijoiden vastaukset

Kuva 26: Käsitetestit 13.1 ja 13.2 sekä opiskelijoiden vastaukset niihin ennen ja jälkeen keskustelun. Oikeat vastaukset on ympyröity.

Käsitetestiä 13.1 on jo käsitelty kappaleessa 6.2.1. Testissä 13.1 tarkasteltiin interferenssiä kahdessa ulottuvuudessa kuvasta lukien. Vaikka luentokalvoissa oli aivan vastaavanlainen esimerkki, ennen keskustelua yli puolet opiskelijois-

ta vastasi väärin. Keskustelun jälkeen suurin osa (86 %) valitsi oikean vaihtoehdon. Testi 13.2 oli perinteisempi laskutehtävä, mutta silti ennen keskustelua lähes puolet valitsi väärän vaihtoehdon. Keskustelu paransi taas tilannetta, ja 71 % valitsi oikean vaihtoehdon. Testi osattiin kuitenkin edellistä tehtävää huonommin. Osaselityksenä tähän voi olla se, että olen luokitellut oikeaksi vastaukseksi ainoastaan vaihtoehdon b) Täydellisen konstruktivistinen, vaikka myös vaihtoehto c) Jotain siltä väliltä voidaan hyväksyä oikeaksi, mikäli otetaan todellinen aallon intensiteetin heikkeneminen huomioon. Luennoitsija huomautti tästä todellisen aallon ominaisuudesta edellisen tehtävän käsittelyn yhteydessä, ja osa opiskelijoista on voinut valita vastauksensa tätä ajatellen.

Käsitteet 8.3 ja 8.4

<p>8.3 Kelluvat jääpalat 1 (S)</p> <p>Kahdessa täsmälleen samanlaisessa lasissa on vettä siten, että vedenpinnat ovat samalla korkeudella. Toisessa lasissa on kuitenkin jääpaloja kellumassa. Kumpi lasista painaa enemmän?</p> <p>a) Lasi, jossa on jääkuutioita. b) Lasi, jossa ei ole jääkuutioita. c) Lasit painavat yhtä paljon.</p>	<p>8.4 Kelluvat jääpalat 2 (S, pikakysymys)</p> <p>Kahdessa täsmälleen samanlaisessa lasissa on vettä siten, että vedenpinnat ovat samalla korkeudella. Toisessa lasissa on kuitenkin jääpaloja kellumassa. Kun jääpalat sulavat, kummissa lasissa vedenpinta on korkeammalla?</p> <p>a) Lasissa, jossa oli jääkuutioita. b) Lasissa, jossa ei ollut jääkuutioita. c) Vedenpinnat ovat yhtä korkealla.</p>
--	--

(a) Käsitteesti 8.3

(b) Käsitteesti 8.4

Kuva 27: Käsitteet 8.3 ja 8.4

Testi 8.4 jäi pikakysymyksenä tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle. Se muodostaa kuitenkin mielenkiintoisen tehtäväparin sitä edeltäneen tehtävän kanssa. Käsitteestissä 8.3 opiskelijoiden tuli päätellä, että mikäli kahdessa lasissa on vettä samalle korkeudelle asti, mutta toisessa kelluu jääpaloja, on kummankin lasin massa silti sama. Seuraavassa tehtävässä kysyttiin, mitä tapahtuu veden pinnan korkeudelle, kun jääpalat sulavat. Tähän testiin ei ole saatavilla tilastollista dataa, mutta videonauhalla käy ilmi mielenkiintoinen huomio. Kun luennoitsija kysyy, ovatko kaikki sitä mieltä, että vedenpinnat pysyvät samalla korkeudella, hyvin moni opiskelija ei vastaa mitään (edes viittaamalla). En väitä, että tämä johtuisi yksinomaan siitä, etteivät opiskelijat ole varmoja vastauksesta, mutta seikka kertoo paljon opiskelijoiden osallistumisesta yleiseen keskusteluun.

6.4 Tehtävätyyppien vertailu

Valtaosa testeistä oli tyypiltään sanallisia tehtäviä, joiden ratkaisemiseksi tarvittiin käsiteltävän aihealueen käsitteellistä osaamista. Peer Instruction menetelmänä korostaa juuri käsitteellistä osaamista vaativien tehtävien tärkeyttä fysiikan oppimisen kannalta. Perinteisesti fysiikan tehtävät ovat painottuneet kaavoja ja suoraviivaista laskemista vaativiin tehtäviin, mutta painopiste on siirtymässä käsitteellisempään suuntaan muillakin kouluasteilla. Joidenkin tehtävien kohdalla oli havaittavissa, etteivät opiskelijat tunnistanee tehtävää käsitteelliseksi, vaan pyrkivät automaattisesti ratkaisemaan sitä tunnettujen kaavojen avulla. Tämä kertoo siitä, että opiskelijat ovat tottuneet ratkaisemaan perinteisiä laskutehtäviä pohdintatehtäviä enemmän.

Erilaisten kuvaajien tulkinta on ensiarvoisen tärkeää useilla fysiikan aloilla - ja elämässä muutenkin. Tästä syystä kuvaajien lukua (ja tuottamista) on hyvä harjoitella toistamiseen kaikilla kouluasteilla. Kaikkiaan testeistä viidessä piti tulkita perinteistä kuvaajaa tai kuvaa ja kolmessa matemaattista oliota, mutta kaksi näistä on jätetty tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle kahden oikeaksi hyväksyttävän vastausvaihtoehdon vuoksi. Ensimmäisen vuoden opiskelijoiden matemaattiset taidot ovat vielä melko heikot, varsinkin integroinnin ja differentiaaliyhtälöiden osalta. Näitä taitoja kuitenkin tarvitaan fysiikan tekemisessä ja niitä on hyvä harjoitella paljon. Tiettyjen tuttujen muotojen (esimerkiksi harmoninen liikeyhtälö) tunnistaminen helpottaa työskentelyä.

Valtaosa laskutehtävistä vaati myös hyvää käsitteellistä ymmärrystä, jotta opiskelija osasi ottaa huomioon kaikki ratkaisuun vaadittavat tekijät. Tyypillisiä sijoita kaavaan -tehtäviä oli oikeastaan vain kaksi.

Tarkasteltaessa tilastollisesti opiskelijoiden vastauksia ennen keskustelua eri tehtävätyyppien välillä ei juuri ole eroa. Keskustelun jälkeen kuitenkin kuvaajan tulkinta -tehtävissä oikeiden vastausten osuus on keskimääräistä parempi ja laskutehtävissä hieman huonompi. Kuvaajan tulkintaa vaativissa tehtävissä yhdessä oppimista on siis ollut enemmän. Koska kuvaajan tulkinta -tehtäviä oli vähän, kaksi erityisen suuren oikeaan vastaukseen vaihtaneiden joukon omaavaa tehtävää (tehtävät 4.2 ja 13.1) dominoivat tilastoa. Yhdessäkään tähän kategoriaan kuuluvista tehtävistä ei väärän vastauksen oikeaan korjanneita kuitenkaan ollut alle keskiarvon.

7 Johtopäätökset

Kurssin toteutuksessa näkyi selvästi valloilla olevia hyvän opetuksen tunnuspiirteitä. Opetuksessa oli vahvasti oppimislähtöinen tyyli. PĪ-menetelmä kannusti aktiiviseen oppimiseen ja lisäsi opiskelijoiden välistä vuorovaikutusta. Myös pyrkimystä lisääntyvään opiskelijoiden ja luennoitsija väliseen vuorovaikutukseen oli, vaikkakin tässä olisi vielä ollut parannettavaa. Käytetty opetustapa myös antoi jatkuvasti opiskelijoille palautetta heidän osaamisestaan. Luennoilla käytettiin erilaisia esitystapoja, kuten kuvaajia, videokuvaa, ääntä ja jopa liikettä, mikä otti huomioon opiskelijoiden erilaisia tapoja oppia.

7.1 Keskustelusta yleensä

Opiskelijoiden käymä keskustelu oli pääosin luonteeltaan hyvin katkonaista ja epätäsmällistä ajatuksenvirtaa. Oikeita fysiikan käsitteitä käytettiin satunnaisesti ja melko epätäsmällisesti. Keskusteluryhmän kokoonpano vaikutti paljon keskustelun kulkuun. Esimerkiksi tässä tutkielmassa personoidut *Minni* ja *Aku* olivat molemmat tyyliältään melko hallitsevia keskustelukumppaneita. *Minni* puhui paljon ja tuntui tuovan helposti ajatuksensa kuuluvaksi. Hän ei juuri kysynyt muiden mielipiteitä (keskustelun avauksia lukuun ottamatta) tai ottanut aktiivisesti muita mukaan keskusteluun, paitsi täydentämään omia ajatuksiansa. *Minni* oli kuitenkin avoin uusille ideoille ja mukautti vastauksensa keskustelun pohjalta, toisin kuin *Aku*, joka vaihtoi vastausta vain muutaman kerran koko kurssin aikana (myönnettäköön, hän oli melko usein oikeassa, mutta ei aina). *Minni* ilmaisi usein epävarmuutensa omista ajatuksistaan, vaikka pyrki esittämään perustelut näkökulmiinsa.

Selvästi keskustelulla on vaikutus opiskelijoiden käsityksiin käsitteiden ratkaisusta. Lähes aina keskustelu parantaa osaamista. Joskus keskustelu saa kuitenkin opiskelijan vaihtamaan oikean vastauksensa vääräksi, mutta todennäköisesti tällöin opiskelija ei ole ollut varma ratkaisustaan.

Osa opiskelijoista ei osallistunut keskusteluun. Luennoitsijan hakeutuessa keskusteluun näiden opiskelijoiden kanssa selvisi, että myös he miettivät käsitteistä ja olivat valmiita esittämään kantansa luennoitsijalle. En osaa sanoa, palauttivatko nämä opiskelijat vastauslappunsa luennon jälkeen, joten en voi selvittää, oliko yksinäisellä miettimisellä vaikutusta vastauksiin.

7.2 Oppimista vaikeuttavat tekijät

Keskustelujen pohjalta voi tehdä joitakin huomioita oppimista hankaloittavista tekijöistä. Osaan näistä tekijöistä on hankala tai jopa mahdoton vaikuttaa

(esimerkiksi vierustoverin olemattomat keskustelutaidot), mutta osa voidaan helposti ottaa huomioon opetuksessa ja tehtävien muotoilussa.

Tehtävät, joissa on mahdollisesti useita oikeita vastauksia, ovat opiskelijoille hankalia. Tämä korostuu erityisesti silloin, kun oikeiden vastausten määrää ei tiedetä. Osittain tämä voi johtua siitä, että jokaisen vaihtoehdon huolellinen miettiminen vie enemmän aikaa, kuin opiskelijoilla on. Tehtävänantojen muotoilusta olisi siksi hyvä käydä ilmi, haetaanko yhtä vai useampaa vastausta. Epäröintiä on havaittavissa myös, mikäli vastausvaihtoehdoissa on päällekkäisyyttä tai määrittäviä adverbeja. Päällekkäisyyttä oli esimerkiksi tehtävässä 5.2. Sana *tarkalleen* herätti keskustelua tehtävässä 7.1 ja sana *aina* tehtävässä 7.3.

Vakioiden ja muuttujien määrittely tuottaa ensimmäisen vuoden opiskelijoille vielä selvästi vaikeuksia. Mikäli tehtävänannossa esiintyy vakioita, kannattaa ne identifioida ja määritellä, ja toisaalta erottaa selvästi muuttujista. Seuraavat keskustelunpätkät tehtävistä 4.2 ja 7.1 toimivat esimerkkeinä vakioiden ja muuttujien epäselvyydestä. Tehtävässä 4.2 λ :lla viitattiin pituustiheyteen, mutta se ei ollut opiskelijoille selvää.

Minni Tuo *lamda* musta vaan vähän sillee, jos se on reaaliluku nii sitte tuo ei kyllä varmaan niinku... En usko. Mut jos se saa olla vaikka joku lauseke, että tyyliin tuo *dee äm* on muutettu ja se *lamda* on se *dee ämmä* niinku lausuttuna jollain muulla tavalla. Ni sit se vois olla tuo c.

Tehtävän 7.1 käsittelyssä luentokalvoissa esiintyvä amplitudi A herätti epäselvyyttä.

Minni Kyllä tässä nyt, jos tämä ois niinku vakio nii sittehän tää menis, mut ku eihän tää oo vakio. Onko tää vakio? Koska onko tää amplitudi sillon alkuhetkellä vai onko se se ku sehän pienenee se amplitudi... Kumpi se on?

Kysymyksenasettelussa tai yleisessä ohjeistuksessa tulisi selvästi tuoda ilmi, käsitelläänkö tehtävissä ideaalitapauksia vai todellisia tilanteita, mikäli tämä muuttaa tehtävää. Käsitettestiparin 13.1 ja 13.2 tarkastelu antaa tähän esimerkin. Aiemman testin läpikäymisen jälkeen luennoitsija huomautti, että todellisella aallolla intensiteetti heikkenee etäisyyden kasvaessa. Osa opiskelijoista saattoi valita vastauksensa jälkimmäiseen testiin tätä ajatellen, vaikka luennoitsija oli ajatellut testin koskevan ideaalista aaltoa.

Vaikka usein PI-menetelmää käytettäessä opiskelijoiden itsenäinen pohdiske-lu aika jätetään pois aikaa vievänä tekijänä [33,34], voi keskusteluista huomata sen, että kunnollisen keskustelun käynnistyminen vie enemmän aikaa, mikäli itsenäisen pohdinnan aika on ollut lyhyt. Tehtävässä 4.3 miettimisaika oli hy-

vin lyhyt (30 sekuntia) ja jopa 18 opiskelijaa jätti vastaamatta itsenäisesti. Toisaalta tehtävässä 12.2 80 % opiskelijoista vastasi oikein, vaikka miettimisaika oli olematon. Kyseessä oli kuitenkin hyvin helppo sijoita kaavaan -tehtävä.

Oikean vastauksen täsmällinen kertominen oli opiskelijoille tärkeää. Joidenkin tehtävien loppukäsittelyssä luennoitsija selkeästi sanallisesti kertoi oikean vastauksen ilmoittamatta vaihtoehdon tunnusta. Opiskelijat kuitenkin kysyivät varmistusta: *Siis oliko se b) oikein?*

7.3 Yleisiä huomioita

Eri tehtävätyyppien välillä ei ole havaittavissa eroa osaamisessa. Oppimista on hieman keskimääräistä enemmän kuvaajan tai matemaattisen olion tulkintaa vaativissa tehtävissä. Otos on kuitenkin hyvin pieni.

Monet testeistä olivat sellaisia, että ne herättivät opiskelijoiden halun kokeilla tilannetta käytännössä. Testien havainnollistaminen demonstraation avulla tai todellista tilannetta esittävän kuvan/videon avulla olisi ollut helppoa, ja havainnollistaminen olisi voinut ainakin saada opiskelijat muistamaan asian paremmin. Yhden käsitetestin ratkaisu esitettiin demonstraation avulla.

On tutkittu, että kokematon fysiikanopiskelija luokittelee ja hahmottaa tehtäviä pinnallisten piirteiden kautta (esim. kalteva taso, kelluva jääpala), eikä tilanteen taustalla vaikuttavien periaatteiden tai lakien avulla (vrt. vierimisehto, noste). [35] Paikoin testien käsittelyssä näkyikin selvästi opiskelijoiden vaikeus ymmärtää tehtävän luonnetta. Esimerkiksi käsitetesti 8.3 selvästi vaati nosteen käsitteen soveltamista, mutta *Minnin* ryhmän keskustelussa koko termiä ei mainittu. Sama ongelma on sekä testissä 3.1 että 3.2 - vierimisehto unohdettiin kummassakin, vaikka luennoitsija painotti sitä tehtävien käsittelyn välissä.

Kurssilla FYSP102 opiskelijoilta veloitettiin verrattain vähän omatoimista opiskelua ennen luentoja. Jotkut PI-menetelmän soveltajat esimerkiksi Yhdysvalloissa kontrolloivat tarkemmin itsenäistä opiskelua erilaisilla ennakkotesteillä ja -tehtävillä [7]. Luentokysymykset olivat sellaisia, etteivät ne juuri vaatineet ennakko-opiskelua, vaan kaikkia kysytyjä aiheita oli käsitelty luennolla. Toki aiheeseen perehtymättömyys näkyi vastausvarmuudessa. Myös opiskelijoiden kommentteissa kuului tarve enemmän itsenäiselle opiskelulle. Mikäli opiskelijoita halutaan kannustaa enemmän perehtymään aiheeseen ennen luentoja, voisi luennolla esittää säännöllisesti myös sellaisia (helpohkoja) kysymyksiä, joiden aiheita ei ole kerrattu luennon aluksi. Myös ennakkotehtävien hyödyntämistä voisi miettiä. Luentokysymyksiä oli myös verrattain vähän ja yksittäisiin kysymyksiin käytettiin melko paljon aikaa (vertaa esimerkiksi [33, Table

B)). Ripeämmällä temmolla ja jämäkämmällä tehtävien aloituksella ja lopetuksella voisi saada aikaa useammille tehtäville.

Koska keskustelemalla oppiminen on opiskelijoille vierasta, pitäisi sitä jollakin keinoin opettaa. Fysiikan laitoksella on jo pitkään panostettu uusien opiskelijoiden tutustuttamiseen ja ryhmäyttämiseen aloittamalla jokainen lukuvuosi Lentävällä lähdöllä. Lentävässä lähdössä tutustutaan paitsi toisiin opiskelijoihin, myös laitoksen henkilökuntaan ja toimintaan. Yksi mahdollinen paikka opettaa keskustelua esimerkin voimin olisi juuri Lentävä lähtö. Opiskelijoille voisi tällöin näyttää esimerkkikeskustelun avulla, kuinka fyysikot keskustelvat tuoden ajatuksiaan julki ja arvioiden toistensa näkökulmia. Tällöin opetus voitaisiin integroida muuhun ohjelmaan ilman, että se tuntuisi liian selvästi puheopetukselta.

Viitteet

- [1] Jyväskylän yliopisto. Interaktiivinen opetus ja oppiminen. <https://www.jyu.fi/hankkeet/interaktiivinen>. Viitattu 20.2.2013.
- [2] E. Mazur. Peer instruction: A user's manual, 1997.
- [3] P. Koskinen. Jäähyväiset luennoinnille. *Arkhimedes*, 3, 2012.
- [4] I.D. Beatty and W.D. Gerace. Teaching vs. learning: Changing perspectives on problem solving in physics instruction. *Proceedings of the 9th Common Conference of the Cyprus Physics Association and Greek Physics Association*, 2005.
- [5] R. R. Hake. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1):64, 1998.
- [6] N. Lasry, E. Mazur, and J. Watkins. Peer instruction: From harvard to the two-year college. *American Journal of Physics*, 76(11):1066, 2008.
- [7] C.H. Crouch and E. Mazur. Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9):970, 2001.
- [8] J. K. Knight and W. B. Wood. Teaching more by lecturing less. *Cell Biology Education*, 4(4):298, 2005.
- [9] O. Pylkkä. Konstruktivistinen oppiminen. <http://oppimateriaalit.jamk.fi/oppimiskasitykset/oppimiskasitykset/konstruktivistinen-oppiminen/>. Viitattu 20.2.2013.
- [10] F. Marton and R. Säljö. On qualitative differences in learning: I – outcome and process*. *British journal of educational psychology*, 46(1):4, 2011.
- [11] L. Postareff. Teaching in higher education: From content-focused to learning-focused approaches to teaching. *väitöskirja*, 2007.
- [12] R. B. Barr and J. Tagg. From teaching to learning – a new paradigm for undergraduate education. *Change*, page 13, 1995.
- [13] B. H. Banathy. Systems thinking in higher education: learning comes to focus. *Systems Research and Behavioral Science*, 16(2):133, 2000.
- [14] S. Lindblom-Ylänne, K. Trigwell, A. Nevgi, and P. Ashwin. How approaches to teaching are affected by discipline and teaching context. *Studies in Higher Education*, 31(03):285, 2006.
- [15] A. W. Chickering and Z. F. Gamson. Seven principles for good practice in undergraduate education. *AAHE Bulletin*, 3:7, 1987.
- [16] D. E. Meltzer and R. K. Thornton. Resource letter alip – 1: Active-learning instruction in physics. *American Journal of Physics*, 80(6):478, 2012.
- [17] C.M. Sorensen, A.D. Churukian, S. Maleki, and D.A. Zollman. The new studio format for instruction of introductory physics. *American Journal of Physics*, 74(12):1077, 2006.

- [18] D. R. Sokoloff and R. K. Thornton. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. In *AIP Conference Proceedings*, volume 399, page 1061, 1997.
- [19] I. D. Beatty, W. J. Leonard, W. J. Gerace, and R. J. Dufresne. Question driven instruction: Teaching science. *Audience response systems in higher education: Applications and cases*, page 96, 2006.
- [20] J. W. Belcher. Studio physics at mit. *MIT Physics Annual*, 2001.
- [21] L. Ding, N.W. Reay, A. Lee, and L. Bao. Are we asking the right questions? validating clicker question sequences by student interviews. *American Journal of Physics*, 77:643, 2009.
- [22] I.D. Beatty, W.J. Gerace, W. J. Leonard, and R.J. Dufresne. Designing effective questions for classroom response system teaching. *American Journal of Physics*, 74(1):31, 2006.
- [23] The UMass Scientific Reasoning Research Institute. A2I: Assessing-to-learn physics. <http://clickercentral.net/>. Viitattu 14.2.2013.
- [24] Physics Education Research at CU-Boulder. Concept tests and course materials from cu boulder. <http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/cts/index.htm>. Viitattu 4.6.2013.
- [25] Carl Wieman Science Education Initiative at the University of British Columbia. Clicker resource guide: An instructors guide to the effective use of personal response systems (clickers) in teaching. <http://www.cwsei.ubc.ca/resources/clickers.htm>. Viitattu 4.6.2013.
- [26] S. D. Willoughby and E. Gustafson. Technology talks: Clickers and grading incentive in the large lecture hall. *American Journal of Physics*, 77(2):180, 2009.
- [27] M. C. James. The effect of grading incentive on student discourse in peer instruction. *American Journal of Physics*, 74(8):689, 2006.
- [28] K. E. Perez, E. A. Strauss, N. Downey, A. Galbraith, R. Jeanne, and S. Cooper. Does displaying the class results affect student discussion during peer instruction? *CBE-Life Sciences Education*, 9(2):133, 2010.
- [29] R. D. Knight. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. Pearson Addison Wesley, 2008.
- [30] P. Jääskelä, U. Valleala, and U. Klemola. Fallacy of weak agency? a case study examining university students in a physics course. *A presentation in ECER, 18.-21.9.2012, Cadiz, Spain.*, 2012.
- [31] Socrative. <http://socrative.com/>. Viitattu 14.2.2013.
- [32] University of Colorado at Boulder. Interactive simulations: Resonance. <http://phet.colorado.edu/en/simulation/resonance>. Viitattu 4.6.2013.
- [33] C. Turpen and N.D. Finkelstein. Not all interactive engagement is the sa-

- me: Variations in physics professors' implementation of peer instruction. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 2009.
- [34] M.C. James and S. Willoughby. Listening to student conversations during clicker questions: What you have not heard might surprise you! *American Journal of Physics*, 79(1):123, 2011.
- [35] M. T. H. Chi, P. J. Feltovich, and R. Glaser. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 1981.

tehtävä	vastaaja	ov	%	oo	%	vo	%	vv	%	1o	%	1v	%	2o	%	2v	%	aika pohtia (s)	aika keskustella (s)	vo/1v
3.1L	77	9	12 %	27	35 %	15	19 %	26	34 %	36	47 %	41	53 %	42	55 %	35	45 %	140	310	37 %
3.2L	77	9	12 %	26	34 %	15	19 %	27	35 %	35	45 %	42	55 %	41	53 %	36	47 %	155	280	36 %
3.3E	77	4	5 %	20	26 %	34	44 %	19	25 %	24	31 %	53	69 %	54	70 %	23	30 %	140	315	64 %
3.4E	66	5	8 %	25	38 %	10	15 %	26	39 %	30	45 %	36	55 %	35	53 %	31	47 %	130	340	28 %
4.1L	67	3	4 %	22	33 %	30	45 %	12	18 %	25	37 %	42	63 %	52	78 %	15	22 %	175	305	71 %
4.2K	67	2	3 %	14	21 %	34	51 %	17	25 %	16	24 %	51	76 %	48	72 %	19	28 %	170	290	67 %
4.3E	40	0	0 %	12	30 %	2	5 %	26	65 %	12	30 %	28	70 %	14	35 %	26	65 %	30	205	7 %
5.1E [□]	78									49		29	37 %					120	0	0 %
5.2E	77	2	3 %	21	27 %	15	19 %	39	51 %	23	30 %	54	70 %	36	47 %	41	53 %	140	330	28 %
5.3E	77	1	1 %	63	82 %	12	16 %	1	1 %	64	83 %	13	17 %	75	97 %	2	3 %	125	275	92 %
5.4E	78	2	3 %	62	79 %	11	14 %	3	4 %	64	82 %	14	18 %	73	94 %	5	6 %	130	240	79 %
5.5K	78	1	1 %	34	44 %	24	31 %	19	24 %	35	45 %	43	55 %	58	74 %	20	26 %	160	290	56 %
6.1*K	75																	130	340	
6.2E	76	1	1 %	32	42 %	36	47 %	7	9 %	33	43 %	43	57 %	68	89 %	8	11 %	115	320	84 %
6.3E	74	0	0 %	52	70 %	15	20 %	7	9 %	52	70 %	22	30 %	67	91 %	7	9 %	100	280	68 %
6.4*E	72																	155	275	
7.1E	78	11	14 %	19	24 %	10	13 %	38	49 %	30	38 %	48	62 %	29	37 %	49	63 %	115	345	21 %
7.2E	78	4	5 %	23	29 %	28	36 %	23	29 %	27	35 %	51	65 %	51	65 %	27	35 %	135	270	55 %
7.3E	78	2	3 %	40	51 %	25	32 %	11	14 %	42	54 %	36	46 %	65	83 %	13	17 %	150	235	69 %
8.1E	69	2	3 %	21	30 %	29	42 %	17	25 %	23	33 %	46	67 %	50	72 %	19	28 %			63 %
8.2L	69	0	0 %	51	74 %	13	19 %	5	7 %	51	74 %	18	26 %	64	93 %	5	7 %			72 %
8.3E	66	1	2 %	34	52 %	27	41 %	4	6 %	35	53 %	31	47 %	61	92 %	5	8 %			87 %
8.4**E																				
8.5**E																				
9.1E	71	1	1 %	2	3 %	7	10 %	61	86 %	3	4 %	68	96 %	9	13 %	62	87 %	145	375	10 %
9.2E	72	0	0 %	49	68 %	22	31 %	1	1 %	49	68 %	23	32 %	71	99 %	1	1 %	110	235	96 %
9.3L	71	1	1 %	28	39 %	33	46 %	9	13 %	29	41 %	42	59 %	61	86 %	10	14 %	135	325	79 %
9.4*E	70																	120	230	
9.5E	71	0	0 %	47	66 %	21	30 %	3	4 %	47	66 %	24	34 %	68	96 %	3	4 %	150	205	88 %
10.1K	63	4	6 %	27	43 %	20	32 %	12	19 %	31	49 %	32	51 %	47	75 %	16	25 %	160	250	63 %
10.2K	63	0	0 %	45	71 %	17	27 %	1	2 %	45	71 %	18	29 %	62	98 %	1	2 %	140	185	94 %
10.3K	62	2	3 %	28	45 %	17	27 %	15	24 %	30	48 %	32	52 %	45	73 %	17	27 %	170	220	53 %
10.4L	63	13	21 %	1	2 %	8	13 %	41	65 %	14	22 %	49	78 %	9	14 %	54	86 %	115	175	16 %
10.5*E	64																	120	215	
11.1L	69	0	0 %	45	65 %	11	16 %	13	19 %	45	65 %	24	35 %	56	81 %	13	19 %	150	260	46 %
11.2*E	70																	160	345	
11.3E	68	3	4 %	31	46 %	22	32 %	12	18 %	34	50 %	34	50 %	53	78 %	15	22 %	115	295	65 %
11.4*K	67																	170	340	
12.1*E	50																	125	245	
12.2L	44	0	0 %	35	80 %	3	7 %	6	14 %	35	80 %	9	20 %	38	86 %	6	14 %	0	170	33 %
12.3*L	49																	180	295	
12.4E	47	0	0 %	42	89 %	3	6 %	2	4 %	42	89 %	5	11 %	45	96 %	2	4 %	170	280	60 %
13.1K	59	1	2 %	25	42 %	26	44 %	7	12 %	26	44 %	33	56 %	51	86 %	8	14 %	145	240	79 %
13.2L	59	4	7 %	29	49 %	13	22 %	13	22 %	33	56 %	26	44 %	42	71 %	17	29 %	155	255	50 %
13.3E	58	2	3 %	24	41 %	16	28 %	16	28 %	26	45 %	32	55 %	40	69 %	18	31 %	185	340	50 %
13.4*E	55																	140	225	
13.5E	57	3	5 %	28	49 %	11	19 %	15	26 %	31	54 %	26	46 %	39	68 %	18	32 %	170	220	42 %
KA	67	3	4 %	31	46 %	18	26 %	16	24 %	34	50 %	34	50 %	49	73 %	18	27 %	140	272	56 %

* Testissä useita oikeita vaihtoehtoja/opiskelijat valinneet useita vaihtoehtoja ** Sekaannus vastauslapuissa □ Pikakysymys, eli ei yhteistä keskustelua

Vastusvoima on dissipatiivinen, joten energia pienenee

$$\tau = m/b$$

$$E(t) = \frac{1}{2}k(Ae^{-t/2\tau})^2 = \left(\frac{1}{2}kA^2\right)e^{-t/\tau}$$

The oscillator starts with energy E_0 .
The energy has decreased to 37% of its initial value at $t = \tau$.
The energy has decreased to 13% of its initial value at $t = 2\tau$.

$Q = 2\pi \times \frac{\text{energiaa jäljellä}}{\text{energiahäviö per värähdys}}$

(a) Luentokalvo käsitettiin 7.1

Bernoullin yhtälö on käytännönläheinen

Bernoullin yhtälö vakiokorkeudella

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{vakio}$$

Venturiputki virtausmittarina:

Paine-ero aiheuttaa nosteen:

$p = p_{\text{alms}} \text{ beneath wing}$

(b) Luentokalvo käsitettiin 9.2

Poikittaisia ja pitkittäisiä aaltoja käsitellään lähes samoin

Poikittainen aalto: y muuttuu

Pitkittäinen aalto: x muuttuu

Leading edge Trailing edge

(c) Luentokalvo käsitettiin 10.2

Langassa etenevän aallon nopeus riippuu jännityksestä

$$D(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

Ratkaistaan $F = ma$

- massatiheys: μ
- kiilisyys: $d^2D(x, t)/dt^2$
- voima: $\sim dD(x, t)/dx|_{\Delta x/2}$
- nopeus: $v = \omega/k = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

(d) Luentokalvo käsitettiin 10.4

Destruktiivisen interferenssin sijainnit säilyvät

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \Delta\phi_0$$

(e) Luentokalvo käsitettiin 13.1