

Asko Mäkynen

Vuorovaikutuskaavion käytön  
vaikutus voimakäsitteen  
oppimiseen lukion mekaniikan  
opetusjaksoilla



Asko Mäkynen

Vuorovaikutuskaavion käytön vaikutus  
voimakäsitteen oppimiseen lukion  
mekaniikan opetusjaksoilla

Esitetään Jyväskylän yliopiston kasvatustieteellisen tiedekunnan suostumuksella  
julkisesti tarkastettavaksi yliopiston vanhassa juhlasalissa S212  
huhtikuun 25. päivänä 2014 kello 12.

Academic dissertation to be publicly discussed, by permission of  
the Faculty of Education of the University of Jyväskylä,  
in building Seminarium, auditorium S212 on April 25, 2014 at 12 o'clock noon.



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2014

Vuorovaikutuskaavion käytön vaikutus  
voimakäsitteen oppimiseen lukion  
mekaniikan opetusjaksoilla

Asko Mäkynen

Vuorovaikutuskaavion käytön vaikutus  
voimakäsitteen oppimiseen lukion  
mekaniikan opetusjaksoilla



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2014

Editors

Timo Saloviita

Department of Education University of Jyväskylä

Pekka Olsbo, Timo Hautala

Publishing Unit, University Library of Jyväskylä

Cover Photo: Ylistö Bridge, Jyväskylä. Photo: Jyväskylä University Library/Harri Hirvi

URN:ISBN:978-951-39-5648-6

ISBN 978-951-39-5648-6 (PDF)

ISBN 978-951-39-5647-9 (nid.)

ISSN 0075-4625

Copyright © 2014, by University of Jyväskylä

Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä 2014

## ABSTRACT

Mäkynen Asko

Does a visual representation of interactions help students to understand the concept of force in upper secondary schools?

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2014, 263 p.

(Jyväskylä Studies in Education, Psychology and Social Research

ISSN 0075-4625; 496)

ISBN 978-951-39-5647-9 (nid.)

ISBN 978-951-39-5648-6 (PDF)

Previous studies have shown that after physics instruction many students have various difficulties in understanding the concept of force and Newton's laws. One proposed solution has been to teach the concept of force as a result of interaction. The purpose of this study is to find out if the interaction diagram, a visual representation of objects and the interactions between them, could help students in understanding Newton's third law, identifying forces and constructing the correct free body diagram.

The study was conducted with five different teaching groups in five upper secondary schools in Western and Eastern Finland. Two teaching and learning sequences on interaction and force as well as on Newton's laws were designed for the national compulsory course in physics (Physics 1) and for the optional course in mechanics (Physics 4). Three of the schools were transfer schools (Physics 1, N = 75; Physics 4, N = 49, aged 16 - 17); that is, the teachers implemented the teaching as designed but did not participate in planning the research. Two teachers from the control schools (Physics 1, N = 58; Physics 4, N = 31, aged 16 - 17) implemented the teaching and learning sequences according to their own design together with the textbook. The same textbook introducing the use of the interaction diagram was used in all the schools. The teaching design emphasized the use of the interaction diagram, and Newton's third law was taught before Newton's other laws. The test questions used to measure the students' learning were compiled for various physical situations and states of motion. The questions on Newton's third law were adapted from tests used in previous studies, whereas the exercises on the interaction diagram and the free body diagram for the same physical situation were mainly compiled by the researcher.

The test results indicate that the transfer students were able to construct better interaction diagrams than the control students. They also had better mastery of Newton's third law than the control students in both teaching and learning sequences. The transfer students were also able to better identify forces and construct correct free body diagrams, where the vector sum of forces corresponded with the state of motion in a given situation, as compared to the control students. The study found a connection between the use of interaction diagrams and the ability to construct a free body diagram, and the connection was stronger in the transfer schools than in the control schools. Similarly, an association was found between the improved use of interaction diagrams and a better mastery of Newton's third law. The results lead to the conclusion that the use of the interaction diagram in teaching the concept of force helps students to learn Newton's third law as well as to learn how to identify forces and to construct the correct free body diagram.

Keywords: interaction, interaction diagram, force, free body diagram, Newton's laws

**Author's address** Asko Mäkynen  
Department of Teacher Education  
Mittakepintie 9, 60200 Seinäjoki  
asko.makynen@kurikka.fi

**Supervisors** Professor Jouni Viiri  
Department of Teacher Education  
University of Jyväskylä

Docent Antti Savinainen  
Department of Teacher Education  
University of Jyväskylä

**Reviewers** Docent Kalle Juuti  
Department of Teacher Education  
University of Helsinki

Docent Kari Sormunen  
Department of Teacher and Research  
University of Eastern Finland

**Opponent** Docent Kalle Juuti  
Department of Teacher Education  
University of Helsinki

## ESIPUHE

Kun vuonna 1988 valmistuin filosofian maisteriksi, olin melko varma, että opinnot omalta osaltani päättyisivät siihen. Elämässä tilanteet kuitenkin muuttuvat. Olin ollut opettajan työssä jo useita vuosia ja aloin kaivata uusia haasteita. Koska lapsenikin olivat jo varttuneet ikään, jossa he pärjäävät lähes omillaan, niin mielessäni heräsi ajatus jatko-opinnoista. Olin mekaniikan opetuksessa huomannut oppilaiden vaikeudet ymmärtää voimakäsitettä ja käyttää liikeyhtälöitä ongelmanratkaisuisissa oikein. Kun sitten ohjaajieni kanssa sovimme tutkimuksen aiheeksi voimakäsitteen opetuksen ja oppimisen, joka oli minusta mielenkiintoinen ja haastava aihealue tutkittavaksi, niin väitöskirjan tekeminen alkoi tuntua mahdolliselta. Toisaalta päätöstä piti harkita, sillä työ kestäisi kuitenkin useita vuosia eikä voinut tarkkaan tietää mitä edessä tulisi olemaan.

Minulla oli onni saada kannustavat ja huolehtivat ohjaajat, joiden merkitys tutkimustyön ohjauksessa on tärkeä. Alkuvaiheessa he antoivat useilla puhelinsoitoillaan noviisitutkijalle tarpeellista kannustusta ja neuvoja siihen, miten opetuksen tutkimus kannattaisi toteuttaa. Tutkimukseen osallistui viisi fysiikan opettajaa ja heidän oppilaansa viidestä eri lukiosta. Kiitokset heille siitä, että he osallistuivat tutkimukseen, vaikka se tulisi vaatimaan myös heiltä arkityön ohessa ylimääräistä vaivaa. Kiitän erityisesti transferopettajia rohkeudestaan päästää tutkija seuraamaan opetustanne videoiden välityksellä.

Tutkimusprosessin aikana olen oppinut tieteellisen tutkimuksen tekemistä ja nähnyt millaista on tutkimuksen parissa tehtävä työ. Olen oppinut tunnistamaan ongelmakohtat, joita oppilaat kohtaavat ajattelussaan opettaessa heille voima ja Newtonin lait. Samalla ymmärsin, miten hyödyllistä opetuksen tutkiminen opettajalle voi olla. Tämä pätee erityisesti fysiikkaan, joka on lukion oppiaineista älyllisesti vaativa ja jonka oppimisessa oppilailla on monia haasteita. Kun pilottivaiheessa olin opettanut oppilailleni ensimmäistä kertaa vuorovaikutuskaaviota käyttäen voimakäsitteen ja Newtonin lait, en ollut vielä syvällisesti sisäistänyt vuorovaikutuskaavion ominaisuuksia varsinkaan Newtonin 3. lain opettamisessa. Tutkimukseni myötä olen sisäistänyt vuorovaikutuksen merkityksen ja vakuuttunut sen vaikutuksesta voimakäsitteen opettamisessa ja oppimisessa.

Olen saanut fysiikan opetuksen ja oppimisen tutkimisen ohessa tutustua uusiin miellyttäviin ihmisiin ja saanut kokemuksia, jotka säilyvät mielessä. Olen oppinut heiltä elämässä arvokkaita asioita. Yksi tällainen on tiedon, työn ja siitä saadun kunnian jakaminen mukana olleiden henkilöiden kesken. Nuo ovat asioita, joiden olemassaolo yksilöä korostavassa yhteiskunnassamme ei aina ole itsestään selvyyttä.

Väitöskirjatyön teossa tutkija joutuu tekemään monia ratkaisevia päätöksiä mm. aiheen valinnassa, tutkimuksen rajaamisessa, käytettävissä tutkimusmetodeissa ja oppimisen testaamisessa. Näissä saadut neuvot ja ohjeet ovat merkittäviä tutkimuksen onnistumiseksi. Hyvän ohjauksen myötä voi tehdä laadukasta tutkimusta. Erityiskiitoksen ansaitsevat ohjaajani professori, FT; KT Jouni Viiri ja dosentti, FT, KK Antti Savinainen. He ovat olleet monella tapaa



merkittävässä osassa tässä työssä ja sen loppuun saattamisessa. Kiitän teitä huolenpidosta, kannustamisesta ja innostamisesta, jota olette minulle antaneet. On ollut ilo ja kunnia tutustua teihin ja nähdä se intohimo, jolla teette työtänne. Olette matkan varrella esittäneet tienviittoja, joihin kannatti kääntyä, kun tutkimusprosessin etenemisessä ilmeni ongelmia. On ollut kunnia olla mukana artikkeleiden kirjoitustyössä, jossa Antilla on ollut oleellinen osa. Olen oppinut teiltä taitoja, joita tieteellisten artikkeleiden kirjoittamisessa tarvitaan. Tutkimustyöhöni saatu rahoitus toteutui onnistuneesti ohjaajieni ja ansiokkaiden tutkijoiden antamien neuvojen ja heidän laatimien lausuntojen myötä.

Kokeneemmat opetuksen tutkijat FT Niina Nurkka ja FT Pasi Nieminen ovat olleet minulle tutkimustyön vaiheissa myös merkittävänä tukena ja apuna. Niina ja Pasi ovat antaneet minulle kannustusta ja neuvoja silloin, kun niitä olen kaivannut. Kiitos Niina pyyteettömästä työstäsi ja avustasi transferopettajien opetusvideoiden analyysien teossa. Kiitokset Pasille, kun olen saanut sinulta neuvoja ja tarvittaessa apua tilastollisten metodien analyysiongelmissa.

Kiitän väitöskirjatyöni esitarkastajia, dosentti, KT, FM Kalle Juutia ja dosentti, KT, FL Kari Sormusta, huolellisesta paneutumisesta työhöni ja antamastanne rakentavasta palautteesta. Hyvien näkemysten ja korjausesitysten avulla olen viimeistellyt väitöskirjani.

Väitöskirjan tekeminen vaati vuosien työn. Opettajan työn ohessa tutkimuksen tekeminen eteni hitaasti. Työ alkoi edistyä, kun sain Jyväskylän yliopistolta päätoimisen tohtorikoulutettavan paikan. Tämän mahdollisti Suomen Akatemialta saatu apuraha tutkimusryhmälle, jonka jäsenenä sain olla mukana. Toisen puolen vuoden jakson tohtorikoulutettavana kustansi Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden laitos. Kiitokset Suomen Akatemialle ja Jyväskylän yliopistolle saamastani taloudellisesta tuesta, jonka avulla tämä väitöskirjatyö saatiin alkuun. Haluan kiittää myös Etelä-Pohjanmaan kulttuurirahastoa myöntämästäni 1,5 vuoden apurahasta. Sillä on ollut merkittävä vaikutus siinä, että olen voinut päätoimisesti jatkaa tutkimustyön tekemistä loppuun saakka. Matemaattisten aineiden opettajien liittoa MAOL ry:tä haluan kiittää matkavastuksesta, joka osaltaan mahdollisti osallistumiseni ESERA konferenssiin 2014. Tutkijan tehdessä väitöskirjaa emoyliopiston ulkopuolella ilman tutkijayhteisön tukea, voi työ tuntua joskus yksinäiseltä. Olen ollut hyvin kiitollinen Seinäjoen yliopistokeskuksen tarjoamasta tutkijahotellipaikasta, jossa olen saanut olla lähes koko tutkimuksen työskentelyaikani. Yliopistokeskusta kiitän hienoista, toimivista tiloista ja palveluista. Tutkijahotellin tutkijat ovat antaneet minulle tärkeää vertaistukea päivinä, jolloin asiat eivät sujuneet niin kuin olisi toivonut. Myös yliopistokeskuksen kahviossa käydyt keskustelut ovat olleet virkistävää vaihtelua tutkimustyölle.

Haluan kiittää myös Kurikan lukion äidinkielen opettajia antamistanne kielen käytön neuvoista ja korjauksista. FM Sari Hokkaselle osoitan kiitokset englannin kielen tarkistus- ja käänösavusta.

Huomaan, että monet henkilöt ovat olleet osaltaan auttamassa tämän väitöskirjatyön tekemisessä. Kiitän kaikkia minua tutkimusprosessin aikana kan-

nustaneita henkilöitä ja myös työnantajaani Kurikan kaupunkia, joka on myöntänyt opintovapaan viranhoidosta.

Tämä projekti on vienyt enemmän aikaa kuin osasin kuvitellakaan, mutta perheeni on ehkä tottunut siihen, että arvioimani aika tai hiihtolenkin pituus on muistettava kertoa kahdella. Kiitän vaimoani, Arjaa, kannustuksesta, jota sain sinulta tähän työhön ryhtyessä. Olet huolehtinut perheen asioista, kun päivät ovat venyneet tutkimusta tehdessä pitkiksi. Olet elänyt väitöskirjatyön eri vaiheissa mukana ja odottanut kärsivällisesti oman haaveesi toteuttamisen hetkeä. "Kaikella on aikansa ja asioilla on taipumus järjestyä". Kiitän lapsiani Amandaa ja Johannesta kärsivällisyydestä, jota olette osoittaneet läsnä olevaa, mutta ehkä joskus poissaolevan oloista isääänne kohtaan.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani tarjoamistanne eväistä elämääni ja kouluttautumismahdollisuudesta.

Seinäjoella 15. päivänä maaliskuuta 2014

Asko Mäkynen

## KUVIOT

KUVIO 1-1.	Fysiikan ylioppilaskoetehtävä 3 keväältä 2003.....	20
KUVIO 2-1.	Tiedon rakentuminen vygotstilaisen näkökulman mukaan....	29
KUVIO 2-2.	Ongelmatehtävässä olevia fysikaalisia prosesseja kuvataan kvalitatiivisilla representaatioilla, joiden avulla autetaan oppilasta konstruoimaan ja samalla ymmärtämään matemaattinen representaatio.....	33
KUVIO 2-3.	Mekaniikan opetuksessa käytetyt erilaiset representaatiot ja niiden väliset yhteydet. ....	35
KUVIO 2-4.	Laatikon vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio tilanteessa, jossa laatikkoa vedetään narulla pöydän pintaa pitkin vakionopeudella. ....	45
KUVIO 2-5.	Hestenesin esittämä versio System Schemasta.....	47
KUVIO 2-6.	Turnerin versio System Schemasta.....	47
KUVIO 2-7.	Hinrichsin versio System Schemasta.....	48
KUVIO 2-8.	Savinaisen versio SRI-diagrammista.....	49
KUVIO 2-9.	Jimenezin ja Peralesin versio SRI-diagrammista. ....	49
KUVIO 2-10.	Lohkokaavio esitys vuorovaikutuksista. ....	50
KUVIO 2-11.	Newtonin mekaniikkaa esittävä hierarkkinen kartta. ....	53
KUVIO 2-12.	Kappale A liikkuu levossa olevaa kappaletta B kohti, kunnes ne törmäävät toisiinsa.....	61
KUVIO 2-13.	(a) Rautatanko riippuu magneetissa, joka on narulla kiinnitetty kattoon. (b) Voimakuvio rautatangolle ja (c) vastaava voimakuvio magneetille.....	80
KUVIO 2-14.	Opetusjaksojen suunnittelun ilmentymä.....	88
KUVIO 4-1.	Tutkimuksen vaiheet ja niiden ajoitus .....	96
KUVIO 4-2.	Tutkimuksen testit ja niiden suoritusvaiheet opetusjaksoissa FY1 ja FY4. ....	98
KUVIO 4-3.	Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden laatuluokittelusta tehdyt tulkinnat ja niiden määrittelyt.....	107
KUVIO 5-1.	Opetusjaksolle FY1 suunniteltu ajankäyttö ja transfer- opettajien T1, T2 ja T3 opetukseen käyttämä aika eri aihealueissa. ....	120
KUVIO 5-2.	Opetusjaksolle FY4 suunniteltu ajankäyttö ja transfer- opettajien T1, T2 ja T3 eri aihealuiden opetukseen käyttämä aika. ....	126
KUVIO 6-1.	Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), N3. lain ja niiden yhteen kytketyt opetusajat opetusjaksossa FY1 sekä vastaavien testikysymysten oikeiden vastausten suhteelliset osuudet transferkouluissa T1, T2 ja T3.....	148
KUVIO 6-2.	Vuorovaikutusten ja voimien tunnistaminen vuoro- vaikutuskaavio- ja voimakuviopareissa opetusjaksossa FY1.	151

KUVIO 6-3.	Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), voimakuvioiden (VK) ja niiden samanaikaiseen kytkentään käytetyt opetusajat sekä vastaavat oppimistulokset transferkouluissa T1, T2 ja T3 opetusjaksossa FY1.....	152
KUVIO 6-4.	Vuorovaikutusten tunnistamisen ja oikeiden voimakuvioiden yhteydet eri tapauksissa vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviopareissa opetusjaksossa FY1.....	154
KUVIO 6-5.	Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), voimakuvioiden (VK), niiden samanaikaiseen kytkennän ja N2. lain opetusajat sekä N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden oppimistulokset transferkouluissa opetusjaksossa FY1.....	155
KUVIO 7-1.	Vasemmalla on esitetty voima- ja vastavoimapari puhelimen ja pöydän välisessä kosketusvuorovaikutuksessa ja oikealla kengän voimakuvio .....	182

## TAULUKOT

TAULUKKO 2-1.	Erilaisten vuorovaikutusrepresentaatioiden ominaisuuksien vertailu.....	51
TAULUKKO 2-2.	N3. lain oppimisen vaikeuksia kosketusvuorovaikutuksissa. ....	58
TAULUKKO 2-3.	N3. lain oppimisen vaikeuksia etävuorovaikutuksissa: magneettinen ja sähköinen vuorovaikutus ja gravitaatiovuorovaikutus. ....	59
TAULUKKO 2-4.	N2. lakiin liittyvät yleisimmät virheelliset käsitykset. ....	65
TAULUKKO 2-5.	Oppimisvaadeanalyysi voimakäsitteelle ja Newtonin 3. laille. ....	84
TAULUKKO 2-6.	Oppimisvaadeanalyysi Newtonin 2. laille ja voimien tunnistamiselle ja niiden esittämiselle voimakuviossa.....	85
TAULUKKO 3-1.	Testikysymysten lukumäärät opetusjaksojen FY1 ja FY4 alku- ja lopputesteissä.. ....	93
TAULUKKO 4-1.	Koulut, oppilasmäärät ja opetuksen toteutusaika eri kouluissa opetusjaksoissa FY1 ja FY4.....	97
TAULUKKO 4-2.	FCI28-kysymysten luokittelu tutkimuksen dimensioiden mukaan. ....	98
TAULUKKO 4-3.	Vuorovaikutuskaavion konstruoinnin osaamista testaavat tehtävät opetusjaksojen eri opetusvaiheissa.....	101
TAULUKKO 4-4.	Voimakuvioiden konstruoinnin osaamista ja voimien tunnistamista testaavat tehtävät opetusjaksojen eri opetusvaiheissa.....	102
TAULUKKO 4-5.	Newtonin 3. lain osaamista testaavat testitehtävät opetusjaksojen eri vaiheissa.....	103
TAULUKKO 4-6.	Oppilaiden konstruointien vuorovaikutuskaavioiden laatuluokat, niiden perusteet, tarkennukset luokkaan hyväksynnälle sekä esimerkit eri laatuluokissa. ....	105
TAULUKKO 4-7.	Oppilaiden konstruointien voimakuvioiden laatuluokat, niiden perusteet, tarkennukset luokkaan hyväksynnälle sekä esimerkit eri laatuluokissa. ....	106
TAULUKKO 5-1.	Opetusjakson FY1 ensimmäisen opetettavan oppitunnin suunnitelma. ....	118
TAULUKKO 5-2.	Opetusjakson FY4 1. opetettavan oppitunnin suunnitelma .....	124
TAULUKKO 6-1.	Alkutestin FCI28 tulokset kokonaisuudessaan ja erikseen eri dimensioissa transferkouluissa. ....	130
TAULUKKO 6-2.	Opetusjakson FY1 oppilaiden konstruointien vuorovaikutuskaavioiden frekvenssien ja suhteellisten frekvenssien jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa.....	132

TAULUKKO 6-3.	Opetusjaksossa FY1 N3. lain alku- ja lopputestien kysymysten oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit transfer- ja vertailukouluissa.....	134
TAULUKKO 6-4.	Opetusjakson FY4 Newtonin 3 lain alku- ja lopputestien kysymysten oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit transfer- ja vertailukouluissa.....	137
TAULUKKO 6-5.	Opetusjakson FY1 oppilaiden konstruomien voimakuvioiden jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa.....	140
TAULUKKO 6-6.	Oppilaiden konstruomien voimakuvioiden jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa opetusjakson FY4 alkutestissä 4.....	141
TAULUKKO 6-7.	Oppilaiden konstruomien voimakuvioiden (7) jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa opetusjakson FY4 lopputesteissä 5 - 8.	142
TAULUKKO 6-8.	Opetusjakson FY1 lopputesteissä oikeiden voimakuvioiden suhteelliset frekvenssit eri liiketiloissa.....	144
TAULUKKO 6-9.	N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet eri liikelajeissa opetusjakson FY4 alkutestissä....	145
TAULUKKO 6-10.	Opetusjakson FY4 lopputesteissä N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden suhteelliset frekvenssit eri liiketiloissa.....	146
TAULUKKO 6-11.	Oppilaiden konstruomien vuorovaikutuskaavioiden suhteellinen jakautuminen eri laatuluokkiin opetusjaksossa FY1. ....	147
TAULUKKO 6-12.	Transferkoulujen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparien jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY1.. ....	150
TAULUKKO 6-13.	Vertailukoulujen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparien jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY1.. ....	150
TAULUKKO 6-14.	Transferoppilaiden FCI lopputestin tulokset kaikissa 28 tehtävässä ja erikseen eri aihealueissa. ....	156
TAULUKKO 6-15.	Molemmille opetusjaksoille osallistuneiden transferoppilaiden osaaminen kaikissa FCI28-tehtävissä ja sen eri aihealueissa alku- ja lopputestissä. ....	157
TAULUKKO 7-1.	Neljän muun tutkimuksen esittämän N3. lain osaaminen FCI-lopputestin monivalintatehtävissä verrattuna transferoppilaiden oppimiseen.....	161
TAULUKKO 7-2.	Rosengrantin ym. (2009, Taulukko IV, s. 6) tutkimuksesta laskettujen mekaniikan ongelmatehtävien yhteydessä konstruoitujen voimakuvioiden suhteellinen jakautuminen kolmeen kategoriaan.....	163

TAULUKKO 7-3.	Luotettavuuden ja uskottavuuden laadun kriteerit tutkimuksessa ja kriteerien saavuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet. ....	186
TAULUKKO 7-4.	Tilastolliset erot osaamisen eri alueilla heikoimman transferkoulun ja parhaimman vertailukoulun välillä opetusjaksossa FY1.. ....	192
TAULUKKO 7-5.	Tilastolliset erot osaamisen eri alueilla heikoimman transferkoulun ja parhaimman vertailukoulun välillä opetusjaksossa FY4. ....	192

# SISÄLLYS

ABSTRACT  
ESIPUHE  
KUVIOT JA TAULUKOT  
SISÄLLYS

1	TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET .....	15
1.1	Johdanto .....	15
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus .....	18
1.3	Opetusjaksojen aiheen valinta .....	19
2	TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	22
2.1	Opetuksen ja oppimisen teoreettisia näkökulmia .....	22
2.1.1	Sosiokulttuurinen näkökulma tiedon välittymiseen.....	24
2.1.2	Lähikehityksen vyöhyke ja tiedon yksilöllinen omaksuminen .....	28
2.2	Representaatiot opetuksessa ja oppimisessa .....	32
2.2.1	Erilaiset representaatiot mekaniikan opetuksessa .....	33
2.2.2	Erilaiset representaatiot oppimisen apuna.....	37
2.2.3	Neuvoja erilaisten representaatioiden käytölle .....	40
2.2.4	Vuorovaikutuskaavio työkaluna voimakäsitteen ymmärtämiseen .....	44
2.3	Newtonin mekaniikan opetuksen ja oppimisen haasteita.....	53
2.3.1	Newtonin lait .....	54
2.3.2	Newtonin 3. lain oppimisen vaikeuksia .....	55
2.3.3	Newtonin 2. lain oppimisen vaikeudet.....	64
2.3.4	Voimien tunnistamisen ja voimakuvion konstruoinnin vaikeuksia.....	71
2.4	Opetusjakson suunnittelu ja oppimisvaade .....	82
3	TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	91
4	TUTKIMUSMENETELMÄN TARKASTELU .....	95
4.1	Tutkimuksen vaiheet ja osallistujat.....	95
4.2	Tutkimusaineiston keruu .....	97
4.2.1	Alku- ja lopputesti.....	98
4.2.2	Opetuksen aikana suoritettavat testit.....	100
4.2.3	Oppituntien videointi .....	103
4.3	Tutkimusaineiston analysointi .....	104
4.3.1	Testitehtävät.....	104
4.3.2	Opetusjaksojen videomateriaalin analysointi .....	108
4.4	Tilastolliset menetelmät .....	109
4.4.1	Tilastollisen merkitsevyyden riippuvuustestit .....	109



4.4.2	Haken normeerattu kasvutekijä.....	110
4.4.3	Reliabiliteetin tilastollinen laskeminen.....	111
5	OPETUSJAKSOJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	113
5.1	Kurssien FY1 ja FY4 sisältö opetussuunnitelmassa .....	113
5.2	Erilaiset representaatiot opetuksen suunnittelussa .....	114
5.3	Ensimmäinen opetusjakso FY1 .....	116
5.3.1	Opetusjakson FY1 suunnitelma .....	116
5.3.2	Opetusjakson FY1 toteutus .....	119
5.4	Toinen opetusjakso FY4 .....	123
5.4.1	Opetusjakson FY4 suunnitelma .....	123
5.4.2	Opetusjakson FY4 toteutus .....	126
6	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	130
6.1	Alkutestin tulokset transferkouluissa.....	130
6.2	Oppimistulokset transfer- ja vertailukouluissa.....	131
6.2.1	Vuorovaikutuskaavioiden käyttö opetusjaksossa FY1.....	132
6.2.2	Newtonin 3. lain oppiminen opetusjaksossa FY1.....	133
6.2.3	Voimien tunnistaminen opetusjaksossa FY1.....	139
6.2.4	Oikean voimakuvion konstruointi .....	143
6.2.5	Vuorovaikutuskaavioiden käytön vaikutus oppimiseen.....	146
6.3	Lopputestin tulokset transferkouluissa.....	155
7	TUTKIMUSTULOSTEN JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUKSEN POHDINTAA .....	158
7.1	Tutkimustulosten yhteenveto ja vertailu .....	158
7.2	Tutkimustulosten merkitys ja johtopäätökset .....	168
7.2.1	Newtonin 3. lain oppiminen.....	168
7.2.2	Voimien tunnistaminen ja oikea voimakuvio.....	172
7.3	Opetusjaksojen suunnittelu ja toteutus .....	177
7.4	Tutkimuksen luotettavuus ja uskottavuus .....	185
7.4.1	Objektiivisuus ja vahvistettavuus.....	187
7.4.2	Luotettavuus .....	188
7.4.3	Sisäinen validiteetti.....	190
7.4.4	Tulosten luotettavuus ja uskottavuus eri aihealueiden osaamisessa .....	191
7.4.5	Ulkoinen validiteetti .....	193
7.4.6	Hyödynnettävyys ja siirrettävyys.....	194
7.5	Vuorovaikutuskaavion käytön edut voimakäsitteen opetuksessa..	195
7.6	Jatkotutkimusaiheita .....	198
	SUMMARY .....	200
	TIIVISTELMÄ .....	203
	LÄHTEET .....	206
	LIITTEET.....	218

# 1 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

## 1.1 Johdanto

Tutkimus selvittää, paraneeko lukion opiskelijoiden käsitteellinen ymmärrys voimakäsitteestä, ja miten he oppivat Newtonin 3. lain, voimien tunnistamisen ja voimakuvion konstruoinnin, kun opetuksessa käytetään apuna vuorovaikutuskaaviota. Vuorovaikutuskaavio on visuaalinen representaatio, jonka avulla havainnollistetaan kappaleiden välisiä vuorovaikutuksia ja vuorovaikutuksista syntyviä voimia (ks. kuvio 2 - 4, s. 45). Tutkimus kohdistuu voimakäsitteen ja Newtonin lakien opetusjaksoihin kahdessa lukion fysiikan kurssissa. Opetuksen toteuttivat opettajat, jotka eivät ole itse olleet mukana suunnittelemassa opetusjaksoja. Tutkijan suunnittelemissa opetusjaksoissa kiinnitetään erityistä huomiota vuorovaikutuskaavion käyttöön edellä mainittujen aihealueiden opetuksessa. Kaikki oppilaat käyttivät samaa oppikirjaa, jossa myös esitellään vuorovaikutuskaavion käyttöidea. Opettajia, jotka toteuttivat opetuksen tutkijan suunnitelman mukaisesti, kutsutaan transferopettajiksi, ja kouluja ja sen oppilaita kutsutaan vastaavasti transferkouluiksi ja transferoppilaisiksi. Niitä opettajia, jotka opettivat vastaavat opetusjaksot oman suunnitelmansa ja oppikirjan pohjalta, sanotaan vertailuopettajiksi. Tutkimuksessa verrataan erilaisen suunnitelman pohjalta opetettujen oppilaiden oppimista transferkouluissa ja vertailukouluissa.

Fysiikan opettajat ovat usein pettyneinä joutuneet huomaamaan, kuinka heikoksi oppilaiden käsitteellinen ymmärtäminen voimakäsitteestä on opetuksen jälkeen jäänyt (Brown, 1989; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Redish & Steinberg, 1999). Onkin aiheellista kysyä miksi sitten näin on, ja mitä sen hyväksi voisi tehdä? Fysiikkaa on perinteisesti pidetty oppiaineena, jossa korostetaan fysiikan käsitteiden määritelmiä ja ongelmien ratkaisuja matemaattisten yhtälöiden avulla (Redish & Steinberg, 1999; Mulhall & Gunstone, 2008). Toisaalta fysiikan oppiminen sisältää vaikeuksia, jotka johtuvat fysiikan erityisestä luonteesta, abstraktista ja idealisoidusta tavasta mallintaa fysiikkaa. Lisäksi fysiikka on oppiaine, johon oppilailla on alhaisin kiinnostus tieteiden joukossa.

Oppilaat, erityisesti tytöt, pitävät fysiikkaa ei ainoastaan hyvin abstraktina, monimutkaisena ja vaikeana vaan myös epäintuitiivisena ja käsittämättömänä. (Duit, Niedderer & Schecker, 2007.) Tällaisesta opiskelijan ajattelun vaikeudesta siihen, miten voima vaikuttaa liikkeeseen, ovat Lunetta, Hofstein ja Clough (2007) esittäneet kuvaavan esimerkin viitaten lähteeseen (Rowe & Holland, 1990, s. 87):

”Mitä on se peli, jota luonnontieteilijät pelaavat? Jos minä työnnän kappaleen liikkeelle, se jatkaa liikettään ikuisesti tai kunnes joku työntää sen takaisin minulle. Jokin voi nähdä, ettei se ole totta. Jos sinä et jatka työntämistä, kappaleet pysähtyvät. Sitten he sanovat että se olisi totta, jos maailma olisi ilman kitkaa, mutta se ei ole, ja jos siellä ei olisi yhtään kitkaa, kuinka minä voisin työntää sen ensimmäiseen paikkaan? Näyttää siltä, kuin he vain vaihtaisivat sääntöjä kaiken aikaa”.

Fysiikan oppiminen on siis paitsi älyllinen myös emotionaalinen prosessi (Anderson, 2007).

Tutkimukset, joita käsitellään luvussa 2.4, ja omakohtainen kokemus luki-on fysiikan opettajana osoittavat, että yksi vaikeaksi koettu kurssi on mekaniikka, jonka perusta on Newtonin peruslaeissa ja voimakäsitteen ymmärtämisessä. Jos fysiikan oppiaineeseen valinnut oppilas kokee sen vaikeaksi, hän saattaa keskeyttää fysiikan opiskelunsa lukiossa. Tämä ei edistä sitä tavoitetta, että saadaan riittävästi matematiikkaa ja fysiikkaa opiskelleita jatko-opiskelijoita, joita yhteiskunnan hyvinvointi ja teknologinen kehitys edellyttävät. Redish ja Steinberg (1999) antavat ohjeeksi, että kun opettaja havaitsee opetuksessaan ongelmia, on ryhdyttävä tutkimaan opetusta. Mitä opetetaan ja kuinka tieto oppilaille esitetään? Mitä oppilaat oppivat ja kuinka voidaan ymmärtää sitä, mitä oppilaat ajattelevat ja tekevät?

Vaikka aihealueen, voima ja liike, oppimisen vaikeudet ovat laajasti tutkittuja ja tunnettuja, ja erilaisia opetusmetodeja on myös tutkittu, ongelman ratkaisu tarvitsee edelleen uutta opetuksen ja oppimisen tutkimusta. Oppilaiden arkielämän kokemuksista nousevat virheelliset käsitykset ovat niin pysyviä, että perinteisillä opetusmenetelmillä ei ole saatu aikaan merkittävää muutosta naiivista käsityksestä newtonilaiseen käsitykseen. Tämä on ongelma niin oppilaille kuin opettajallekin. Oppilaat turvautuvat irrallisten tiedonpalasten ulkoistamiseen ja merkityksettömiltä tuntuvien tehtävien suorittamiseen selviytyäkseen mekaniikan kurssista (Hestenes ym., 1992), ja tiedon integrointi ja käsitteiden välinen yhdistäminen epäonnistuvat (Franco, Muis, Kendeou, Ranelucci & Sampasivam, 2012). Seurauksena on, että oppilaat saattavat ymmärtää useimmat klassisen fysiikan perusteet systemaattisesti väärin (Hestenes ym., 1992). Tutkimuksissa on tähän mennessä Francon ym. (2012) mukaan kiinnitetty vain vähän huomiota oppimateriaalien sisältöjen tiedon representaatioihin ns. episteemisten uskomusten yhteydessä. Episteemisellä uskomuksella tarkoitetaan yksilön omaa uskomusta tiedon luonteesta ja tietämisestä (Muis, 2007).

Ainsworthin (1999) mukaan erilaiset representaatiot (ks. luku 2.2.1) tarjoavat uusia mahdollisuuksia luoda oppilaassa motivaatiota, mielenkiintoa ja ymmärrystä oppimista kohtaan. Lisäksi Stephens ja Clement (2010) ovat saaneet viitteitä siitä, että lukion oppilaiden luonnontieteellisten ajatteluprosessien

mukana olisi spontaania kuvallista ilmaisua, kuten mentaalinen kuvakieli, animoitu mentaalinen kuvakieli ja eleet, ja siksi kuvallisen representaation rooli tulevaisuuden fysiikan oppimisen tutkimuksissa täytyisi ottaa vakavasti. Hubber, Tytler ja Haslam (2010) esittävät, että voimakäsitteen käsitteelliset vaikeudet olisivatkin pohjimmiltaan representaatioista johtuvia.

On näyttöä, että vuorovaikutuskaavion kaltaisen visuaalisen representaation käyttö tutkijan omassa opetuksessa parantaa oppilaiden osaamista Newtonin 3. lain ymmärtämisessä (Hinrichs, 2005; Savinainen, Scott & Viiri, 2005). Monissa tutkimuksissa tutkija on ollut kuitenkin itse myös opettajana tai ollut läheisessä yhteydessä tutkimusryhmän kanssa, millä saattaa olla vaikutusta oppimistuloksiin; lisäksi tutkimuksissa yleensä puhutaan melko vähän opettajan roolista opetuksessa (Leach, Amettler, Hind, Lewis & Scott, 2003). Tähän aiheeseen palataan tarkemmin luvussa 2.4. Koska oppimistulokset ovat parantuneet edellä mainittujen tutkijoiden omassa opetusryhmissä, on selkeä tarve täydentää tutkimusta tutkimalla, miten vuorovaikutuskaavio toimii transferopettajien opetuksessa. Tämä on tutkimusmetodisesti tärkeä asia, sillä transferopettajien käyttö tarjoaa mahdollisuuden tutkia oppimista ja opetuksen suunnitelman toteutusta normaalissa kouluympäristössä.

Lisäksi on esitetty tutkimuksia, joiden mukaan voimakuvioiden konstruointi auttaa oppilasta ratkaisemaan mekaniikan ongelmatehtäviä oikein (Rosengrant, Van Heuvelen & Etkina, 2009; Ayes, Qamhieh & Abdelfattah, 2010). Aikaisemmin ei ole kuitenkaan esitetty tutkimuksia, jotka selvittävät millainen yhteys vuorovaikutusten tunnistamisella on voimakuvioiden eli vapaakappalekuvioiden konstruoinnin osaamiseen. Tämä tutkimus antaa siten uutta tietoa näiden käsitteiden välisestä yhteydestä voiman ja liikkeen opetuksessa ja oppimisessa. Aikaisemmissa Newtonin 3. lain tutkimuksissa ei ole myöskään tarkasteltu oppilaiden osaamista voima- ja vastavoimaparin tunnistamisessa.

Lapsen tai opiskelijan tiedon muodostusta ja oppimista tarkastellaan sosiokulttuurisesta näkökulmasta katsottuna. Lapsi oppii jo varhaisessa vaiheessa muodostamaan käsityksensä luonnontieteen käsitteistä, sillä tiedon muodostus liittyy keskusteluun ja toimintaan siinä sosiaalisessa yhteisössä, mihin yksilö osallistuu (Vosniadou, 1994; Tynjälä, 2000; Säljö, 2001). Tällöin opitaan kokemuksen kautta hahmottamaan maailmaa, tulkitsemaan havaittuja ilmiöitä ja ymmärtämään ympärillä olevaa maailmaa tietyllä tavalla (Tynjälä, 2000; Hatanō & Inagaki, 2000; Säljö, 2001). Lisäksi arkikielessä sana voima samaistetaan eri merkitystä tarkoittaviin sanoihin, kuten vahvuus, teho ja työ, mikä vaikeuttaa käsitteen tieteellistä ymmärtämistä (Jammer, 1999). Tällöin oppilaalle muodostunut tieto voimakäsitteestä saattaa olla ristiriidassa sen luonnontieteellisen tiedon kanssa, mitä koulussa opetetaan. Tällaista tieteelliselle käsitykselle ristiriidassa olevaa käsitystä nimitetään tässä tutkimuksessa virheelliseksi käsitykseksi, jolle on käytetty myös muita nimityksiä, kuten naiivi käsitys tai ennakkokäsitys.

Sosiokulttuurisessa näkemyksessä tiedon ajatellaan välittyvän sitä välittävien välineiden avulla. Yksi tällaisista fysiikan opetuksessa käytetyistä välineistä ovat erilaiset representaatiot. Koska voimakäsitteen on todettu oppilaiden

mielessä olevan kappaleen sisäinen tai hankittu ominaisuus mm. (Brown, 1989; Hestenes ym., 1992), niin syntyneen virheellisen käsityksen muuttamiseksi on opetuksessa vaihdettava näkökulmaa. Vuorovaikutuskaavio korostaa voiman syntyvän vain ja ainoastaan kahden kappaleen välisestä vuorovaikutuksesta. Tässä tutkimuksessa vuorovaikutuskaaviota pidetään tieteellistä tietoa välittävänä välineenä. Vuorovaikutuskaavion käytöllä voiman ja liikkeen opetuksessa haetaan ratkaisua ongelmaan, jossa edelleen vallitsevat vahvat virheelliset käsitykset onnistuttaisiin muuttamaan tieteellisiksi käsityksiksi.

Suunnitellut opetusjaksot pohjautuvat Leachin ja Scottin (2002) esittämään ”learning demand”-nimiseen teoreettiseen näkemykseen opetus- ja oppimisjakson suunnittelusta. ”Learning demand”, josta käytetään käännoä oppimisvaade, korostaa virheellisten käsitysten huomioimista opetuksen suunnittelussa. Lisäksi se yhdistyy hyvin sosiokulttuuriseen näkemykseen oppimisesta. Leach ja Scott (2002) korostavat sosiaalisen kielen ja sen sisältämän merkitysten eroja enemmän kuin yksilön mentaalisia mekanismeja. Sosiaalinen kieli voi olla toisaalta ihmisten kesken käyttämä arkipäiväinen kieli ja toisaalta tietyn ryhmän kuten fyysikoiden käyttämä kieli puhuttaessa tietystä fysiikan ilmiöstä tai käsitteestä. Nämä kielet voivat olla merkitykseltään erilaisia. Opettajan roolia oppilaiden ymmärryksen tarkkailijana ja heidän ymmärryksensä vastaajana pidetään tällöin keskeisenä. (Leach & Scott, 2002.) Opetusjaksojen suunnittelussa on käytetty hyväksi myös aikaisempia fysiikan opetuksen tutkimuksia mm. (McDermott, Schaffer & P.E.G. at University of Washington, 2002; Knight, 2004).

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, auttaako vuorovaikutuskaavion käyttö voimakäsitteen opetuksessa oppilaita parempaan Newtonin 3. lain osaamiseen, ja osaavatko oppilaat tällöin tunnistaa kappaleeseen kohdistuvat voimat ja konstruoida siten Newtonin 2. lain mukaan oikean voimakuvion. Tutkimuksessa mukana olleet transferopettajat opettivat opetuksen suunnitelman mukaan, missä vuorovaikutuskaaviota käytettiin useammin kuin oppikirjassa. Täten tutkimuksessa myös selvitetään, onko transfer- ja vertailukoulujen välillä eroja osaamisessa, ja lisäksi arvioidaan erilaisen oppimisen syitä.

Tutkimusta varten suunniteltiin kahden fysiikan opetusjakson toteutus lukion FY1 ja FY4 -kurssien (Opetushallitus, OPH, 2003) opetuksessa. Opetusjaksot käsittelivät voimakäsitteen ja Newtonin lakien opetusta. Tutkimukseen osallistui vuosina 2006 – 2009 Länsi-, Keski- ja Itä-Suomesta viidestä lukiosta kustakin yksi opetusryhmä. Lukiot olivat pieniä, keskikokoisia ja suuria yleislukioita. Kolmelle transferopettajalle annettiin tutkijan suunnittelema molempien opetusjaksojen opetuksen suunnitelma, joka sisälsi opetettavat aihealueet, niiden kestot ja lyhyen opetuksen toteutusesityksen mukaan lukien esimerkit, oppikirjan tuntitehtävät, harjoitusmonisteita, oppimisaktiviteetti ryhmässä, demonstraatioehdotus ja kotitehtävät oppitunneittain. Opetuksen suunnitelma ei ollut kovin yksityiskohtainen, jotta opettaja pystyisi sen itsenäisesti ja helpos-

ti toteuttamaan. Suunnitelmassa ei annettu ohjeistusta myöskään opettajan käyttämälle puheelle. Lisäksi kaksi vertailukoulun opettajaa opetti opetusjaksot oman suunnitelmansa pohjalta. Kaikissa kouluissa oli käytössä sama vuorovai-  
 kutuskaavion käytön esittämä oppikirja (Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri & Yrjänäinen, *Physica 1 ja 4*, 2004, 2005). Kaikki tutkimuksessa mukana olleet opettajat olivat kokeneita lukioiden opettajia. He olivat toimineet lukion fysiikan opettajina vähintään seitsemän vuotta, ja he olivat käyttäneet opetuksessaan oppikirjaa ja siinä esitettyä vuorovaikutuskaaviota vähintään kahden vuoden ajan. Transferopettajille ei annettu muuta opetuksen toteutuksen ohjeistusta kuin kirjallinen suunnitelma, mutta kaikille opettajille annettiin lyhyt kirjallinen ohjeistus laadittujen testien toteuttamiseen. Transferopettajien opetus videoitiin.

Tutkimuksen hypoteesina on, että vuorovaikutuskaavion käyttöönotto voimakäsitteen opetuksessa lisää oppilaan syvällisempää ymmärrystä vuorovaikutusten yhteydestä voimakäsitteeseen ja on siten hyödyllinen tutkimuskohde. Tutkimuksen tulokset edesauttavat opettajaa ymmärtämään oppilaan oppimisen ongelmia mekaniikan opetuksessa ja antavat työvälineitä voimakäsitteen opettamisen ja oppimisen kehittämiseen. Tuloksia voidaan hyödyntää myös opettajankoulutuksessa. Samoin tutkimus antaa viitteitä siitä, miten uuden opetusmenetelmän ja opetusvälineen käytön siirto koulumaailmaan onnistuisi.

### 1.3 Opetusjaksojen aiheen valinta

Lukion fysiikan opetuksessa mekaniikka on keskeisessä asemassa, sillä siihen käytetään lukion fysiikan opetussuunnitelman valtakunnallisista kahdeksasta kurssista kaksi kokonaista kurssia: FY4 Liikkeen lait ja FY5 Pyöriminen ja gravitaatio (OPH, 2003). Lisäksi mekaniikan osaamisella on tärkeä merkitys muidenkin fysiikan aihealueiden oppimisessa, sillä se määrittelee fysiikan olennaisimmat työkalut mm. vuorovaikutuksen ja voiman (Galili, 1995). On myös esitetty, että joidenkin fysiikan oppimisessa havaittujen vaikeuksien voidaan tulkita olevan peräisin fysiikan eri aihealueilla käytetyistä erilaisista lähestymistavoista (Galili, 1995). Esimerkiksi sähkömagnetismissa voimavaikutuksen opetetaan välittyvän kenttien välityksellä ja mekaniikassa voiman, toivon mukaan, opetetaan syntyvän vuorovaikutuksen kautta (Galili, 1995). Tämä työkalun vaihto saattaa Galilin (1995) mukaan haitata oppilaan jo muutenkin haurasta voiman käsitteellistä oppimista.

Tutkimukseen valittu aihe on tärkeä ainakin kahdesta syystä: Ensiksi voimakäsite ja Newtonin lait ovat niin keskeisessä osassa lukion fysiikan opetuksessa ja toiseksi tutkimukset mm. (Champagne, Klopfer & Anderson, 1980; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985) ja omakohtainen kokemus ovat vahvistaneet, että voiman ja liikkeen oppiminen tuottaa oppilaille suuria vaikeuksia. Lisäksi vaikka tältä aihealueelta on runsaasti tutkimuksia, joissa esitetään oppilaiden osaamisessa kehittymistä, niin vielä ei ole esitelty suomalaisiin luki-oihin soveltuvaa opetusmetodia, jolla oppimisen esteet pystyttäisiin, jos ei täy-

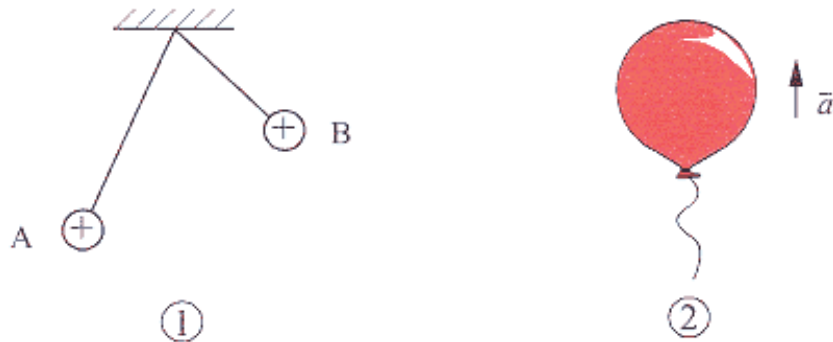


sin voittamaan niin ainakin merkittävästi niitä vähentämään. On siis hyödyllistä ja tarpeellista jatkaa voiman ja liikkeen opetuksen ja oppimisen tutkimista.

Voimakäsitteeseen ja Newtonin lakeihin liittyviä virheellisiä käsityksiä on paljon tutkittu, joten tässä tutkimuksessa ei etsitä uusia virheellisiä näkemyksiä vaan selvitetään auttaako opetuksessa käytetty visuaalinen työkalu, vuorovaikutuskaavio, muuttamaan oppilaiden virheellisiä käsityksiä newtonilaisen ajattelun mukaisiksi. Useat tutkijat mm. (Brown, 1989; Hellingman, 1989; Hestenes ym., 1992) ovat todenneet vahvasti, että koska perinteisellä opetuksella näyttää olevan valitettavan vähäinen vaikutus oppilaiden voimakäsitteen ymmärtämiseen, on tarpeen esittää voimakäsite siten, että se sisältää Newtonin 3. lain syvällisen ymmärtämisen eli voimat syntyvät vain kahden kappaleen välisessä vuorovaikutuksessa (Brown, 1989). Tämän asian huolellinen opettaminen vuorovaikutuskaavion avulla, vuorovaikutuksista käsin, pitäisi johtaa voimakäsitteen parempaan, tieteelliseen ymmärtämiseen.

Mekaniikan ongelmaratkaisutaitoja on myös paljon tutkittu; mm. (Chi, Glaser & Rees, 1982; Heller, Keith & Anderson, 1992). Tässä tutkimuksessa rajoitutaan tarkastelemaan vain Newtonin 2. lain mukaisen oikean voimakuvion konstruoinnin oppimista, joten varsinaista Newtonin 2. lain sovellustaitoa ongelman ratkaisussa ei käsitellä, vaikkakin ongelmaratkaisu tyypillisesti perustuu oikean voimakuvion konstruointiin.

Aiheen valintaan vaikutti myös oma turhautuminen oppilaiden osamattomuuteen erityisesti tässä aihealueessa ja omaan kykyyn opettaa niin, että oppilaat osaisivat soveltaa oppimaansa eri konteksteissa. Kevään 2003 fysiikan ylioppilaskokeessa kysyttiin voimia ja Newtonin 3. lain voimapareja (kuvio 1-1).



Kuva 1 esittää keveiden lankojen varassa riippuvia sähköisesti varattuja palloja A ja B ja kuva 2 vapaaksi päässyttä heliumtäytettyä ilmapalloa.

- Piirrä kuviot, joista ilmenevät palloon A ja ilmapalloon vaikuttavat voimat, ja nimeä voimat. Kiinnitä huomiota voimien keskinäisiin suuruuksiin.
- Selitä, mitkä ovat näiden voimien Newtonin 3. lain mukaiset vastavoimat, ja kerro, mihin ne vaikuttavat.

KUVIO 1-1. Fysiikan ylioppilaskoetehtävä 3 keväältä 2003.

Fysiikan jaoksen puheenjohtaja (Arminen, 2003, s. 51) kirjoitti tehtävien suorituksia arvioidessaan seuraavasti:

*”Ilmeisesti koulumaailmassa ei kuitenkaan vieläkään tarkastella voimia vuorovaikutuksista lähtien, sillä vastavoimien selittäminen onnistui todella huonosti. Samaan viittaa myös se, että useat opettajat pitivät tehtävää vaikeana juuri b-kohdan vuoksi.”* Lopussa hän toteaa: *”Vastausten pistekeskisarvo oli 3,14. Tulos on varsin masentava, kun otetaan huomioon kuinka keskeistä asiaa tehtävässä testattiin.”*

Tähän haasteeseen tällä tutkimuksella pyritään vastaamaan.

On esitetty myös näkemys, että useimmilla opettajilla olisi taipumus opettaa niin kuin heitä itseään on opetettu (McDermott, 1997). Lisäksi opettajan näkemysten muuttaminen on tutkimusten mukaan osoittautunut olevan pitkä prosessi (Duit ym., 2007). Tutkijat toteavatkin, että voidakseen suunnitella tehokkaamman opetuksen lähestymistavan on välttämätöntä tutustua fysiikan opetuksen käytäntöihin ja siksi tarvitaan normaalin fysiikan opetuksen käytäntöihin liittyvää tutkimusta (Duit ym., 2007).

Tutkijana olen kiinnostunut etsimään keinoja, joilla voimakäsitemin oppimiseen liittyviä vaikeuksia voitaisiin ehkäistä. Samalla haluan kehittyä opettajana tutustumalla tutkimuksen antamiin löytöihin esimerkiksi oppilaiden virheellisistä ajattelutavoista. Opetuksen ja oppimisen teorian avulla opettajaa syventämään näkemystään fysiikan opetuksesta ja oppimisesta sekä vastaavasti kehittämään opetuskäytäntöjään. Näiden avulla voidaan lähestyä tavoitetta, jossa oppilaiden syvään juurtuneita virheellisiä käsityksiä voimakäsitemin onnistuttaisiin muuttamaan tieteellisiksi.



## 2 TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tarkastellaan aluksi oppimisen aikaisempia teorioita ja nykyisin vallalla olevaa sosiokulttuurista näkökulmaa. Tässä tutkimuksessa oppimisen teoreettinen viitekehys pohjautuu sosiokulttuuriseen näkökulmaan, jonka mukaan oppiminen tapahtuu välineiden ja ihmisten välisen sosiaalisen vuorovaikutuksen välityksellä. Erilaiset representaatiot ovat fysiikan opetuksessa käytettäviä välineitä, joilla on todettu olevan vaikutusta oppimiseen. Näitä erilaisia representaatioita, joihin myös vuorovaikutuskaavio lukeutuu, esitellään luvussa 2.2. Luvussa 2.2.4 esitellään tutkimuksessa käytettyä vuorovaikutuskaaviota. Samalla tarkastellaan tutkijoiden esittämiä muita tapoja systeemin rakenteen ja vuorovaikutusten kuvaamiseen. Luvussa 2.3 esitellään aikaisempien tutkimusten antamia havaintoja oppilaiden vaikeuksista oppia Newtonin 3. ja 2. lakia, tunnistaa kappaleeseen kohdistuvia voimia ja konstruoida voimakuvio oikein. Luvun lopussa esitellään opetuksen suunnittelun teoriana käytettyä oppimisvaadetta ja sitä, miksi opetuksen tutkimuksessa on hyvä käyttää transferopettajia opetuksen toteuttajina.

### 2.1 Opetuksen ja oppimisen teoreettisia näkökulmia

Käsitys oppimisesta on käynyt 1900-luvulla läpi tärkeitä kehitysvaiheita. Pavlovin eläinten ehdollistumisreaktioita koskevat tutkimukset loivat pohjaa käsitykselle, jossa ehdollistumista pidettiin selityksenä oppimiselle (Nevgi & Lindholm-Yläne, 2002). Behavioristisen näkemyksen mukaan oppiminen koostuu muutoksesta käyttäytymisessä, joka perustuu ulkoisten ärsykkeiden ja käyttäytymisreaktioiden väliseen assosiaatioon. Oppijalle esitetään tiettyjä ärsykeitä (opettajan kysymys), joihin hän oppii reaktion (vastaus) vahvistamisen tai sammuttamisen seurauksena reagoimaan tietyllä tavalla. Opettaja suunnittelee opiskeltavan kokonaisuuden sisältävän opetuksen, jossa käsitteet, asiat ja faktat esitetään loogisessa järjestyksessä. Oppija etenee osatehtävä kerrallaan saaden siitä välittömän palautteen. Opettaja siirtää tärkeinä pitämänsä asiat oppijoille

ja oppiminen etenee pienistä osista kohti laajempia kokonaisuuksia. Behaviorismissa oppiminen ilmenee oppijan suorituksissa ulkoisesti havaittavina muutoksina, joihin voidaan myös arviointimenetelmällä vaikuttaa. (Dumont, Istance & Benavides, 2010; Nevgi & Lindholm-Ylänne, 2002; Tynjälä, 2000.)

Kognitivismissa (kognitiivinen psykologia) huomio kiinnittyy sen sijaan oppijan mielen sisäisiin prosesseihin ja tiedon muodostukseen. Ihmisen tiedon käsittelykapasiteetin on todettu olevan rajallisen, mikä on johtanut muistin tutkimukseen ja työmuistin ja pitkäaikaismuistin erotteluun (Nevgi & Lindholm-Ylänne, 2002). Oppimista ajatellaan jopa tietokoneen kaltaisena toimintona (Tynjälä, 2000). Oppija nähdään informaation prosessoijana, joka vastaanottaa informaation, suorittaa sille kognitiivisia operaatioita ja varastoi sen muistiin (Dumont ym., 2010). Informaation prosessoinnin korostaminen johtaa oppimisenäkemykseen, jossa tiedon hankinta tapahtuu melko passiivisella tavalla (Dumont ym., 2010). Luennointi ja tekstikirjojen lukeminen ovat opetuksen suosituimmat menetelmät (Dumont ym., 2010). Kouluoppimisessa onkin kiinnitetty huomiota pitkäaikaismuistin parantamiseen ja käytetty siksi muistamista helpottavia tekniikoita mm. informaation osittaminen sopiviin paloihin ja kertominen tai tiedon jäsentäminen ja ryhmittely käsittekarttojen avulla (Tynjälä, 2000). On myös painotettu, että opittavat asiat tulisi esittää usealla eri tavalla ja eri yhteyksissä (Tynjälä, 2000). Näiden avulla oppija oppii paremmin hallitsemaan laajempia kokonaisuuksia.

Konstruktivismi pitää sisällään useita oppimisenäkemyksiä, joissa painotuu oppijan oma aktiivinen tiedonmuodostamisen prosessi (Nevgi & Lindholm-Ylänne, 2002; Tynjälä, 2000). Konstruktivistisen käsityksen mukaan tietoa ei voida sellaisenaan välittää oppijalle, vaan oppijalla on aktiivinen rooli tiedon konstruoinnissa (Dumont ym., 2010). Tieto ei voi olla koskaan tietäjästä riippumaton objektiivista heijastumaa maailmasta, vaan se on aina yksilön tai yhteisöjen itsensä tulkitsemää ja rakentamaa (Tynjälä, 2000). Oppiminen on oppijan aktiivista kognitiivista toimintaa, jossa hän tulkitsee havaintojaan ja uutta tietoa aikaisemman tietonsa ja kokemustensa pohjalta (Tynjälä, 2000). Keskeistä on oppijakeskeinen lähestymistapa, jossa korostuvat yksilölliset erot oppimisprosessissa ja opettajasta tulee oppimisen kognitiivinen opas sen sijaan, että hän olisi tiedon siirtäjä (Dumont ym., 2010). Opettajan tai oppimateriaalin tehtävänä ei ole vain välittää tietoa sellaisenaan, kopiona, vaan oppija rakentaa itse oman merkityksensä opetettavasta asiasta (Tynjälä, 2000).

Sekä behaviorismille että kognitivismille on ominaista se, että ne eivät kykene antamaan vastauksia siihen, miten uusi tieto siirtyy oppimistilanteessa ihmisen mieleen käsittelyä ja rakentamista varten (Enkenberg, 2000). Viime vuosikymmenen lopulla konstruktivistinen näkemys muuntui korostamalla oppimistilanteen tärkeää roolia, jolloin syntyi sosiokonstruktivistinen käsitys oppimisesta. Tieto ja oppiminen ymmärretään vuorovaikuttavina aktiviteetteina oppijan ja tilanteen välillä. Tiedon rakentumista tarkastellaan toisaalta oppijan psykologisina prosesseina ja toisaalta oppimiseen vaikuttavan sosiaalisen yhteisön ja tilanteen näkökulmasta, joiden ajatellaan olevan reflektiivisessä suhteessa toisiinsa. Tämä erottaa sosiokonstruktivistisen näkökannan sosiokulttuurisesta

näkökulmasta, jossa etusijalla ovat sosiaaliset ja kulttuurilliset prosessit. (Dumont ym., 2010.)

Vaikka pitkään vallassa olleella konstruktivistisella oppimiskäsityksellä ja sosiokulttuurisella näkökulmalla on yhtäläisyyksiä, kuten se, että tiedon rakentuminen ja oppiminen tapahtuu aktiivisessa kontekstissa, niin monissa peruskysymyksissä on myös eroja (Hall, 2007). Konstruktivismissa perusyksikkö on yksilö, kun taas sosiokulttuurisessa näkökulmassa se on yksilö sosiaalisessa vuorovaikutuksessa. Konstruktivistisessä lähestymistavassa oppija toimii ensin yksin ja vasta sitten vuorovaikutuksessa muiden kanssa ja vastaa omasta oppimisestaan, kun sosiokulttuurisessa lähestymistavassa asia on päinvastoin, oppiminen ja tiedonmuodostus tapahtuvat sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja yksilö vastaa myös muiden oppimisesta. Konstruktivismissa toiminnan nimeetään johtavan oppimiseen ja sosiokulttuurinen lähestymistapa esittää ensin oppimista ja vasta sen jälkeen toimintaa, joka edistää oppijan pätevyyttä ja kognitiivista kehitystä. (Hall, 2007; Nevgi & Lindholm-Ylänne, 2002, s. 113.)

### 2.1.1 Sosiokulttuurinen näkökulma tiedon välittymiseen

Sosiokulttuurinen näkökulma perustuu pitkälti Lev Vygotskyn ajatuksiin ihmisen toiminnasta ja sen välittymisestä (Wertsch, Rio & Alvarez, 1995; Leach & Scott, 2003). ”Sosiokulttuurisen lähestymistavan tavoite on tulkita ihmisen mentaalisen toiminnan ja toiminnan sisältävien kulttuurillisten, institutionaalisten ja historiallisten tilanteiden välisiä suhteita” (Wertsch ym., 1995, s. 3, 11). Wells (2007) toteaa sosiokulttuurisen lähestymistavan tutkijoiden muodostaneen joukon toisiaan täydentäviä perspektiivejä keskeiseen kysymykseen: ”Miksi ja kuinka ihmiset tunnusmerkillisesti rakentavat identiteettiään ja arvojaan, tietoja ja taitoja, jotka vaikuttavat välillisesti heidän osallistumiseensa suuremman yhteisön, jonka jäseniä he ovat, toimintoihin?” (Wells, 2007).

Sosiokulttuurisesta näkökulmasta katsottuna tietoa ei voida ajatella totena vain silloin kun se vastaa objektiivista maailmaa, ikään kuin kuvana maailmasta, vaan tiedon muodostus liittyy keskusteluun ja toimintaan sosiaalisissa yhteyksissä (Tynjälä, 2000; Säljö, 2001). Tällöin on mahdollista, että oppilaille muodostunut tieto todellisuuden ja käsitteen suhteesta on erilainen kuin tieteellinen käsitys (Hatano & Inagaki, 2000; Säljö, 2001). Tämä havaitaan mm. oppilaalle muodostuneena virheellisenä käsityksenä: ”voima aiheuttaa liikkeen”.

Sosiokulttuurisen lähestymistavan mukaan oppimista ei voi pitää vain yksilön mentaalisisissa rakenteissa tapahtuvana muutoksena vaan oppiminen nähdään yhteisössä toimimisen myötä tapahtuvana sisäistymisen prosessina sosiaaliselta tasolta yksilölliselle tasolle (Mortimer & Scott, 2003; Leach & Scott, 2003). Täten oppimisprosessiin vaikuttaa myös se, miten yhteiskunnassa yleisesti välitetään tietoja ja taitoja. Oppimista tapahtuu koulun lisäksi muissakin yhteyksissä, kotona perheen parissa, vapaa-ajalla ystävien seurassa ja yhdistyksissä sekä työpaikoilla (Säljö, 2001; Wells, 2007). Näissä erilaisissa yhteisöissä, joihin osallistumme, yksilö kohtaa erilaisia arvoja, uskomuksia ja toiminnan normeja (Wells, 2007). Ne vaikuttavat tavoilla, jotka rikastavat ja mahdollisesti muuttavat yhteisön käytäntöjä ja samalla mahdollistavat yksilön identiteetin

rakenteen muuttamisen (Wells, 2007). Täten arkipäiväiset tapahtumat, erilaiset viestinnälliset ja fyysiset toiminnot itsessään opettavat ja näissä osallistumisen prosesseissa saadaan valmiuksia tulevien vastaavien tilanteiden osallistumiseen (Rogoff, 1995; Säljö, 2001; Wells, 2007). Tämä näkyy selvästi oppilaan vaikeutena ymmärtää voimakäsitteen tieteellinen luonne, sillä he pitävät vahvasti kiinni arkikäsitteistään muodostaessaan käsityksensä voimasta (Hestenes ym., 1992; Vosniadou, 1994; Chi, Slotta & Leeuw, 1994).

Sosiokulttuurisessa lähestymistavassa keskeisiä käsitteitä ovat tiedon välittyminen ja tietoa välittävät välineet (Wertsch ym., 1995; Säljö, 2001). Näitä tietoa välittäviä välineitä nimitetään myös artefakteiksi, jollaisena myös vuorovaikutuskaaviota voidaan pitää (Wertsch ym., 1995; Säljö, 2001). Tiedon välittymisellä on eri sosiaalisten ja kulttuurillisten ympäristöjen kontekstissa diskursiivinen luonne, joten opettajan, oppilaiden ja oppimisympäristön dialoginen suhde saavat sosiokulttuurisessa näkökulmassa korostetun aseman (Säljö, 2001; Mercer, Dawes, Wegerif & Sams, 2004; Wells, 2007).

Tiedon luonnetta, sen välittymistä artefaktien välityksellä, ja oppimista sosiokulttuurisesta näkökulmasta tarkasteltuna käsitellään tarkemmin seuraavassa.

### **Tiedon välittyminen ja tietoa välittävät välineet**

Driverin, Asokon, Leachin, Mortimerin ja Scottin (1994) mukaan on tärkeää käsittää, että tieteellinen tieto on luonnontieteen opetuksessa luonteeltaan symbolista ja sen ymmärrys rakentuu yksilöiden sosiaalisen keskustelun avulla. Heidän mukaansa ”luonnontieteen kohteet eivät ole luonnon ilmiöitä, vaan rakenteita, joilla tieteellinen yhteisö esittää tulkintoja luonnosta”. Luonnontieteen käsitteiden keksiminen ja kehittäminen tarkasteltavan ilmiön kuvaamiseen ja mallintamiseen ovat syntyneet huomattavien älyllisten ponnistelujen seurauksena. Tämä tieto on rakentunut tiedekulttuurin parissa ja siitä on keskusteltu sosiaalisten instituutioiden kesken. Voimakäsite, jolla kuvataan kappaleen liiketilän muutoksia, ei yleensä selvene oppilaalle vain oppikirjaa lukemalla, sillä tämä luonnontieteellinen tieto ei ole yksilön keksintö, joka pohjautuu omiin havaintoihin luonnosta, vaan se on tiedeyhteisössä sosiaalisesti neuvoteltu ja vaatii siten ohjausta. Opettajan tehtävä on täten välittää tieto oppilaille auttaakseen heitä muodostamaan mieluummin oma käsitys tavasta, jolla tieto on luotu kuin rakentamaan omaa yksilöllistä ymmärrystä luonnosta. Andersonin ja Wallinin (2006) mukaan oppilaat eivät voi keksiä käsitteitä ja teorioita havaitsemalla ja kokeilemalla, vaan opettajan tulee opettaa käsitteet ja teoriat ja suunnitella tilanteet, joissa niitä käytetään.

Välittyneisyyden käsite on keskeinen sosiokulttuurisessa suuntauksessa, jossa välittävillä välineillä, artefakteilla, on olennainen rooli. Wertschin ym. (1995) mukaan ihmisillä on pääsy maailmaan vain epäsuorasti tai välillisesti mieluummin kuin suoraan ja välittömästi. Tämä pätee toisiinsa vaikuttaviin prosesseihin, siihen, miten ihmiset saavat tietoa maailmasta, ja siihen, miten he toimivat sillä. Välittävät (tai kulttuuriset) välineet tarjoavat linkin yksilöiden tai ryhmien toteuttamien konkreettisten toimintojen ja kulttuurillisten, institutio-

naalisten ja historiallisten asetelmien välille. Näin ollen ajattelumme ja käsitysmaailmamme ovat lähtöisin kulttuuristamme, sen älyllisistä ja fyysisistä välineistä, ja ovat täten niiden värittämiä (Hatano & Inagaki, 2000; Säljö, 2001; Leach & Scott, 2003).

Säljö (2001) näkee oppimisessa kolme toistensa kanssa vuorovaikuttavaa ilmiötä. Ensiksi älyllisten (tai psykologisten/kielellisten) välineiden kehittäminen ja käyttö: jos osaamme laskea, niin osaamme päätellä, onko varaa ostaa talo; toiseksi fyysisten välineiden kehittäminen ja käyttö: tietokoneen avulla on mahdollista ratkaista älyllisiä ongelmia; kolmanneksi viestintä ja muut tavat, joita ihmiset ovat kehittäneet toimiessaan erilaisissa yhteisöllisissä toiminnoissa. Välineiden, kuten kiikarin ja mikroskoopin avulla on ollut mahdollista tehdä havaintoja ympäristöstämme, jotka ovat muuttaneet siten käsitystämme siitä. Fyysiset, älylliset tai kielelliset välineet, välittävät siten ihmisille tietoa konkreettisissa toiminnoissa. Artefaktit sisältävät Säljön (2001) mukaan myös inhimillistä, välineeseen sisällytettyä ajattelua. Laskimella laskiessa käytämme siinä samalla ihmisten sosiokulttuurisissa tilanteissa luomia tietoja ja taitoja. Sosiokulttuurisessa näkökulmassa yksilöiden ja ryhmien fyysisten ja kognitiivisten välineiden omaksuminen ja hyväksikäyttö onkin yksi lähtökohta oppimisen, käsitteiden käytön ja inhimillisen ajattelun ymmärtämiseen. (Säljö, 2001.) Artefakteille on esitetty erilaisia luokitteluja, kuten Colen (1995) myös abstraktimpien artefaktien sisältämä kolmitasoinen hierarkia.

Wertsch ym. (1995) korostavat välittymisen neljää ominaisuutta. Ensiksikin välittyminen on aktiivinen prosessi. Vaikka kulttuuriset välineet eli artefaktit ovat oleellisessa roolissa muokkaamassa toimintaa, ne eivät määrää tai aiheuta toimintaa pysyvällä tai mekaanisella tavalla. Kulttuurisilla välineillä on vaikutusta vain kun yksilöt käyttävät niitä. Välittyminen on prosessi, jossa kulttuurillisilla välineillä on mahdollisuus muokata toimintaa ja käyttää niitä ainutlaatuisella tavalla. Toiseksi uuden kulttuurisen välineen käyttöönotto aktiiviseen prosessiin väistämättä muokkaa myös välinettä. Kolmanneksi välittyminen voi sisältää rajoitteita, jotka tuovat esiin uusia ongelmia. Täten on oltava valmis arvioimaan ja muuttamaan kulttuurisia välineitä, jos ne havaitaan sopimattomiksi. Neljäntenä seikkana Wertsch ym. (1995) toteavat kulttuuristen välineiden ilmaantuvan mahdollisesti muista syistä kuin helpottamaan toimintoja, joita varten ne lopulta päätyvät. Tämän he ajattelevat olevan seurausta siitä, että ihmisen toimintaa muokkaavat tekijät, joilla voi olla enemmän tai vähemmän yhteyttä ihanteellisen suunnitelman kanssa. Sosiokulttuurinen konteksti muo- vaa kulttuuristen välineiden valintaa, ja tämä edelleen muokkaa välittävän toiminnan muotoa. (Wertsch ym., 1995.)

Hatanon & Inagakin (2000) mukaan sosiokulttuuriset kontekstit voivat toimia myös tiedon hankinnan rajoitteina. Kognitiiviset rajoitteet ovat heidän mukaansa pohjimmiltaan sosiokulttuurisia. Lapsi hankkii oppiaineen ajattelutavan kokemuksen kautta ja tämä kokemus johtaa aiheeseen liittyvien kohteiden tyyppillisen käyttäytymisen ennustamiseen ja tulkintaan. Johdannossa esitettiinkin esimerkki ristiriidasta, joka esiintyy luonnontieteellisen tiedon ja oppilaan kokemukseen pohjautuvan ajattelun välillä voiman ja liikkeen välisessä

suhteessa. Lisäksi koska olemme jatkuvasti vuorovaikutuksessa muiden ihmisten ja artefaktien kanssa, niin myös kykymme ratkaista kognitiivisia ongelmia on niistä vahvasti riippuvainen.

### **Sanat ja kieli oppimisen välineenä**

Puhe, psykologisena tai älyllisenä välineenä, on korostetussa ja tärkeässä roolissa, kun tarkastellaan opetusta ja oppimista sosiokulttuurisesta perspektiivistä. Sanat ja kielelliset ilmaisut välittävät meille ulkoista maailmaa ja antavat sille merkityksen. (Säljö, 2001.) Tämä näkyy myös luokassa, jossa yleisesti käytetyt tieteelliset termit, kuten energia, voima ja massa, voivat tarkoittaa eri asioita oppilaille ja opettajille. Samoin arkikielessä samaistetaan usein sanat voima, vahvuus, ponnistus, teho ja työ, mikä vaikeuttaa käsitteen tieteellistä ymmärtämistä (Jammer, 1999, s. 17). Oppimisen haasteena voidaankin pitää institutionaalisesti luotujen termien ja käsitteiden omaksumista, niiden käyttökelpoisuuden arvostamista ja näiden kulttuurillisten työkalujen käytön oppimista (Driver ym., 1994).

Mortimerin ja Scottin (2003) mukaan sanat itsessään eivät kanna ainutlaatuisia merkityksiä vaan merkitys saa eri sävyjä, kun käyttökonteksti muuttuu. Se, kuinka ajatukset siirtyvät mm. opettajalta oppilaalle, tapahtuu prosessissa, jossa omaa ymmärrystä verrataan ja tarkistetaan sosiaalisella tasolla toistettuihin ajatuksiin. Jos sosiaalisella tasolla opettajan esittämän ajatuksen ja oppilaan yksilöllisen kehittyvän ymmärryksen välillä on merkittävää päällekkäisyyttä, oppiminen ei muodostu ongelmalliseksi. Opettaminen ja oppiminen tulevat vaativiksi, jos oppilaat pitävät opettajan puhetta vieraana. Tällaisessa tilanteessa alkaa "taistelu" suhtautumisesta heidän olemassa olevaan ymmärrykseensä.

Säljö (2001) antaa esimerkin tilanteesta, jossa oppilaat ja opettaja voivat nähdä saman kokeellisen ilmiön sosiokulttuurisessa mielessä eri tavalla.

"Kun tarkastellaan valon esineestä muodostamaa varjoa optisella penkillä, ei oppilaille ole samanlaisia tapoja kuin opettajalla esittää valon kulkua tai sitä, mitä siinä tapahtuu. Vaikka he näkevät muodostuvan varjon, he eivät tiedä, miksi se on mielenkiintoista tai mitä se kertoo valosta ja sen ominaisuuksista. Ymmärtääkseen miksi tämä on mielenkiintoista, täytyy tuntee ne älylliset välineet, joita optiikassa käytetään ja joihin se perustuu."

Kun oppilaille opetetaan erilaisia ilmiöiden ja tapahtumien esitystapoja, niin he voivat ne omaksuessaan oppia paremmin ymmärtämään, kuinka näitä erilaisia esitystapoja käytetään erilaisissa tilanteissa ja mikä on niiden merkitys ja käyttötarkoitus. Välittyneisyyden eri muodot tarjoavat erilaisia näkökulmia ilmiöön, ja niiden ansiosta ilmiön ymmärtäminen voi olla helpompaa tai joissakin tapauksissa ehkä myös vaikeampaa. (Säljö, 2001.)

Koska perinteinen luentotyypin opetus ei ole tuonut toivottua muutosta voimakäsitteen oppimiseen (luku 2.3), pyritään tutkimuksen opetusjaksoissa lähestymään voimakäsitettä vuorovaikutuksista syntyneenä käyttäen apuna visuaalista representaatiota tiedon välittäjänä. Lisäksi fysiikan oppiminen liittyy oleellisesti fysiikan sosiaalisen kielen oppimiseen (Mortimer & Scott, 2003).



Tällöin on huomioitava myös arkipäiväinen sosiaalinen kieli, joka sisältää monia pysyviä ja vaikeasti muutettavia virheellisiä käsityksiä mm. voimakäsitteestä (Mortimer & Scott, 2003).

Opetuksessa kohdataan erityinen haaste, jos opettajan esittämä tieto on ristiriidassa oppilaiden aikaisemman tietokäsityksen kanssa. Monien tutkijoiden mm. (Driver ym., 1994; Hatano & Inagaki, 2000; Leach & Scott, 2003) mukaan virheellisiä käsityksiä tukevat vahvasti henkilökohtaiset kokemukset ja sosialisatio arkikäsitteisiin. Nämä arkikäsitteet eivät ole pelkästään yksilön henkilökohtaisia näkemyksiä maailmasta vaan heijastavat jaettua näkemystä, joka esitetään jaetulla yhteisellä kielellä. Esimerkiksi kokemus siitä, että kaapin liikkeessä pitämiseksi on sitä koko ajan työnnettävä, johtaa oppilaan mielessä virheelliseen käsitykseen ”liike edellyttää voimaa” (Driver ym., 1994). Kielelliset fraasit, kuten ”pitää olla voimaa liikkua” tai ”luonnon voimat”, ovat omiaan luomaan ajatuksen voimasta kappaleen sisäisenä voimana (Driver ym., 1994).

Siis luonnontieteellisen tiedon konstruointiprosessin täytyy olla henkilökohtaisen kokemusmaailman ulkopuolella. Fysiikan käsitteen merkityksen ymmärtäminen on henkilöiden keskustelun sisältävä dialoginen prosessi ja oppiminen nähdään prosessina, jossa yksilöt (oppilaat) perehdytetään kulttuuriin taitavampien jäsenten (opettajat) avulla. Tällöin oppilaat omaksuvat kulttuuriset työkalut tämän kulttuurin aktiviteetteihin osallistuessaan. (Driver ym., 1994.)

Sosiokulttuurisen näkökulman kannalta opetuksessa ja oppimisessa on tärkeää korostaa ihmisten välistä sosiaalista vuorovaikutusta, jota tarkastellaan seuraavaksi.

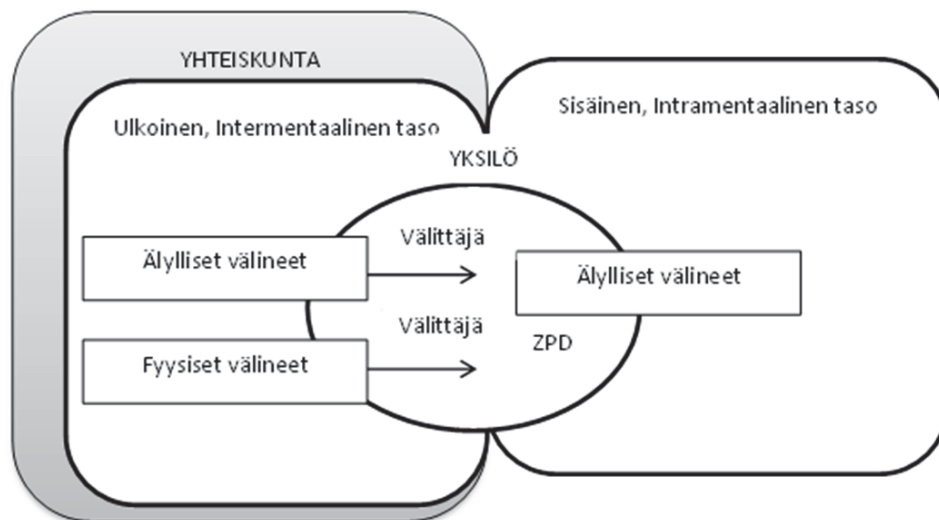
### 2.1.2 Lähikehityksen vyöhyke ja tiedon yksilöllinen omaksuminen

Sosiokulttuurisesta näkökulmasta katsottuna yksilö tutustuu uusiin ajattelu-, järkeily- ja toimintatapoihin sekä voi omaksua niitä, kun hän osallistuu viestintään muiden yhteisön jäsenten kanssa (Säljö, 2001). Säljö (2001) vertaa ajattelua sisäiseen keskusteluun, jota ihmiset käyvät itsensä kanssa. Samanaikaisesti hän painottaa, ettei ajattelua ja kielellistä kommunikaatiota voi verrata keskenään. *Oppimisen ajatellaan olevan tilanneriippuvaista. Se, mitä ihmiset sanovat, kirjoittavat ja tekevät, määräytyy aina tilanteen mukaan, eikä se ilmaise pelkästään heidän ymmärrystään käsitteistä. Toinen ajattelun ja viestinnän toisistaan erittelyn syy on se, että osaamme ehkä käyttää käsitteitä oikealla tavalla mutta vasta myöhemmin osaamme selittää, mitä ne syvällisemmin ajateltuna merkitsevät.* (Säljö, 2001.) Tämän opettaja tai oppilas havaitsee luokassa, sillä selittäessään ilmiötä muille, sen merkitys myös hänen omassa ajattelussaan selkiytyy.

Kun oppilaille ensimmäistä kertaa esitellään uusi käsite, kuten voima, he saattavat hallita sen sanana, mikä on kuitenkin vasta oppimisprosessin alku sanan merkityksestä. Toisessa vaiheessa opettaja voi tukea oppilaita, kun he vaiheittain kehittävät merkityksiä uudelle tieteelliselle käsitteelle ja saavat luotamusta niiden käyttöön. (Mortimer & Scott, 2003.) Vygotskilaisen näkökulman mukaan käsitteelliset välineet opitaan ensin sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja sen jälkeen käsitteitä opitaan käyttämään vasta omatoimisesti (Tynjälä, 2000). Tämä vaihe nimetään vygotskilaisessa näkökulmassa lähikehityksen vyöhyk-

keeksi (ZPD the Zone of Proximal Development). *Lähikehityksen vyöhyke* on välimatka, joka erottaa sen, mitä yksilö voi saada aikaan yksinään ja ilman tukea sekä sen, mitä hän saa aikaan aikuisen johdolla tai yhteistyössä osaavampien tovereidensa kanssa (Tynjälä, 2000; Säljö, 2001; Leach & Scott, 2003; Wertsch ym., 1995).

Paitsi ihmisillä, jotka tukevat lähikehityksen vyöhykkeellä oppimista, niin myös välineiden käytöllä ja tiedon välittymisellä on merkityksensä lähikehityksen vyöhykkeen periaatteessa (Carter, Westbrook & Thompkins, 1999; Tynjälä, 2000). Kuviossa 2 - 1 on muokattu Carterin ym. (1999) esittämää näkemystä Vygotskyn teorian kahdesta näkökulmasta, joista ensimmäisessä *käsitteellisen oppimisen ajatellaan välittyvän älyllisten ja fyysisten välineiden kautta* ja toinen liittyy ilmaisuun lähikehityksen vyöhykkeestä ZPD. Vygotskilaisessa näkökulmassa esitetään, että *kaikki korkeammat mentaaliset toiminnot saavat alkunsa yksilöiden välisessä suorassa vuorovaikutuksessa*. Tämän seurauksena oppiminen tapahtuu intermentaalisisella (ulkoisella/sosiaalisella) tasolla, ennen kuin se tulee sisäistetyksi intramentaalisisella (sisäisellä/henkilökohtaisella) tasolla sosiaalisten, kulttuurillisesti määritettyjen, välittäjien avulla. Näinä välittäjinä toimivat älylliset ja fyysiset välineet, joiden käyttö omaksutaan toiminnassa. (Carter ym., 1999; Tynjälä, 2000.) Vaikka fyysiset välineet on sijoitettu ulkoiseen maailmaan, vuorovaikutukset niiden kanssa saattavat johtaa erilaiseen ajattelutapaan ja välittää siinä merkityksessä korkeampaa osaamista. Älyllisiä välineitä käytetään sekä ulkoisessa että sisäisessä maailmassa, ja siksi ne on sijoitettu molemmille tasoille. (Carter ym., 1999.)



KUVIO 2-1. Tiedon rakentuminen vygotkskilaisen näkökulman mukaan (muokattu Carter ym., 1999).

Tietyn välineen tai vuorovaikutuksen mahdollisuutta välittää oppimista voidaan pohtia lähikehityksen vyöhykkeen näkökulmasta. Välineet, joilla on liittymäkohtia oppilaan ZPD:n kanssa, voivat välittää oppimista. Luokassa tämä



välittyminen mahdollistuu, kun oppilaat käyttävät sosiaalisesti määriteltyjä luonnontieteen fyysisiä välineitä. Välittyminen on mahdollista myös älyllisten välineiden avulla, kun oppilaat toimivat vuorovaikutuksessa opettajan tai muiden oppilaiden kanssa. (Carter ym., 1999.) Välittävät välineet nähdään ensin ulkoisesti, kun opettaja/asiantuntija opettaa oppilaita, kuinka käyttää välinettä, ja tämän jälkeen sisäisesti, kun oppilas alkaa käyttää välinettä suorittaessaan muita aktiviteetteja (Hall, 2007). Sisäistymisprosessissa välineet muokkaavat ja muuttavat oppilaiden ajatusprosesseja, kun he alkavat käyttää näitä uusia välineitä tuoden samalla julki heidän omaa ajatteluaan (Hall, 2007).

Ajatus lähikehityksen vyöhykkeestä viittaa Säljön (2001) mukaan myös siihen, että fyysisen ja älyllisen välineen hallitsemisen välinen ero ei ole yleensä aivan selvä. Monet arkipäiväiset ja koulussa esiintyvät tilanteet ovat tällaisia; ymmärrämme mitä sanotaan tai tehdään, mutta emme omin päin selviydy kaikista työvaiheista ilman opettajan tai muiden oppilaiden tukea (Säljö, 2001; Mortimer & Scott, 2003). Vygotskilaisen näkökulman mukaan lähikehityksen vyöhykkeessä eivät ole mielenkiintoisia pelkästään lapsen kyvyt, vaan myös hänen ymmärryksensä ja toimintansa mahdollisuudet (Säljö, 2001). *Oppilaalla saattaa olla erilaiset tiedot ja myös edellytykset siihen, että hän voisi siirtyä kehitysvyöhykkeen puitteissa ulkoiselta tasolta sisäiselle tasolle* (Säljö, 2001). Jos oppilas esimerkiksi ajattelee gravitaation olevan maan sisällä, hänen voi olla vaikea ymmärtää maapallon pinnalla pysymistä, mikä taas olisi helpompi ymmärtää maan ja muiden kappaleiden välisen vuorovaikutuskäsitteen avulla (Vosniadou, 1994; Chi ym., 1994).

Oppimista voidaan pitää ohjattuna osallistumisena, jossa *opettajan rooli on kriittinen käsitteellisen muutoksen toteutumiseksi* (Viiri & Saari, 2006). Mortimerin ja Scottin (2003) mukaan opettaja voi auttaa oppilaita saavuttamaan tason, johon he eivät yksin kykene, tarkkailemalla jatkuvasti oppilaiden ymmärtämistä ja vastaamalla heidän käsityksiin asiaan kuuluvien tieteellisten termien. Kun osavampi yksilö toimii ja ajattelee yhdessä tehtävän suorittajan kanssa, muodostuu oppimistilanne tehokkaammaksi, koska aloittelija ei ainoastaan saa ohjeita vaan myös tietoja tehtävän määrittelystä ja soveltuvista tavoista sen tulkitsemiseen. Tarvitaan myös sopeutumista lapsen hallitsemiin älyllisiin välineisiin ja valmiuksiin. Opettajan kielellinen välitystyö ei saa olla liian abstraktia eikä kehitynytynyt, jotta oppija voi omaksua tietoja ja taitoja.

Leach ja Scott (2003) puhuvat tässä yhteydessä kuvion 2 - 1 kuvaamasta *sisäistymisen prosessista*, jossa oppilas ensin intermentaalilla (sosiaalisella) tasolla toistaa ajatukset, joita sitten prosessoidaan ja käytetään intramentaalilla (yksilöllisellä) tasolla. He kiinnittävät huomiota puheen ja ajattelun tapoihin luokkahuonekeskustelussa. Oppijan yksilönä täytyy ymmärtää luokassa käytettyä puhetta ja suhteuttaa puhe aikaisempiin ajatuksiinsa ja ajattelutapoihinsa. Oppijan täytyy organisoida ja konstruoida uudelleen puhe ja aktiviteetit sosiaalisella tasolla päästäkseen yksilönä sisäisen tietoisuuden tasolle. (Leach & Scott, 2003.) Tällöin *opettaja tarjoaa oppilaille mahdollisuuksia yrittää ja harjoitella itse tieteellisiä ajatuksia siten, että niistä tulisi heidän omia ajatuksiaan* (Mortimer & Scott, 2003). Vaihetta, jossa oppilas tuo itse ajatuksensa esille opettajan ohjaamana ja tukemana, tutkijat nimittävät soveltamisvaiheeksi (Mortimer & Scott, 2003).

Vaikka puheella on luokkahuoneen kommunikaatiossa keskeinen rooli, myös muilla kommunikatiivisilla resursseilla, kuten *erilaisilla representaatioilla (kuvilla, diagrammeilla, graafisilla malleilla sekä opettajan eleillä ja toiminnalla) on mahdollisuus vaikuttaa oppilaan kykyyn muodostaa käsitteille merkityksiä* (Mortimer & Scott, 2003; Scott & Jewitt, 2003). Myös Säljön (2001) mukaan esineiden tai ajatusten esittäminen kuvina on yksinkertainen ja tehokas tekniikka, joka ei johda moniin tulkintavaikeuksiin.

Toisaalta sosiokulttuurisesta näkökulmasta katsottuna oikea ratkaisu pohdittavaan ongelmaan vaihtelee, koska ongelmaa tarkastellaan ja se käsitellään eri tavoin erilaisissa konteksteissa. Tietoa sovelletaan tai käytännöllistä välinettä käytetään uusissa tilanteissa, jolloin on mahdollista, että mukaan tulee uusi tekijä, joka muuttaa tiedon tai välineen olemusta ja merkitystä. (Säljö, 2001; Mortimer & Scott, 2003.)

Oppilaiden *käsitteellinen oppiminen voimasta ja Newtonin laeista on tutkimusten mukaan kontekstiriippuvaista* siten, että joissakin voimakäsitteen tehtävissä oppilas näyttää ymmärtäneen oikein, mutta epäonnistuu yrittäessään soveltaa tietojaan toisessa kontekstissa olevaan samantyyppiseen tehtävään (Bao, Hogg & Zollman, 2002; Savinainen & Scott, 2002; Savinainen ym., 2005). Tällaiset piirteet voivat vaikeuttaa oppilaiden oppimisen arviointia tai tehokkaan opetuksen toteutusta, ja siksi on tärkeää tietää, kuinka nämä erilaiset kontekstuaaliset piirteet voivat vaikuttaa oppilaan ajatteluun (Bao ym., 2002). Voiman käsitteellinen ymmärtäminen riippuu myös tehtävän representaatiosta (luku 2.2.3).

Sosiokulttuurisen näkökulman lisäksi on esitetty oppimisen teorioita, kuten käsitteellinen muutos (Conceptual Change), jotka keskittyvät muutokseen yksilön mentaalisisissa rakenteissa. Myös käsitteellisen muutoksen teorit selittävät voimakäsitteen virheellisiä käsityksiä ja vaikeaa oppimista, vaikkakin eri näkökulmasta. Käsitteellisessä muutoksessa tarkastellaan oppimista yksilöllisestä näkökulmasta, kun taas sosiokulttuurisessa näkökulmassa nähdään sosiaalisen ympäristön vaikutus oppimiseen. Chin mukaan käsitteen merkitys määritellään ontologisella kategoriolla, johon oppilas käsitteen nimeää. Käsitteellinen muutos tapahtuu, kun kategoria, johon käsite nimetään, muuttuu. Oppilaiden mielessä voimat kuuluvat ainekategoriaan, kun ne todellisuudessa ovat kahden kappaleen välisen vuorovaikutuksen kaltaisia. (Chi ym., 1994; Chi, 2008.) Vosniadoun mukaan lapsen varhaiset käsitykset ovat organisoituneet fysiikan naiiveiksi kehysteorioiksi eli ennako-oletuksiksi ja muokkautuneet spesifeiksi teorioiksi, jotka ilmenevät oppilaan virheellisinä käsityksinä. Käsitteellisen muutoksen aikaansaamiseksi opetuksessa pitää kiinnittää huomio nimenomaan ennako-oletuksiin eikä virheellisiin käsityksiin. (Vosniadou, 1994, 2007a; 2007b; Vosniadou, Ioannides, Mimitrakopoulou & Papademetriou, 2001.) Oppimiseen liittyvistä näkemyseroista tutkijoiden välillä käydään edelleen keskustelua. Leachin ja Scottin (2003) mielestä käsitykset oppilaiden mentaalisisista malleista ovat kyllä hyödyllisiä, kun selitetään miksi luonnontiede on monille vaikea oppia, mutta ne eivät ole riittäviä selittämään, kuinka oppilaat oppivat luonnontiedettä luokassa.

Tässä tutkimuksessa oppimista tarkastellaan sosiokulttuurisesta näkökulmasta, jonka mukaan opetuksessa käytettyä vuorovaikutuskaaviota voidaan

pitää välineenä, joka toimii voimakäsitteen ymmärtämisessä linkkinä ulkoisen maailman ja oppilaan sisäisen maailman välillä. Koska verbaalinen puhe ja kirjallinen teksti eivät ole olleet riittävän tehokkaita opetustapoja voimakäsitteen tieteelliseen ymmärtämiseen, niin on tarpeen pyrkiä etsimään uusia tapoja, kuten, voimakäsitteen opetus visuaalisella representaatiolla. Vuorovaikutuskaaviota voidaan pitää täten ajattelun ja oppimisen visuaalisena välineenä.

## 2.2 Representaatiot opetuksessa ja oppimisessä

Kykyä tunnistaa ja ymmärtää ajatukset näkyvän toiminnon tai kuvan avulla ilmaistuna sanotaan visualisoinniksi. Visualisoinnin kohteet voivat olla kuvia, 3-ulotteisia malleja, kaaviotyyppejä diagrammeja, geometrisia kuvauksia, tietokoneen luomia esityksiä, simulaatioita, animaatioita, videoita jne. Näitä voidaan näyttää erilaisilla median muodoilla, kuten paperilla, dioilla, tietokone-näytöllä, interaktiivisella valkotalulla tai videoilla. (Vavra, Janjic-Watrich, Loerke, Phillips, Norris & Macnab, 2011.)

Mayer ja Anderson (1992) toteavat, että opetuksen aikana käytetty visualisointien yhdistelmä: kuvat (esimerkiksi polkupyörän pumpun toiminnasta) ja sanat rohkaisevat oppilaita konstruoimaan tulevasta informaatiosta yhteyksiä heidän verbaalisen ja visuaalisen representaationsa välille. Tämä puolestaan tukee ongelman ratkaisua parantaen tieteellisten selitysten ja käsitteiden ymmärtämistä. Tätä he nimittävät samanaikaisperiaatteeksi (contiguity principle), joka on johdettu nk. "dual coding" -teoriasta. Teorian mukaan ihmisillä on kaksi erillistä informaation prosessointisysteemiä. Toinen esittää informaation verbaalisesti ja toinen visuaalisesti. Kognitiivinen integraatioprosessi tapahtuu parhaiten, kun oppijalla on vastaava kuvallinen ja verbaalinen representaatio työmuistissa samaan aikaan. Tällöin oppilaat oppivat syvällisemmin, kuin jos verbaalinen ja visuaalinen representaatio erotetaan toisistaan tilan tai ajan suhteen. Vastaavasti, jos joku oppilas pitää parempana visuaalista esitystä ja toinen pitää parempana verbaalista esitystä, silloin näiden esitysten yhdistelmä on tehokas jakaen informaation kummankin tyyppin oppijalle.

Multimediaoppimisen kognitiivinen teoria perustuu Mayerin ja Andersonin (1992) ja Mayerin ja Morenon (2002) mukaan kolmelle oletukselle: 1) Kahden kanavan olettaamus, jossa ihmisellä ajatellaan olevan eri kanavat visuaalista/kuvallista representaatiota ja auditiivista/verbaalista representaatiota varten. 2) Rajallisen kapasiteetin olettaamus, jossa vain osa tiedosta voidaan aktiivisesti prosessoida tiettyyn aikaan jokaisessa kanavassa. 3) Aktiivinen prosessointi, jossa tapahtuu merkityksellistä oppimista, kun oppija sitoutuu kognitiivisiin prosesseihin, kuten valitsemaan olennaisen materiaalin, organisoimaan sen koherenttiin representaatioon ja integroimaan sen olemassa olevan tiedon kanssa. Lisäksi tutkijat huomauttavat, että animaatio ja muut visuaaliset esitysmuodot eivät ole maagisia patenttiratkaisuja, jotka automaattisesti lisäävät oppilaan ymmärrystä opetettavasta asiasta (Mayer & Moreno, 2002).

Vaikka aihealueen tutkimuksessa on esitetty myös erilaisia näkemyksiä, niin on visualisoinnilla erilaisten representaatioiden muodossa havaittu olevan positiivisia vaikutuksia oppilaiden käsitteelliseen ymmärtämiseen. Tätä tarkastellaan seuraavaksi.

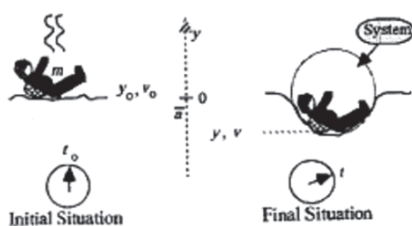
### 2.2.1 Erilaiset representaatiot mekaniikan opetuksessa

Miksi fysiikan opetuksessa tarvitaan erilaisia representaatioita? Van Heuvelenin (1991) mukaan erilaiset representaatiot auttavat ensiksikin ymmärtämään tietyn käsitteen tai ongelmanratkaisun fysikaalisia prosesseja. Ongelmanratkaisu-tehtävät ovat olleet fysiikan opetuksessa merkittävässä osassa. Oppilaat näkevät nämä tehtävät yhden tai kahden tuntemattoman suureen arvon määrittämisinä, jolloin ratkaisuyritykset ovat keskittyneet lähes kokonaan yhtälön ratkaisuun, ilman kvalitatiivista kaaviota tai diagrammia, joka edesauttaa ratkaisun ymmärtämistä. Fysiikan opiskelijaa tulisi rohkaista käyttämään kvalitatiivisia representaatioita ja ajattelemaan ongelmanratkaisua mieluummin fysikaalisen prosessin kuvauksena kuin vain tuntemattoman suureen ratkaisuna. Komplexisissa prosesseissa mm. diagrammirepresentaatiolla on vielä tärkeämpi merkitys auttaen fysikaalisen prosessin ymmärtämisessä ja matemaattisen representaation konstruoisemisessa. Kuviossa 2 - 2 on esimerkki mekaniikan tehtävän ratkaisussa käytetyistä erilaisista representaatioista. Luvussa 2.2.4 tullaan esittelemään voimakuvion lisäksi tutkimuksessa käytetty visuaalinen representaatio, vuorovaikutuskaavio.

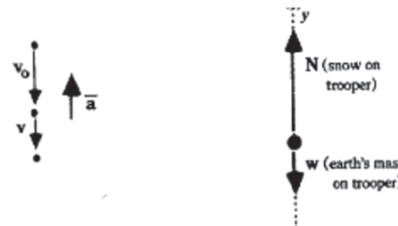
#### a) Verbaalinen representaatio

Laskuvarjohyppääjä, jonka varjo ei auennut, putoaa lumeen ja pysähtyy upottuaan lumeen 1,0 m. Juuri ennen iskeytymistään lumeen, henkilö putoaa nopeudella 54 m/s. Määritä 80 kg henkilöön kohdistuva lumen aiheuttama keskimääräinen voima, kun hän uppoaa lumeen.

#### b) Kuvallinen representaatio



#### c) Fysikaalinen representaatio



#### d) Matemaattinen representaatio

$$2a(y - y_0) = v^2 - v_0^2$$

$$\sum F_y = N - w = ma$$

KUVIO 2-2. Ongelmatehtävässä olevia fysikaalisia prosesseja kuvataan kvalitatiivisilla representaatioilla, joiden avulla autetaan oppilasta konstruimaan ja samalla ymmärtämään matemaattinen representaatio (Van Heuvelen, 1991, s. 892).

Toiseksi erilaisia representaatioita, kuten kuvia, diagrammeja, sanoja, graafisia esityksiä ja yhtälöitä, käytetään fysiikassa todellisen maailman fysikaalisten ilmiöiden mallintamiseen (Ainsworth, 2008; Wong, Poo, Hock & Kang, 2011). Henderson (1999) esittää diagrammin käytöstä esimerkkeinä mm. bunsen lampun toimintaperiaatteen ja kuun pimennyksen.

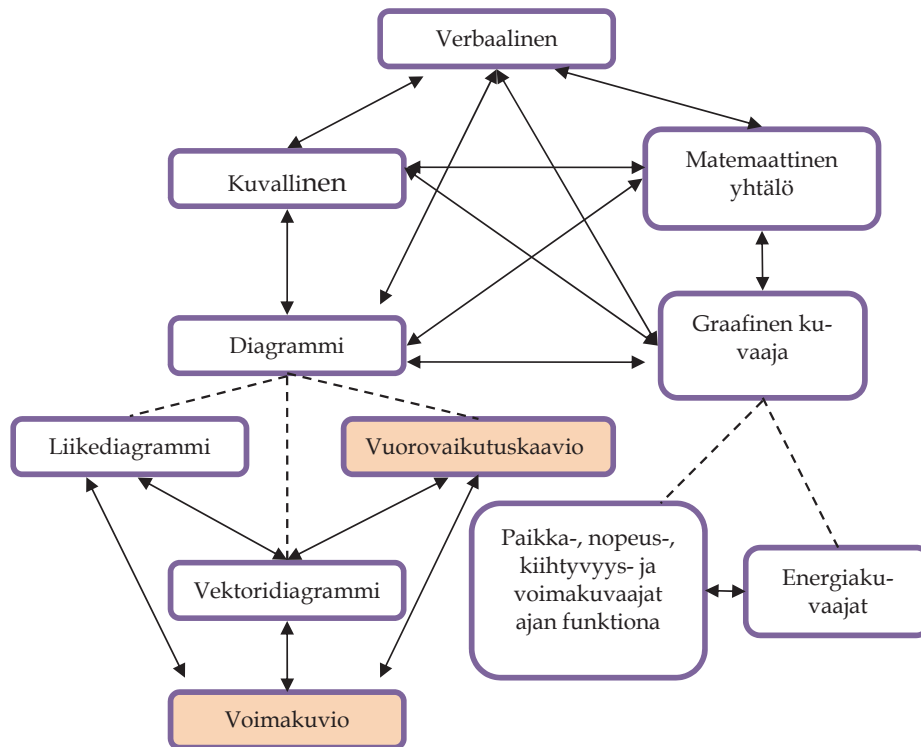
Kolmanneksi erilaiset representaatiot tarjoavat uusia mahdollisuuksia herättää oppilaassa motivaatiota, mielenkiintoa ja ymmärrystä. Erilaiset representaatiot voivat auttaa oppilaita ymmärtämään visualisoinnin monimutkaisia muotoja, joiden käyttötaitoa vaaditaan ammattilaisten ja eksperttien keskuudessa. Ne (mm. simulaatiot ja animaatiot) voivat antaa oppijoille epäsuoran kokemuksen ilmiöstä, joka on opetustarkoituksessa vaikea suoraan kokea. Erilaisien representaatioiden käyttö opetuksessa antaa tiettyjä etuja ja haittoja, jotka opettajan ja oppilaan pitäisi tiedostaa (Ainsworth, 2008). Ainsworth (2008) mainitsee erilaisten representaatioiden käytön eduista mm. voiman ja liikkeen opetuksessa, jossa oppilailta vaaditaan ymmärrystä seuraavista käsitteistä:

- kuinka etäisyys, aika ja nopeus voidaan määrittää ja esittää graafisesti?
- mitkä tekijät vaikuttavat kappaleen pysäyttämiseen?
- vauhdin ja nopeuden erosta.
- kiihtyvyys on nopeuden muutos aikayksikössä.
- tasapainottuvat voimat eivät muuta liikkuvan kappaleen nopeutta.
- kvantitatiivinen suhde voiman, massan ja kiihtyvyyden välillä.
- kun kaksi kappaletta vuorovaikuttavat, ne kohdistavat toinen toisiinsa voimat, jotka ovat yhtä suuria ja vastakkaisuuntaisia.

Neljänneksi eri asioiden havainnollistamiseen sopivat erilaiset representaatiot. Lisäksi erilaiset representaatiot mahdollistavat erilaisen tiedon esityksen niillä tavoilla, jotka ovat oppilaan tarpeeseen sopivimmat. (Ainsworth, 2008.)

Mekaniikan opetuksessa on käytettävissä erilaisia representaatioita. Jotkut representaatioista ovat konkreettisempia, kuten luonnokset tilanteesta, liikediagrammi, vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio verrattuna abstraktimpiin käsitteisiin, kuten kiihtyvyys ja Newtonin lait (Rosengrant, Van Heuvelen & Etkina, 2009; Rosengrant, 2007). Kuviossa 2 - 3 esitetään nämä erilaiset representaatiot ja niiden väliset yhteydet, jotka on merkitty kaksisuuntaisilla nuolilla. Esimerkiksi kuviossa 2 - 2 on tehtävän asettelu esitetty verbaalisessa representaatioissa. Laskuvarjohyppääjän maahan putoamisen eri vaiheet on esitetty kuvallisessa representaatioissa. Diagrammirepresentaatioita on erilaisia, joista putoamisvaiheiden ajan hetket, paikat ja nopeudet on esitetty liikediagrammina, kiihtyvyys ja voimat on esitetty vektoridiagrammina. Lopuksi liikeyhtälöt on esitetty matemaattisena yhtälönä. Putoamista voitaisiin lisäksi havainnollistaa graafisella kuvaajalla, kuten esittämällä laskuvarjohyppääjän paikka, nopeus, kiihtyvyys ja/tai vaikuttava voima ajan funktiona. Kaikki nämä kuvion 2 - 3 eri represen-

taatiot täydentävät siten toisiaan, koska ne esittävät samaa fysikaalista tilannetta.



KUVIO 2-3. Mekaniikan opetuksessa käytetyt erilaiset representaatiot ja niiden väliset yhteydet (muokattu Wong ym., 2011, s. 179).

### Representaatioiden erilaisia funktioita oppimisessa

Ainsworthin (1999, 2006, 2008) mukaan eri representaatiot voivat tarjota erilaisia funktioita oppimiseen. Oppimistilanteissa pääfunktiot käsittävät: 1) täydentävät roolit, 2) rajoittava tulkinta ja 3) syvällisemmän ymmärryksen rakentaminen.

1) Ensimmäinen funktio liittyy representaatioiden käyttöön. Ne tarjoavat *täydentävää tietoa* ja edellyttävät vastaavanlaisia kognitiivisia prosesseja siten, että oppijat voivat saada hyötyä eri representaatioiden yhdistetyistä eduista. Esimerkiksi miten esitetään massa, voima, kitka ja nopeus? Jokainen representaatio, kaavio, yhtälö, numeerinen esitys, esittää eri puolia tarkasteltavasta kappaleesta. Jos halutaan esimerkiksi simuloida laskuvarjohyppäjän putoamista tietokoneella, niin se minkä muotoista representaatiota halutaan käyttää, riippuu enimmäkseen esitetyn informaation ominaisuuksista. Massan voi esittää yksinkertaisena numeerisena näyttönä, koska se ei muutu liikkeen simulaation



aikana, kun taas nopeus esitettäisiin dynaamisena graafisena kuvaajana tai taulukkona, koska nämä representaatiot voivat näyttää, kuinka nopeus muuttuu ajan suhteen. Erilaiset representaatiot mahdollistavat tässä tapauksessa erilaisen tiedon esityksen niillä tavoilla, jotka ovat oppijan tarpeeseen sopivimmat. (Ainsworth, 1999, 2008.)

Diagrammeissa voidaan käyttää hyväksi aistinvaraisia taitoja ryhmittelemällä kaikki käytettävä informaatio yhteen tehden näin etsinnän ja tunnistuksen helpommaksi (Larkin & Simon, 1987). Taulukot tekevät informaatiosta ekplisiittisen korostaen tyhjiä soluja, sallien nopean ja tarkan lukemisen ja tuoden esille malleja ja säännönmukaisuuksia. Yhtälöt näyttävät kompaktisti muuttujien ja laskennallisten prosessien välisen kvantitatiivisen suhteen. (Ainsworth, 2008.)

Representaatiot vaativat oppilaalta ymmärrystä, kuinka representaatioita tulkitaan. Helpoinkin representaatio vaatii oppilaalta jo erityisiä taitoja ja pohjatietoja (Ainsworth, 2008; Lowe, 1989; Henderson, 1999). Kun oppilas lukee esimerkiksi numeerista näyttöä, hänen täytyy tietää – merkin sopimus hidastuvalle liikkeelle. Oppilaiden erilaiset laskennalliset kyvyt voivat tehdä representaation tulkinnasta joko itsestään selvyyden tai hyvin monimutkaisen, esimerkiksi yhtälön muoto. (Ainsworth, 2008.) Diagrammin tulkinnassa käytetään aistinvaraisia taitoja. Ensimmäinen on aistien diskriminaatio, jossa lukija huomaa yhtäläisyydet ja eroavaisuudet symbolien joukossa ja toinen on aistien konfiguraatio, jossa lukija lajittelee symbolit ryhmiin riippuen niiden fyysisestä läheisyydestä, viivoilla yhdistelystä tai lisäyksestä rajatulle alueelle (Henderson, 1999).

Larkin ja Simon (1987) toteavat, että vaikka jokainen diagrammi tukee joitakin helppoja aistipäätelmiä, niin mikään ei takaa näiden päätelmien olevan hyödyllisiä ongelman ratkaisuprosessissa. Diagrammin ominaisten piirteiden (kuten voimakuviossa paikannus, tunnistaminen nimeämällä ja aistien käyttö) käytössä epäonnistuminen on luultavasti osaksi syynä siihen, miksi jotkut diagrammit eivät näytä auttavan joitakin oppilaita, kun taas jotkut kokevat niistä olevan merkittävää apua.

2) Toisessa funktiossa käytetään tuttuja representaatioita *rajoittamaan* vähemmän tutun representaation tulkintaa, auttamalla siten oppilaita paremmin ymmärtämään asian. Esimerkiksi laskuvarjohyppääjän liikkeen animaatiossa näytöllä näkyvä nopeus voi rajoittaa toisen abstraktimman representaation tulkintaa. Yleinen virheellinen (aika, nopeus) -kuvaajan tulkinta on, että vaakasuora viiva kuvaa levossa olevaa kappaletta. Jos oppilas näkee samaan aikaan laskuvarjohyppääjän liikkuvan, kun nopeuden kuvaaja ajan funktiona piirtyy, saattaa se auttaa häntä ymmärtämään, että vaakasuora viiva tarkoittaa-kin tasaista liikettä eikä lepotilaa. (Ainsworth, 1999, 2008.)

3) Kolmannessa funktiossa oppilaita rohkaistaan rakentamaan ilmiöstä syvällisempää ymmärrystä: representaatioiden välisestä a) käsitteellisyydestä, b) laajenuksesta ja c) suhteista toisiinsa (Ainsworth, 1999, 2008).

Ainsworthin (1999, 2008) mukaan *käsitteellisyys* (abstraktio) on prosessi, jonka avulla oppilaat luovat mentaalisia kokonaisuuksia, jotka tarjoavat pohjan uusille menettelytavoille ja käsitteille korkeammalla tasolla hierarkiassa. Kun

oppilaille tarjotaan tietystä aiheesta useita representaatioita, he voivat muodostaa representaatioiden avulla yhteyksiä, jotka siten tuovat ilmi esitetyn asian perustana olleen rakenteen. Käsitteellisyttä voidaan tukea tarjoamalla esimerkiksi mallintamiseen monia tilanteita, kuten kuvaamalla voiman ja liikkeen representaatiot erikseen moottoripyörälle, autolle, rullaluistelijalle, jne. Tällöin oppilas näkee, että kinemaattiset käsitteet eivät ole vain tiettyyn kontekstiin sidottuja.

*Laajennusta* voidaan tarkastella tiedon kuljetustapana, joka oppilaalla on tunnetusta representaatiosta tuntemattomaan representaatioon, mutta ilman tuon tiedon luonteen perusteellista uudelleen organisointia. Oppilaat saattavat esimerkiksi tietää, kuinka (aika, nopeus) -kuvaajaa tulkitaan, jotta voidaan selvittää, onko kappale kiihtyvässä liikkeessä. Myöhemmin he voivat laajentaa tietonsa kiihtyvyydestä sitten toisiin representaatioihin. (Ainsworth, 1999, 2008.)

Lopuksi *suhteiden ymmärtäminen* on prosessi, jossa kaksi representaatiota liitetään yhteen, jälleen ilman tiedon uudelleen organisointia. Ainsworth kertoo esimerkkinä tapauksen, jossa oppilaat tietävät, kuinka tulkita (aika, paikka)-kuvaajaa ja (aika, nopeus)-kuvaajaa erillään, mutta jos he lukevat nopeuden (aika, nopeus)-kuvaajasta, he eivät välttämättä tiedä, että se antaa samalla heille (aika, paikka)-kuvaajan tangentin fysikaalisen kulmakertoimen. On siis hyvä huomata, että representaatioiden esittämän informaation ominaisuudet eivät riipu ainoastaan opettajan määrätietoisuudesta, vaan myös oppilaan tiedoista ja tavoitteista. Joku oppilas saattaa tuntea (aika, nopeus)-kuvaajat ja pystyy laajentamaan niiden tietoa (aika, paikka)-kuvaajiin, ja toinen oppilas voi olla molempien kuvaajien kanssa jo tuttu, mutta ei ole silti tarkastellut niiden välisiä suhteita. (Ainsworth, 1999, 2008.)

## 2.2.2 Erilaiset representaatiot oppimisen apuna

### Ekspertit ja noviisit eri representaatioiden käyttäjinä

Kohl ja Finkelstein (2007a) tutkivat eksperttien ja noviisien eroja ongelmanratkaisijoina, kun opetuksessa käytettiin sekä valmiita että oppilaiden konstruoi-mia erilaisia representaatioita. He toteavat eksperttien menestyvän noviiseja paremmin ongelmien ratkaisuisissa, joissa vaadittiin käyttämään erilaisia representaatioita. Ekspertit suoriutuivat nopeammin tehtävästä ja siirtyivät nopeammin käytettävissä olleiden representaatioiden välillä. Noviisien ratkaisut olivat usein monimutkaisempia, sillä ne sisälsivät keskimäärin enemmän käännöksiä eri representaatioiden välillä (esim. tekstistä siirrytään kuvaan, sitten voimakuvioon ja lopulta matemaattiseen yhtälöön tai näiden toistoa). Noviisioppilaat epäonnistuivat ratkaisussaan, jos ratkaisun etenemisen aikana tuli vaikeuksia, kun taas ekspertit suoriutuivat ongelmasta systemaattisemmin. Ekspertit erosivat merkittävästi noviiseista heidän representaatioidensa soveltamisessa, huolellisessa analyysissä, oman ratkaisunsa tarkistamisessa sekä työnsä johtamisessa ja suunnittelussa. Tutkijat olivat yllättyneitä huomattessaan, että noviisit käyttivät kuitenkin eri representaatioita ongelmaratkaisuisaan yhtä mielellään kuin ekspertit. On myös tutkimuksia mm. (Dufresne, Gerace &



Leonard, 1997; Kohl & Finkelstein, 2006; Kohl, Rosengrant & Finkelstein, 2007b), jotka kertovat menestymisestä oppimisessa, kun noviisioppilaat on saatu käyttämään erilaisia representaatioita, mutta yhden representaation käyttö ei ole ollut riittävä tae menestymiseen.

### **Käsitteisiin, suureisiin tai lakeihin liittyviä representaatioita**

Rosengrant ym. (2009) tutkivat *voimakuvion* käyttöä ongelman ratkaisun työkaluna. Koeryhmää oli opetettu käyttämään ja ymmärtämään erilaisia representaatioita. He toteavat, että keskimäärin 58 % oppilaista piirsi voimakuvion avuksi, kun he ratkaisivat monivalintakokeessa olleita ongelmia. Kun vastavasti aikaisemmin oli havaittu, että vain 15 % perinteisen opetuksen oppilaista oli käyttänyt voimakuviota avukseen ratkaistessaan ongelmia (Van Heuvelen, 1991). Kaikki ne oppilaat, jotka olivat piirtäneet voimakuvion oikein, osasivat myös useammin ratkaista ongelman oikein. Ne oppilaat, jotka olivat piirtäneet voimakuvion väärin, ratkaisivat ongelmatehtävän myös useammin väärin kuin oppilaat, joilla ei ollut mitään näyttöä voimakuvion käytöstä. Tutkijat huomauttavat, että vaikka voimakuviosta ei ollut näyttöä paperilla, ovat oppilaat voineet konstruoida sen päässään.

Van Heuvelen ja Zou (2001) tarkastelivat fysiikan ongelmia *fysikaalisten prosessien, energian ja työn, kuvauksina*. Oppilaita pyydettiin esittämään nämä prosessit eri representaatioilla. He toteavat tällä metodilla olevan monia etuja: 1) Kvalitatiiviset representaatiot auttavat oppilasta kehittämään kuvia, jotka antavat matemaattisille symboleille merkityksen. Prosessin sanallisen kuvauksen ja sen kuvallisen ja pylväsdiagrammisen representaation yhdistäminen auttaa oppilasta tuottamaan mentaalisia kuvia energian eri muodoista. Pylväsdiagrammi auttaa oppilaita "näkemään" energian säilymlain. Hahmotelma, jossa on valittuna tarkasteltava systeemi yhdistettynä pylväsdiagrammilla, auttaa oppilasta ymmärtämään fysikaalista prosessia ilman matemaattisen yhtälön käyttöäkin ja auttaa heitä käsitteellisesti ennustamaan, kuinka eri tekijöiden muutokset vaikuttavat prosessiin. 2) Fysiikassa käytetyt representaatiot toimivat siltana verbaalisen ja matemaattisen representaation välillä. Pylväsdiagrammi toimii siltana auttaen oppilaita siirtymään sanojen abstraktista maailmasta tai tosielämän hahmotelmien pintaominaisuuksista tieteellisen ja matemaattisen ilmaisun abstraktiin maailmaan. 3) Lisäksi nämä kvalitatiiviset representaatiot edistävät ymmärrystä ongelman ratkaisussa ja auttavat oppilaita pääsemään irti yhtälökeskeisistä naiivieista metodeista ja kehittymään eksperteiksi. 4) Päättävänä on esittää prosessia monin eri tavoin, mieluummin kuin ratkaista jokin tuntematon suure.

Van Heuvelen ja Zoun (2001) mielestä on tärkeää opettaa oppilaita konstruimaan fysikaalisten prosessien erilaisia representaatioita sekä opettaa heitä siirtymään eri suuntiin näiden representaatioiden välillä. Tutkijat esittävät, että voidakseen ymmärtää perusteellisesti fysiikan käsitteitä, on oppilaan kyettävä tunnistamaan ja käsittelemään käsitettä erilaisissa representaatioissa.

*Verbaalisen tekstin esitysmuodolla* saattaa olla myös vaikutusta oppimiseen. Franco ym. (2012) ovat tutkineet Newtonin lakien opetuksen yhteydessä oppi-

laiden episteemisten uskomusten roolia ja tiedon representaatioita kognitiivisissa ja metakognitiivisissa prosesseissa. Episteemisillä uskomuksilla tarkoitetaan yksilöiden uskomuksia tiedon luonteesta ja tietämisestä (Muis, 2007). Oppilaiden episteemiset uskomukset tutkittiin ja luokiteltiin rationaaliseksi tai metaforiseksi. Lisäksi oppikirjan teksti muokattiin esittämään vastaavia tiedon representaatioita: joko rationaalista (sisältäen lyhyitä väittämiä ja matemaattisia yhtälöitä) tai metaforista (sisältäen useampia esimerkkejä, jotka vetoavat yleiseen näkemykseen opetettavasta asiasta). Tutkimuksen mukaan yksilöiden episteemiset uskomukset ja oppikirjan sisältämän tiedon representaatiot vaikuttavat toistensa kanssa joko helpottaen tai rajoittaen fysiikan käsitteiden oppimista. Tutkimuksessa mitattiin oppimista kolmessa muodossa: kognitiivisia prosessointistrategioita, tekstin mieliin palauttamista ja virheellisten käsitysten muutoksia.

Tulosten mukaan kaikissa oppimisen alueissa oppilaat sitoutuivat syvällisemmin prosessoimaan heille määrättyä tekstiä, he pystyivät palauttamaan tekstistä mieleensä enemmän oikein ja vaihtoivat virheellisiä käsityksiään useammin, kun heidän episteemiset uskomuksensa olivat yhtenevät fysiikan tekstin tiedollisen representaation kanssa, kuin jos ne eivät olleet yhtenevät. Tutkijat esittävät lisäksi kolme mahdollista syytä sille, miksi oppilaan episteemisen uskomuksen ja tiedon representaation yhtenevyys saattaa helpottaa oppimista. Oppilaat saattavat havaita suuremman määrän informaatiota, joita sovitaa yhteen, kun heidän uskomuksensa ovat yhtenevät tehtävän tiedollisen luonteen kanssa. Toisaalta yksilön episteemisen uskomuksen ja tehtävässä olevan tiedon representaation luonteen yhtenevyys vähentävät yksilön työmuistin vaatimusta eli kognitiivista kuormaa ja vapauttavat siten resursseja informaation prosessoinnille helpottaen mieleen palauttamista ja tiedon uudelleen konstruointia. Lisäksi tutkijoiden mukaan motivaatio saattaa olla välittävä tekijä yksilön episteemisten uskomusten, tiedon representaatioiden ja erilaisten virheellisten käsitysten oppimisen välillä. Heidän mukaansa oppilaat kokevat sitoutuvansa enemmän oppimateriaaliin, joka on esitetty tavalla, mikä on yhdenmukainen heidän maailmannäkemyksensä kanssa. Tämä voi puolestaan motivoida oppilaita sitoutumaan tehokkaammin opiskeltavan materiaalin oppimisstrategioihin. (Franco ym., 2012.)

### **Oppilaan kyky käyttää eri representaatioita**

Nieminen, Savinainen ja Viiri (2010) ovat kehittäneet monivalintatestin – The Representational Variant of the Force Concept Inventory (R-FCI) - evaluoidakseen oppilaiden representationaalista yhdenmukaisuutta eli kykyä käyttää eri representaatioita yhdenmukaisesti isomorfisten kysymysten välillä. Representationaalisisessa yhdenmukaisuudessa ei otettu huomioon sitä, olivatko kysymysten vastaukset tieteellisesti oikein tai väärin. Tieteellisessä yhdenmukaisuudessa tarkasteltiin kysymysten oikeaa ymmärtämistä. Lukiolaisten vastausten perusteella he toteavat, että representationaalinen ja tieteellinen yhdenmukaisuus riippuvat suuresti aihepiiristä eli käsitteestä ja kontekstista. R-FCI testin tulosten mukaan voimakäsitteen ymmärrys oli parantunut. Tutkijat esittävät, että

tieteellinen yhdenmukaisuus eri representaatioiden käytön yhteydessä on melko vaativa taito. He vahvistavat käsityksen, että taito käyttää eri representaatioita tarjoaa olennaisen työkalun fysiikan ymmärtämiseen. Lisäksi tutkijat toteavat, että kyky tulkita erilaisia representaatioita on välttämätön, mutta ei riittävä ehto fysiikan käsitteiden oikealle ymmärtämiselle.

Aikaisemmassa julkaisussaan Savinainen, Nieminen, Viiri, Korkea-aho ja Talikka (2007) toteavat, että oppilaat osaavat käyttää representaatioita melko yhdenmukaisesti, vaikka he eivät ymmärtäisi tarkasteltavaa fysiikan osaa oikein. Vain noin neljännes oppilaista hallitsi lopputestissä oikein sekä representaation että käsitteen.

Meltzer (2005) on tutkinut oppilaiden vastauksia samoihin eri representaatiossa esitettyihin fysiikan ongelmiin. Käytetyt representaatiot olivat: verbaalinen, vektoridiagrammi, matemaattinen/ symbolinen tai graafinen muoto. Lievä enemmistö oppilaista (59 %) saattoi vastata oikein verbaaliseen kysymykseen N3. lain voiman ja vastavoiman suuruuserosta, mutta he antoivat väärän vastauksen diagrammimuotoisessa tehtävässä. Se mistä tämä sekaannus eri representaatioiden käytössä johtuu, ei ole tutkijan mukaan selvä. Vektorimuotoisessa tehtävässä oli myös huomattava osa sellaisia vastauksia (n. 40 %), joissa suurempi massa vaikuttaa pienemmän voiman. Tästä päätellen monilla oppilailla on virheellinen ymmärrys vektorin suunnasta eli nuoli, jonka pää kohdistuu kappaleeseen edustaakin voimaa, joka kohdistuu tähän kappaleeseen. Meltzerin mukaan monet fysiikan opettajat pitävät luultavasti verbaalisessa muodossa olevaa kysymystä hankalampana tulkita ja analysoida verrattuna diagrammiseen, matemaattiseen tai graafiseen representaatioon, jotka ovat tuttuja ja pitkään käytettyjä muotoja. Hän toteaa: "Tulosten mukaan opettajan näkemys tietyn representaation helppoudesta tai vaikeudesta tietyssä kontekstissa eivät täsmää suurimpaan osaan oppilaan näkemyksistä, kuten on havaittu kinemaattisten diagrammien yhteydessäkin". Tytöillä oli hiukan korkeampi virheellisyys graafisissa kysymyksissä kuin verbaalisissa, diagrammissa ja matemaattisissa kysymyksissä, varsinkin sähköstatiikassa, kun taas poikien onnistuminen representaatioissa oli moniselitteisempi. Jotakin näyttöä mahdollisista sukupuolieroista oli myös diagrammimuotoisissa virtapiiridiagrammeissa, sillä tytöillä oli niissä enemmän vaikeuksia poikiin verrattuna.

Savinainen ym. (2007) havainnot ovat samansuuntaisia, sillä oppilailla oli eri representaatioita testaavassa alkutestissä eroja representaatioiden tulkinnassa graafisen representaation ollessa muita vaikeampi. Oppilaiden vastaukset kysymyksiin saattoivat vaihdella eri representaatioiden välillä, vaikka ongelman konteksti pysyi samana. Kuitenkin lopputestissä vain yhdessä kysymyksessä verbaalinen kysymys oli oppilaille merkittävästi helpompi kuin vastaava graafisessa muodossa oleva kysymys.

### 2.2.3 Neuvoja erilaisten representaatioiden käytölle

Opettaja voi opettaessaan esittää erilaisia representaatioita ja pyytää oppilaita tulkitsemaan niitä. Oppilaita voidaan myös vaatia konstruoimaan representaatioita itsekin. Ainsworthin (2008) mukaan on olemassa kuitenkin näyttöä (Cox,

1996) siitä, että vaikka tiedät, kuinka representaatiota tulkitaan, se ei tarkoita, että tiedetään kuinka representaatio konstruoidaan oikein. Lisäksi vaikka tiedetään, kuinka representaatio konstruoidaan, se ei takaa, että osataan käyttää sitä ongelman ratkaisemiseen, jota varten se konstruointiin. Kun oppija työskentelee yksittäisen representaation kanssa, hänen täytyy hallita siihen liittyvät kognitiiviset tehtävät. Että voi oppia toimimaan useamman kuin yhden representaation avulla tarvitaan erilaisten representaatioiden suhteiden tuntemista, joka voi olla oppilaille hyvin vaikeaa.

Van Heuvelenin (1991) mukaan tavanomaisesti opetetulla fysiikan johdantokurssilla hyvin harva opiskelijoista käyttää loppukokeessa diagrammeja helpottamaan ongelmanratkaisua. Hän esittää kolme mahdollista syytä kvalitatiivisen ajattelun puuttumiseen. Ensiksikin, jos oppilaat eivät ymmärrä diagrammeissa esitettyjen perussuureiden (nopeuden ja kiihtyvyyden) eroa ja käsitteiden (kokonaisvoima on verrannollinen kiihtyvyyteen, eikä nopeuteen) merkitystä, niin me emme voi odottaa heidän myöskään käyttävän diagrammeja helpottamaan ongelmanratkaisua.

Toiseksi heillä on oppitunnilla liian vähän mahdollisuuksia harjoitella tarvittavia erikoistekniikoita näiden representaatioiden konstruointiseksi. Tämä asia voisi olla kuten musiikki-instrumentin soiton opiskelussa, jossa oppilaille opetetaan huolellisesti soittoon tarvittavat yksilölliset taidot, ja hän voi tämän jälkeen itsenäisesti harjoitella opettuja erikoistekniikoita. (Van Heuvelen, 1991.)

Kolmanneksi, useimmilla fysiikan kursseilla käytetty opetusmetodi perustuu oletukseen, että oppilas osaa ottaa vastaan selvästi esitetyn tiedon. Kuitenkin koska oppilaan ennakkokäsitykset ovat usein virheellisiä ja ovat konfliktissa opettujen käsitteiden kanssa, se hämmentää oppilaan ajattelua käsitteestä ja saattaa johtaa sekaannukseen. (Van Heuvelen, 1991.)

Wong ym. (2011) tarkastelivat suoraan ylös heitetyn pallon liikettä opetuksessa, jossa on käytetty erilaisia representaatioita: liikedigrammeja, vektordiagrammeja, voimakuvioita, verbaalista esitystä, yhtälöitä ja graafisia kuvauksia. Oppilaista suurin osa oli samaa mieltä tai erittäin paljon samaa mieltä oppituntien hyödyllisyydestä, kun opetus tapahtui eri representaatioiden avulla. He pitivät yleisesti oppitunteja mielenkiintoisina ja interaktiivisina ja vaativat vastaavanlaisia tunteja muihinkin aiheisiin. Oppitunnit auttoivat heitä erityisesti selventämään ja vahvistamaan ymmärrystään käsitteistä, jotka ovat suhteessa toisiinsa. Oppilaat arvelivat olevansa nyt kyvykkäämpiä soveltamaan näitä käsitteitä. Tutkijat uskovat, että kun oppilaille tarjotaan mahdollisuus konstruoida fysikaalisesta ilmiöstä erilaisia representaatioita ja näiden välisistä yhteyksistä keskustellaan, se voi auttaa oppilaita saavuttamaan syvällisemmän ja koherenttimman ymmärryksen fysiikan käsitteistä ja pääsemään paremmin käsiksi fysiikan ongelmatehtäviin.

Tapa, jolla ongelma esitetään, voi vaikuttaa siihen, käyttävätkö oppilaat tiettyä representaatiota, kuten voimakuvioita ongelman ratkaisussa. Tämän Rosengrant, Van Heuvelen ja Etkina (2005) havaitsivat monivalintatestissä, joka koostui voimia sisältävistä ongelmatehtävistä mekaniikan ja sähköstatiikan alu-

eelta. He jakoivat vastaukset kolmeen luokkaan: matalaan, keski ja korkeaan käyttöasteeseen, sen mukaan, kuinka paljon voimakuvioita oli ongelmanratkaisun yhteydessä konstruoitu. Tehtävän vaikeudella tai sillä, oliko tehtävä mekaniikan tai sähköstatiikan alueelta, ei ollut suurta merkitystä oppilaan valintoihin. Tutkijoiden mielestä näytti siltä, että kun tehtävä esitetään sanallisessa muodossa kuvan kanssa, oppilaat eivät mielellään piirrä voimakuviota ratkaistessaan ongelmaa. Tutkijat esittävät selityksen, että esitetty kuva auttaa oppilasta ymmärtämään ongelman tilanteen, eivätkä oppilaat koe enää tarvetta piirtää voimakuviota. Samoin jos tehtävässä kysytään voimaa, niin sana voima laukaisee oppilaassa skeeman voimakuvion piirtämisestä. Rosengrant ym. (2005.) Kohl ym. (2007b) toteavat ongelman asettelulla olevan mahdollisesti merkittävämmän vaikutuksen oppilaan representaatioiden käytölle kuin selkeällä suosituksella käyttää erilaisia representaatioita ongelmanratkaisussa.

Van Heuvelen ja Zoun (2001) mukaan luokkahuoneen todelliset strategiat ovat hyvin tärkeitä. Oppilaat oppivat oppimaan paremmin, jos he ymmärtävät eri pedagogisten strategioiden syyt, eli miksi he käyttävät kvalitatiivisia representaatioita. Tutkijat toteavat oppilaiden pitävän hahmotelmien konstruointia ja pylvädiagrammeja aktiviteetteina, jotka ovat riippumattomia energian säilymlain soveltamisesta ongelmaan. He ovat havainneet saman, kun oppilaat ovat konstruineet voimakuvioita ja soveltaneet niitä Newtonin 2. lakiin. Niitä pidetään irrallisina ja toisistaan riippumattomina aktiviteetteina.

Eksperitit ja noviisit eroavat toisistaan ongelmanratkaisussa käyttämässään ratkaisumetodeissa (Chi & Feltovich, 1979) ja myös erilaisten representaatioiden käytön suhteen (Van Heuvelen & Zou, 2001; Kohl & Finkelstein, 2007a). Van Heuvelenin ja Zoun (2001) mukaan oppilaat saattavat välttää kvalitatiivisten representaatioiden käyttöä opintojen alussa, koska he eivät ymmärrä, mitä niillä yritetään esittää. Oppilaasta saattaa tuntua järjenvastaiselta piirtää voimakuviota, jos hän ei ymmärrä voiman käsitettä tai erityyppisten voimien luonnetta, tai kuinka voimakuviota käytetään ongelmanratkaisun apuna. Tutkijat toteavat, että oppilaat hyväksyvät kvalitatiiviset representaatiot helpommin ja ymmärtävät niitä paremmin sekä käyttävät niitä tehokkaammin kvalitatiivisessa ajattelussa ja ongelmanratkaisussa, jos kvalitatiiviset representaatiot esitellään ennen vastaavia matemaattisia yhtälöitä. Jos oppilaat ovat tottuneet vain yhtälökeskeiseen opetukseen, saattaa heille olla vaikeaa käyttää uutta erilaisia representaatioita sisältävää metodia ongelman ratkaisussaan. Toiset pitävät ainoastaan yhtälöistä ja ajattelevat haaskaavansa aikaansa tai pitävät turhana tehtävänä esittää ongelma eri tavoilla. Noviiseihin, joilla on vähän käsitteellistä ymmärrystä, tämä ei tutkijoiden mukaan päde. Kun oppilaan ymmärrys asiasta lisääntyy, jotkut kvalitatiiviset representaatiot saattavat muodostua mentaalisina skeemoina, eikä representaatioiden konstruointi paperilla ole enää niin tarpeellinen. Kun oppilaat ovat oppineet eri representaatiotyypit ja ovat oppineet siirtymään eri representaatioiden väleillä kaikkiin suuntiin, paranee heidän ymmärryksensä asiasta. (Van Heuvelen & Zou, 2001.)

Vaikka useat edellä mainitut tutkimukset ovat raportoineet, että erilaisten representaatioiden käyttö parantaa ongelmanratkaisun suoritusta, Kohl ym.

(2007b) toteavat, ettei näin aina olekaan. Pelkästään erilaisten representaatioiden käyttö ei ole riittävä tae menestymiseen, vaan voi jopa johtaa alle keskiarvon suoritukseen. Hyvään menestymistulokseen liittyvät enemmänkin erilaisten representaatioiden oikea käyttö ja niiden representaatioiden läheinen yhteen sovittaminen. Haastavissa ongelmatehtävissä Kohl ym. (2007b) kokevat erilaisten representaatioiden käytön hyödylliseksi, mutta yksinkertaisissa ongelmissa erilaisten representaatioiden heikolla käytöllä ei ehkä ole positiivista vaikutusta oppilaan menestymiseen. Tutkijat vertailivat myös heikosti ja vahvasti johdettuja algebrapohjaisia johdantokursseja kahdessa yliopistossa. Vahvasti johdetulla kurssilla opetettiin selvien ratkaisuaskelten ja eri representaatioita sisältävien fysiikan ongelmien ratkaisun heuristiikkaa. Toisessa heikosti johdetussa lähestymistavassa oppilaille esiteltiin hyvät erilaisten representaatioiden ongelmanratkaisutekniikat ilman erityisten askelten opetusta. He havaitsivat, että molemmat kurssit olivat menestyksikkäitä erilaisten representaatioiden käytön edistämiseksi erilaisissa ongelmissa, ja oppilaiden esitykset olivat hyvin samanlaisia. (Kohl ym., 2007b.)

Luvussa 2.2 esiteltyjen tutkimusten mukaan voidaan yhteenvetona todeta, että visualisaatiolla ja erilaisten representaatioiden käytöllä on etunsa, ja niillä on tärkeä rooli fysiikan opetuksessa ja oppimisessa:

- 1) Oppilaat oppivat eri tavoilla, joten eri representaatiot ovat yhteensopivia erilaisten oppimistyylien kanssa ja mahdollisesti myös eri sukupuolten välillä (Felder & Silverman, 1988; Franco ym., 2012; Meltzer, 2005).
- 2) Visuaaliset apuvälineet tulee yhdistää verbaalisen ja tekstimuotoisen informaation kanssa käsitteellisessä ymmärtämisessä. Tällöin oppilaat voivat nähdä, kuinka nuo kaksi representaatiota sopivat yhteen (Vavra ym., 2011; Mayer & Moreno, 2002).
- 3) Representaatio täytyy olla sopiva opetuksen tavoitteisiin, tieteelliseen käsitteeseen ja oppilaiden tietotaustaan ja taitoihin nähden (Ainsworth, 2008; Vavra ym., 2011).
- 4) Oppilaat tarvitsevat tiedollista ja taidollista opetusta erilaisten representaatioiden käyttöön, ja heidän on kyettävä tunnistamaan ja käsittelemään tiettyä käsitettä erilaisissa representaatioissa ja myös osattava liikkua niiden välillä (Van Heuvelen & Zou, 2001; Rosengrant ym., 2009).
- 5) Oppilaiden tulee ymmärtää, miksi kyseinen representaatio on hyödyllinen fysiikan lain tai käsitteen ymmärtämiseksi, etteivät ne jää vain toisistaan irrallisiksi aktiviteeteiksi (Van Heuvelen, 1991; Van Heuvelen & Zou, 2001).
- 6) Erilaiset representaatiot mahdollistavat erilaisen tiedon esityksen tavoilla, jotka ovat oppilaan tarpeeseen sopivimmat. Samalla ne vaikuttavat mahdollisesti oppilaan motivaatioon asian oppimista kohtaan (Ainsworth, 2008).
- 7) Fysikaaliset representaatiot toimivat siltana verbaalisen ja abstraktimman, matemaattisen representaation välillä. Tällöin myös oppilaan ymmärrys



ongelman ratkaisusta ja käsitteiden välisestä suhteesta toisiinsa edistyy (Van Heuvelen & Zou, 2001; Wong ym., 2011).

- 8) Pelkkä eri representaatioiden käyttö ei takaa käsitteellistä oppimista, vaan eritoten niiden oikea käyttö, kyky tulkita ja sovittaa representaatiot läheisesti yhteen toistensa kanssa vaikuttavat positiivisesti oppilaan ymmärtämiseen (Kohl ym., 2007b; Nieminen ym., 2010).
- 9) Ongelman asettelu vaikuttaa siihen, miten oppilaat käyttävät representaatioita ratkaisuisaan (Kohl ym., 2007b; Rosengrant ym., 2005).
- 10) Eksperteillä ja noviiseilla on erilaiset tavat käyttää eri representaatioita, mikä opettajan on hyvä opetuksessaan tiedostaa (Chi & Feltovich, 1979; Kohl & Finkelstein, 2007a).

Tiedon erilaiset representaatiot tarjoavat oppilaalle täten keinot tunnistaa, ilmaista, keskustella ja hyödyntää tietoa sosiaalisessa vuorovaikutuksessa (Mislevy, Behrens, Bennett ym., 2010). Tässä mielessä ne toimivat sosiokulttuurisesta näkökulmasta katsottuna tiedon älyllisinä tai fyysisinä välineinä ja välittävät siten tietoa yksilölle tai yksilöiden välillä luokassa tapahtuvan keskustelun yhteydessä.

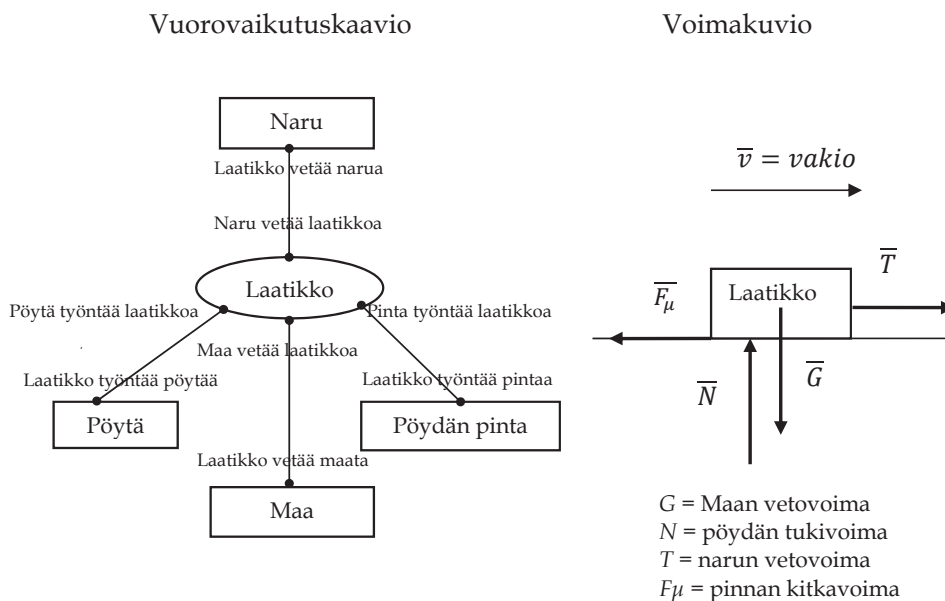
#### 2.2.4 Vuorovaikutuskaavio työkaluna voimakäsitteen ymmärtämiseen

Voimakäsitteen ymmärtäminen ei ole mahdollista ilman vuorovaikutuksen käsitettä. Brownin (1989) mukaan monet oppikirjat esittävät N3. lain vain lyhyesti mainiten sanallisessa muodossa annettuna totuutena (ks. luku 2.3.1). Lisäksi perinteisellä opetuksella näyttää olevan masentavan vähäinen vaikutus oppilaiden käsitykseen N3. laista. Brown (1989) esittää, että voiman käsite on ehdottomasti muotoiltava siten, että se sisältää N3. lain syvällisen ymmärtämisen, jossa voimat syntyvät aina ja vain kahden kappaleen välisissä vuorovaikutuksissa. Lisäksi kuten edellä todettiin, eri representaatioita voidaan käyttää selvittämään tieteellisen selityksen näkökulmia, jotka eivät ole niin selvästi nähtävissä, jos selitys annetaan kielellisessä tai matemaattisessa muodossa. Myös käsitteellisen muutoksen edustajana Vosniadou (1994, 2007b) kannustaa käyttämään opetuksessa mm. visuaalista representaatiota ja kulttuurisia artefakteja mentaalisen mallin muutoksen apuna (Vosniadou, Skopeliti & Ikospentaki, 2005). Nämä vaatimukset täyttyvät vuorovaikutuskaavion käytössä, joka on tämän tutkimuksen opetusjaksojen suunnittelun keskeinen piirre pyrittäessä edistämään oppilaiden ymmärrystä voimakäsitteestä sekä N3. ja N2. laeista. Vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio (ks. kuvio 2 - 4) on edellä esiteltyjen erilaisten representaatioiden joukossa luokiteltu diagrammisten representaatioiden joukkoon (ks. kuvio 2 - 3).

Opetusjaksoissa käytetty vuorovaikutuskaavio toimii ulkoisena, visuaalisena representaationa, jonka avulla oppilaalle havainnollistetaan eri fysikaalisissa tilanteissa kappaleiden välisiä vuorovaikutuksia. Vuorovaikutuskaavion käytön tavoitteena on muuttaa oppilaan sisäistä, virheellistä representaatiota voimakäsitteestä. Mekaniikan ongelmatehtävissä (kuten kuviossa 2 - 2) yleensä



piirretään ensin tilannekuva, seuraavaksi konstruoidaan voimakuvio ja mahdolliset ongelmanratkaisussa tarvittavat liikeyhtälöt. Voimien esittämiseen käytetään sinänsä hyödyllistä voimakuviota, jossa voimavektorit esittävät jokaista tiettyyn kappaleeseen vaikuttavaa voimaa. Tämä ei kuitenkaan ole välttämättä riittävä representaatio korostamaan voimien vuorovaikutusluonnetta, varsinkin, jos voimia ei nimetä huolellisesti (Savinainen & Viiri, 2005). Se, että voimat syntyvät nimenomaan vuorovaikutuksista tulee selkeästi näkyville vuorovaikutuskaavion avulla, joka toimii siltarepresentaationa konkreettisen fyysisen tilanteen ja abstraktimpien voimakuvion ja Newtonin lakien välillä (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005).



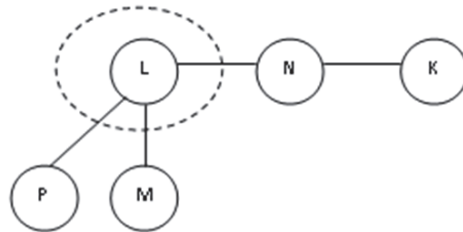
KUVIO 2-4. Laatikon vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio tilanteessa, jossa laatikkoa vedetään narulla pöydän pintaa pitkin vakionopeudella.

Tarkastellaan esimerkkinä kuvion 2 - 4 esittämää fyysikaalista tilannetta, jossa laatikkoa vedetään narulla vaakasuoraa pöydän pintaa pitkin vakionopeudella. Tässä tutkimuksessa käytetyssä vuorovaikutuskaaviossa tarkasteltava kappale merkitään ellipsin sisään ja siihen vuorovaikuttavat kappaleet suorakaiteiden sisään. Vuorovaikutuskaavioon otetaan mukaan vain tarkasteltavan kappaleen vuorovaikutukset eikä huomioida näin ollen mm. maan vetovuorovaikutusta muihin kappaleisiin. Kappaleiden väliset vuorovaikutukset tarkasteltavan kohteen kanssa merkitään kappaleita yhdistävällä viivalla. Lisäksi vuorovaikutus selitetään vielä kirjallisesti ja/tai sanallisesti, mikä selventää vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuutta. Vuorovaikutuksen voimaparin yhtäsuuruutta voidaan korostaa siten, että piirretään lisäksi tarkasteltavan kohteen ympärille ellipsi katkoviivalla leikkaamaan vuorovaikutusviiva sen keskeltä, jolloin oppilas havait-

see vuorovaikutuksen olevan symmetrinen. Molemmille kappaleille jää vuorovaikutusviivan puolikas samaan tapaan kuin poikkiviiva katkaisee vuorovaikutusnuolen Savinaisen SRI-diagrammissa (ks. kuvio 2 - 8). Ajatus poikkiviivan käytöstä on syntynyt oppitunnilla oppilaan aloitteesta (Savinainen, A., sähköposti, 10.9.2012). Lisäksi katkoviivalla piirretty ellipsi rajaisi tarkasteltavan kappaleen ja havainnollistaisi kappaleeseen kohdistuvia voimia, kuten Hinrichs (2005) mainitsee. Pöydän tukivuorovaikutus ja pöydän pinnan kitkavuorovaikutus on huomioitu erikseen kappaleen eri osien aiheuttamaksi. Tällöin kappaleeseen, joka ei ole vain levossa, vaan liikkuu tai on lähdössä liikkeelle ulkoisen voiman vaikutuksesta, vaikuttavat vuorovaikutusviivat vastaavat lukumäärältään täsmälleen voimavektoreiden lukumäärää voimakuviossa. Voimakuviossa voimavektorit esitetään vedoissa nuoli kohteesta pois päin ja työntöissä kohteeseen päin. Voimat esitetään perinteisillä tunnuksilla ja pyritään myös täsmällisesti nimeämään. Tutkimuksessa käytetty vuorovaikutuskaavio on oppikirjojen (Hatakka ym., 2004; Hatakka ym., 2005) mukainen. Oppikirjassa käytetään vuorovaikutuskaavion yhteydessä sanoja veto ja työntö, jotka luokittelevat vuorovaikutusten aiheuttamat voimat vetoihin ja työntöihin ja toisaalta auttavat oppilasta tunnistamaan kappaleeseen vaikuttavan voiman suunnan.

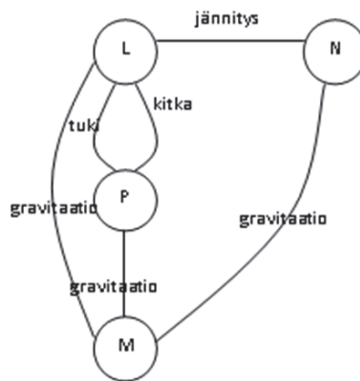
Vuorovaikutuskaaviosta on esitetty erilaisia versioita ja nimityksiä. Hestenes (1996), Turner (2003) ja Hinrichs (2005) nimittävät vastaavaa mallinnustyökalua nimellä "System Schema". Jimenez ja Perales (2001) sekä Savinainen ym., (2005) kutsuvat omaa esitystään SRI-diagrammiksi (Symbolic Representation of Interactions). Mualem ja Eylon (2007) ovat kehittäneet selvästi erilaisen vuorovaikutusten luokittelutavan ristiintaulukoimalla kappaleet ja niiden väliset vuorovaikutukset ja esittämällä ne sen jälkeen lohkokaaviossa (Block-diagram). Tarkastellaan seuraavaksi näitä vuorovaikutusten erilaisia esitystapoja vastaavassa tilanteessa kuin kuviossa 2 - 4.

Hestenes (1996) on kenties ensimmäisenä esittänyt idean systeemin rakenteen ja vuorovaikutusten kuvaamisesta "System Schema"- nimisellä representaatiolla. Hestenesin (1996) mukaan yksinkertaisten mekaanisten systeemien rakenne ei ole oppilaille välttämättä selvä. Heille voi olla vaikeaa valita tarkasteltava systeemi, tunnistaa asiaan kuuluvat ominaisuudet ja vastaavasti osata jättää huomiotta asiaankuulumaton informaatio (Hestenes, 1996). System Scheman ajatellaan kehittävä edellä mainittuja taitoja. Vuorovaikuttavat kappaleet esitetään Hestenesin System Schemassa (ks. kuvio 2 - 5) ympyröiden sisään nimetyillä symboleilla pöytä (P), laatikko (L), naru (N), maa (M) ja käsi (K). Vuorovaikutukset kuvataan viivalla, ilman mainintaa vuorovaikutustyypistä. Tarkasteltava kohde rajataan katkoviivalla. (Hestenes, 1996.)



KUVIO 2-5. Hestenesin esittämä versio System Schemasta (Hestenes, 1996).

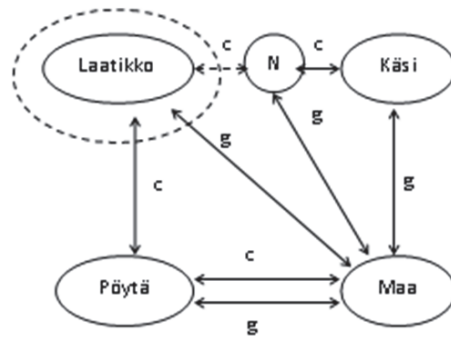
Turnerin (2003) System Schemassa (kuvio 2 – 6) kaikkia kappaleita esitetään samalla ympyrämuodolla, jonka sisällä on kappaletta kuvaava symboli. Kappaleita yhdistää vuorovaikutusviiva, joka kuvaa kumpaankin kappaleeseen vaikuttavaa voimaparia. Jokaiselle vuorovaikutukselle tunnistetaan sitä esittävä voimatyyppi. Turner tunnistaa kaaviossaan erikseen pöydän (P) ja laatikon (L) väliset kosketuvuorovaikutukset, kitka- ja tukivuorovaikutus. (Turner, 2003.)



KUVIO 2-6. Turnerin versio System Schemasta (Turner, 2003).

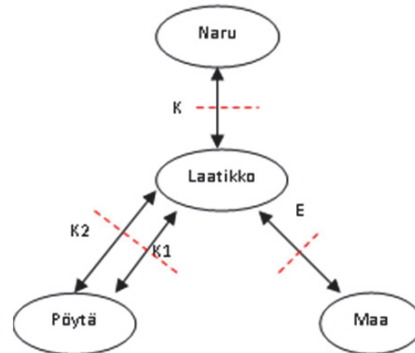
Hinrichsin (2005) ”System Schema” (ks. kuvio 2 – 7) on esitetyistä visuaalisista diagrammeista monipuolisin esitys fysikaalisen tilanteen vuorovaikutuksista, mutta samalla ehkä liian monimuotoinen lukiofysiikkaan. Hän on käyttänyt diagrammiesitystään yliopistotason fysiikan opetuksessa. System Scheman konstruoinnissa tarkasteltavat kohteet esitetään ilman tarkkaa muotoa tai rakennetta. Vuorovaikutusten nimeämisessä käytetään neljää vuorovaikutustyyppiä: gravitaatio (g), sähköinen (e) ja magneettinen (m) sekä yksi kosketusvuorovaikutustyyppi (c). Kaikki kosketusvuorovaikutukset (normaalivoima, kitka, jne.) sisältyvät yhteen vuorovaikutustyyppiin. Kaksipäiset vuorovaikutusnuolet esitetään kiinteällä viivalla, jos vuorovaikutus ei muutu ajan suhteen, muulloin katkoviivalla. Tarkasteltavan systeemin rajaamiseen ja korostamiseen Hinrichs käyttää kaaviossaan katkoviivaa, kuten Hesteneskin. Katkoviivalla voidaan myös näyttää tarkasteltavaan systeemiin vaikuttavien voimien luku-

määrän. Voimia on yhtä paljon kuin kohtia, joissa katkoviiva leikkaa vuorovaikutusnuolet. Gravitaatiovuorovaikutus esitetään vain suurten kohteiden (maa, kuu, jne.) välillä. Hinrichsin ja myös Turnerin System Schema poikkeaa Hestenesin mallista siten, että Hestenes ei ota huomioon kuin tarkasteltavaan kohteeseen vaikuttavat gravitaatiovuorovaikutukset. Hestenes ei huomioi myöskään kohteen ulkopuolisten kappaleiden välisiä vuorovaikutuksia, esimerkiksi maan ja pöydän välistä kosketus- ja gravitaatiovuorovaikutusta. Voimakuviossa voimavektorin tunnuksessa käytetään vastaavia tunnuksia kuin vuorovaikutuskaaviossa, kuten,  $\vec{F}_{P \rightarrow L}^c$  tarkoittaen, että pöytä P työntää laatikkoa L kosketusvuorovaikutuksessa c. (Hinrichs, 2005.)



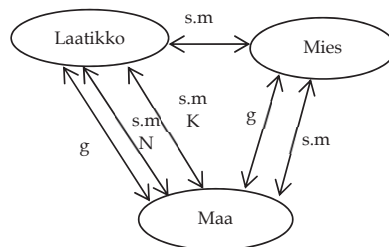
KUVIO 2-7. Hinrichsin versio System Schemasta (Hinrichs, 2005).

Savinainen ym., (2005) ovat käyttäneet tutkimuksessaan vuorovaikutusten kuvaamiseen SRI-diagrammia, joka heidän mukaansa toimii siltarepresentaationa konkreettisen fyysisen tilanteen ja abstraktimman voimakuvion välillä. Kuviossa 2 - 8 esitettyssä diagrammissa käytetyt kaksisuuntaiset nuolet näyttävät kahden kappaleen välisen vuorovaikutuksen. Tällä korostetaan, että molemmat kappaleet osallistuvat vuorovaikutukseen, ja vuorovaikutus on symmetrinen eli koska voima on vuorovaikutuksen suuruutta kuvaava suure, molempiin kappaleisiin vaikuttava voima on yhtä suuri. Käyttämällä SRI-diagrammia erilaisissa tilanteissa oppilaat ymmärtävät, että N3. laki on pätevä kaikissa tilanteissa kontekstuaalisesta piirteestä huolimatta. Kuvan SRI-diagrammissa laatikko on kosketuksissa pöytään ja käteen, joten siitä syntyy kaksi kosketusvuorovaikutusta. Kosketusvuorovaikutus (K) pöydän kanssa jaetaan kahteen alavuorovaikutukseen: kitkavuorovaikutukseen (K1) (vaakakomponentti) ja normaalivoima vuorovaikutukseen (K2) (pystykomponentti). Gravitaatiovuorovaikutus maan ja laatikon välillä kuvataan etävuorovaikutuksena (E). (Savinainen ym., 2005.)



KUVIO 2-8. Savinaisen versio SRI-diagrammista (Savinainen ym., 2005).

Jimenezin ja Peralesin (2001) esittämässä SRI-diagrammissa erotellaan gravitaatiovuorovaikutus ( $g$ ) sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta ( $s.m.$ ), ja kaaviota on yksinkertaistettu eliminoimalla ongelman ratkaisussa tarpeeton. Heidän SRI-diagramminsa eroaa muista edellä esitellyistä kaavioista siten, että naru ( $N$ ) ja pöytä ( $P$ ) on eliminoitu pois, sillä naru/ pöytä ajatellaan voiman välittäjinä kappaleeseen (Jimenez, sähköposti, 20. elokuuta, 2012). Tarkasteltavaa systeemiä ei ole rajattu katkoviivalla ja kosketusvuorovaikutukset merkitään sähkömagneettisena vuorovaikutuksena ( $s.m.$ ). Kappaleen ja maan välillä on kaksi sähkömagneettista voimaa, jotka pitää erottaa toisistaan.



KUVIO 2-9. Jimenezin ja Peralesin versio SRI-diagrammista (Jimenez & Perales, 2001).

Jimenez ja Perales (2001) pohtivat artikkelissaan voiman vektoriesityksen tuomia ongelmia voiman käsitteen ymmärtämisessä. Vektorikuvassa  $\rightarrow$  vasen-oikea asetelma pakottaa oppilaan syy-seuraus tulkintaan sekä  $\uparrow$  ylös-alas asetelma ehdottaa alemman kohteen kuuluvan ylemmän kohteen luokkaan. Tästä seuraisi kaksi yleisintä oppilaan tekemää virhettä: tunnistaa voima kappaleen ominaisuudeksi ja sekoittaa voiman suunta liikkeen suuntaan. Tutkijat esittävät voiman vektorikuvion siirtämistä oppilaan myöhemmille ikävuosille, käyttäen sen sijaan SRI-diagrammia, kunnes oppilaat ovat hankkineet voiman käsitteen merkittävimmät ominaisuudet. (Jimenez & Perales, 2001.)

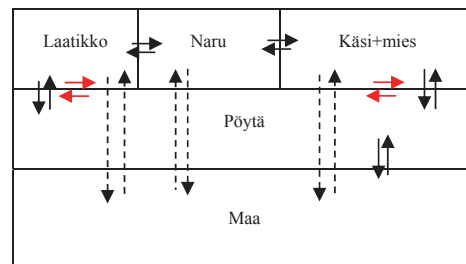
Lohkokaaviossa (ks. kuvio 2 - 10) tarkastellaan kohdetta sen koko ympäristössä. Visuaalisen mallin strategiaan kuuluu ennen voimakuviota kolme vai-

hetta. 1. Kootaan lohkokaaavion avulla systeemin komponentit, ennen kuin kiinnitetään huomio tiettyyn kohteeseen. 2. Kootaan taulukkoon kaikki kappaleiden väliset vuorovaikutukset systeemissä. Taulukon merkinnät tarkoittavat seuraavaa: + ”on vuorovaikutus”, - ”ei ole vuorovaikutusta” ja 0 ”kappale ei voi vuorovaikuttaa itsensä kanssa”. Konstruointia ohjataan opettajan kysymyksillä siten, että mikään lyhyen kantaman ja/tai pitkän kantaman vuorovaikutus ei jää huomiotta. 3. vaiheessa lohkokaavioon merkitään kaikki voimaparit käyttäen hyväksi vuorovaikutustaulukkoa. Tämän jälkeen valitaan tarkasteltava kohde, jolle kerätään kaikki siihen vaikuttavat voimat lohkokaaviosta. Ohjaavilla kysymyksillä korostetaan N3. lakia ja varmistetaan kaikkien voimien mukanaolo voimakuviossa. Voimien suhteellisia suuruuksia ei tarkastella. Etävuorovaikutukset erotetaan kosketusvuorovaikutuksista katkoviivalla. (Mualem & Eylon, 2007.) Tämä kahden eri representaation käyttö saattaa tehdä esityksestä monimutkaisen ja aikaa vaativan, vaikkakin tarjoaa erilaisen vaihtoehdon.

Askel 2. Vuorovaikutusten taulukko

	Käsi+mies	Naru	Laatikko	Pöytä	Maa
Käsi+mies	0	+	-	+	+
Naru	+	0	+	-	+
Laatikko	-	+	0	+	+
Pöytä	+	-	+	0	+
Maa	+	+	+	+	0

Askel 1, 3. Lohkokaavio



KUVIO 2-10. Lohkokaavio esitys vuorovaikutuksista (Mualem &amp; Eylon, 2007).

Taulukossa 2 - 1 on esitetty tärkeimpiä eroja sille, miten nämä erilaiset esitykset mallintavat fysikaalisia kohteita ja niiden välisiä vuorovaikutusprosesseja. Joissakin otetaan mukaan kaikki systeemin kappaleiden väliset vuorovaikutukset, ja jotkut yksinkertaistavat tilannetta tarkastellen vain tietyn kohteen lähivuorovaikutuksia.

Toinen ero esiintyy tavassa, jolla merkitään tarkasteltava kohde ja visualisoidaan sen vuorovaikutukset. Turnerin ja tässä tutkimuksessa käytetyssä vuorovaikutuskaaviossa ei käytetä vektoreita vaan yhdistysviivoja kappaleiden välisen vuorovaikutuksen kuvaamiseen. Tällä on ainakin se etu, että erotetaan voimavektorit voimakuviossa ja vuorovaikutusviivat vuorovaikutuskaaviossa kahdeksi eri esitystavaksi, koska muuten oppilaat saattavat ihmetellä kahden eri kuvion piirtämistä.

Kolmanneksi tutkimuksen opetusjaksoissa käytetty ja oppikirjassa esitetty vuorovaikutuskaavio on ainoa, joka esittää erikseen pöydän tukivuorovaikutuksen koskemaan koko pöytää erotuksena kitkavuorovaikutuksesta, joka syntyy vuorovaikutuksesta pöydän pinnan kanssa. Muissa paitsi Hinrichsin ja Hestenesin System Schemoissa tämä on esitetty kahtena eri vuorovaikutusviivana/nuolena kappaleiden välillä.

TAULUKKO 2-1. Eriolaisten vuorovaikutusrepresentaatioiden ominaisuuksien vertailu.

Vuorovaikutus- kaaviot	System Schema Hinrichs	System Schema Turner	SRI-diagram Savinainen ym.	Vuorovaikutus- kaavio	Lohko diagrammi	System Schema Hestenes	SRI-diagram J&P
<b>Ominaisuudet</b>	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei
Mukana kaikki kap- paleet ja symbolit	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei
Vuorovaikutus- tyyppien erottelu ja nimeäminen	Kosketus c, gravitaatio g, sähköinen e, magneettinen m	Gravitaatio g ja kosketus- voimatyytit: jännitys t, kitka K, tuki N jne.	Kosketus K ja etä- vuorovaikutukset E	Suullisesti tai kirjoi- tettuna kosketus- ja etävuorovaikutus	Ei	Ei	Gravitaatio g ja sähkömagn. s.m
<b>Vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuus</b>	Graafisesti	Graafisesti	Graafisesti	Kirjoitettuna ja graafisesti	Taulukoitu ja graafisesti	Graafisesti	Graafisesti
<b>Vuorovaikutuksen merkintä</b>	2-suuntainen nuoli	Viiva	2-suuntainen nuoli	Viiva	2 nuolta molempiin suuntiin	Viiva	2-suuntainen nuoli
<b>Kappaleiden välinen graavitaatio</b>	Kaikki	Kaikki	Yksi	Yksi	Kaikki	Yksi	Kaikki
<b>Kohteen erottaminen</b>	Katkoviivalla	Ei	Sijoitettu keskelle	Ellipsi, muut suora- kulmiossa	Ei	Katkoviivalla	Ei
<b>Kitka- ja tukivuoro- vaikutus erotettu</b>	Ei	2 viivaa	2 nuolta	2 eri kappaletta pinta ja pöytä	4 nuolta	Ei	2 nuolta
<b>Vuorovaikutuksen symmetria</b>	Ei	Ei	(Kyllä, punainen poikkiviiva)	Ei	Ei	Ei	Ei
<b>Vuorovaikutusviivoja yhtä monta kuin voi- mia</b>	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä
<b>Käyttötaso</b>	Yliopisto	Lukio	Lukio	Lukio	Yläaste	Yliopisto	Yläaste



Vuorovaikutuskaavion kaltaisen representaation käytöstä ja hyödyllisyydestä on esitetty tutkimuksia tutkijan omassa opetuksessa (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005). He, Turner (2003) ja Hestenes (1996) esittävät, että ”vuorovaikutuskaavio” auttaa oppilasta voimakäsitteen ymmärtämisessä seuraavasti:

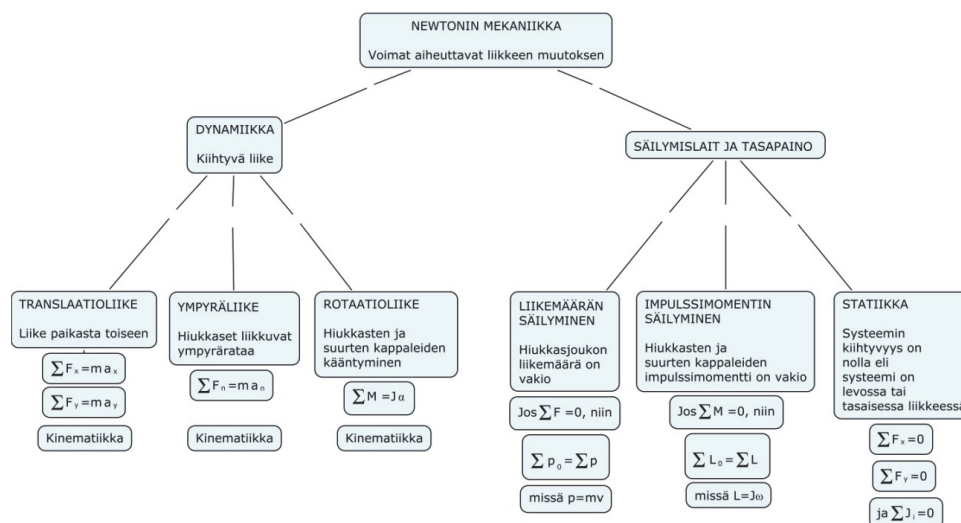
- Vuorovaikutuskaavio antaa visuaalisen ja käsitteellisen esitystavan kokeellisille tuloksille, joilla osoitetaan N3. laki (Hinrichs, 2005). Se toimii siltana konkreettisen fysikaalisen tilanteen ja abstraktimman diagrammisen ja matemaattisen representaation välillä (Savinainen ym., 2005).
- Arvioidaan auttavan oppilasta nimeämään vastavoiman oikein erilaisissa fysikaalisissa tilanteissa (Turner, 2003). Tästä ei ole vielä kuitenkaan esitetty näyttöä.
- Auttaa oppilasta ymmärtämään voimaparin symmetrisyyden ja voittamaan intuition dominanssiperiaatteesta erilaisissa konteksteissa (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005).
- Vertaamalla vuorovaikutuskaaviota ja voimakuviota oppilas tietää, että kaikki voimat on löydetty sekä pystyy yksilöimään tietyn voiman aiheuttajan (Turner, 2003).
- Estää mahdollisen ylimääräisen ”liikevoiman” esiintymisen. Jos toisella kappaleella ei ole kosketusvuorovaikutusta tarkasteltavaan kappaleeseen, niin ei tähän voi kohdistua kosketusvoimakaan (Turner, 2003; Savinainen & Viiri, 2005).
- Auttaa oikein kuvailemaan ja analysoimaan fysikaalisen systeemin rakennetta (varsinkin monimutkaisissa systeemeissä) kohteen ja kappaleiden välisen vuorovaikutusten avulla. Huomataan myös systeemin ulkopuoliset vuorovaikutukset muihin kappaleisiin (Hestenes, 1996; Hinrichs, 2005).
- Tunnistetaan systeemin sisäiset voimat vuorovaikutusviivoista, jotka eivät ylitä systeemin rajaviivaa. Ulkoiset voimat ylittävät rajaviivan (Turner, 2003; Hinrichs, 2005).
- Auttaa mahdollisesti ymmärtämään ja luomaan täsmällisen voimakuvion, josta voidaan kirjoittaa N2. lain liikeyhtälöt (Savinainen ym., 2005). Tästä ei ole vielä kuitenkaan esitetty näyttöä.

Savinainen ym. (2005) ja Hinrichs (2005) kertovat oppilaiden menestyneen erinomaisesti Force Concept Inventory (FCI; Halloun, Hake, Mosca & Hestenes, 1995) -testin N3. lakia testaavissa kysymyksissä opetuksensa jälkeen, jossa oli käytetty vuorovaikutuskaavion kaltaista välinettä. He toteavat samansuuntaisesti, että vaikka ei voida antaa osoitusta siitä, oliko oppilaiden menestymisen pääsyynä vuorovaikutuskaavio, niin sillä on merkittävä osansa oppilaiden N3. lain oppimisessa. Oppilaat ovat tyytyväisiä, kun heillä on järkeenkäypä mekanismi selittää N3. lain voimaparin yhtäsuuruus saman vuorovaikutuksen ominaisuutena. (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005.) Savinainen ym. (2005) toteavat, että N2. lain oppimisen kanssa oli suurempia vaikeuksia kuin N3. lain kanssa, sillä melkein kaikki oppilaat osasivat kurssin lopussa vuorovaikutuksen symmetrisyyden kontekstista riippumatta. Samoin oppilailla ei ollut ongelmia tunnistaa elottomaan kappaleeseen kohdistuvia voimia, kun he alkoivat ajatella voimat vuorovaikutuksista syntyneenä (Savinainen ym., 2005). Koska oppimistulokset ovat parantuneet tutkijan omassa opetuksessa, on syytä täydentää niitä

tutkimalla, miten oppilaat oppivat, jos opetuksen toteuttavatkin transferopettajat. Transferopettajat eivät itse ole aikaisemmin olleet fysiikan opetuksen tutkimuksessa mukana, ja eivät ole olleet suunnittelemassa tutkimuksen kohteena olevaa opetusta ja opetusmateriaalia. Tämä tarjoaa mahdollisuuden tutkia oppimista ja opetuksen toteutusta normaalissa kouluympäristössä, missä ei todennäköisesti ole samanlaista opetuksen tutkimuksen asiantuntemusta kuin kokeneen tutkijan opettaessa. Tästä metodisesta ongelmasta, johon palataan myöhemmin luvussa 2.4, ovat mm. Leach ym. (2003) maininneet.

### 2.3 Newtonin mekaniikan opetuksen ja oppimisen haasteita

Voimakäsité ja Newtonin lait muodostavat klassisen mekaniikan perustan ja ne ovat myös lukion fysiikan opetussuunnitelmassa keskeisessä asemassa. Newtonin mekaniikan osaaminen on fysiikassa tärkeä asia, sillä sen pieni käsitejoukko on perusta monille erilaisille sovelluksille ja niihin törmätään muodossa tai toisessa lähes kaikissa lukion fysiikan kursseissa. Näitä eri sovelluskohteita kuvastaa hierarkkinen kartta kuviossa 2 - 12.



KUVIO 2-11. Newtonin mekaniikkaa esittävä hierarkkinen kartta (Van Heuvelen, 1991, s. 894).

Seuraavaksi esitellään lyhyesti Newtonin lait ja aikaisempien tutkimusten löydöksiä oppilaiden kohtaamista oppimisen vaikeuksista voimakäsitteen ja Newtonin lakien opetuksen jälkeen.

### 2.3.1 Newtonin lait

Voimakäsite on osa fysikaalista tietorakennetta, jonka ylimmällä tasolla olevalla teorialla pyritään ymmärtämään ja selittämään liikeilmiö. Klassisen mekaniikan teoria nojautuu absoluuttiseen ajan käsitteeseen ja mekaniikan peruslakeihin: Newtonin peruslait 1, 2 ja 3, voimien yhteenlaskulaki ja vuorovaikutusten lait. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R., 1995.)

Isaac Newton julkaisi 1687 teoksessaan *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* liikkeen kolme peruslakia, joista on esitetty erilaisia käännöksiä ja tulkintoja (Galili & Tseitlin, 2003). Tutkimuksessa käytetyissä oppikirjoissa (*Physica 1*, *Physica 4*) Newtonin kolme peruslakia, joista käytetään jatkossa lyhenteitä N1., N2. ja N3. laki, on esitetty seuraavasti:

N1.: "Kappale jatkaa liikettään suoraviivaisesti muuttumattomalla nopeudella tai pysyy levossa, jos se ei ole vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa." (Hatakka ym., 2004, s. 86).

N2.: "Kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima  $\sum \vec{F}$  antaa kappaleelle kiihtyvyyden  $\vec{a}$ . Kappaleeseen vaikuttavan kokonaisvoiman ja kappaleen saaman kiihtyvyyden välillä on yhteys  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ ." (Hatakka ym., 2005, s. 55).

N3.: "Kahden kappaleen vuorovaikutuksesta syntyvät voima ja vastavoima ovat yhtä suuria mutta vastakkaisuuntaisia, ja ne vaikuttavat eri kappaleisiin." (Hatakka ym., 2004, s. 81).

Normaalisti Newtonin ensimmäistä (N1.) lakia, jota kutsutaan myös jatkavuuden laiksi, pidetään oppikirjoissa vain toisen lain erikoistapauksena, joka ei tee Kurki-Suonion, K ja Kurki-Suonion, R (1995) ja Galilin ja Tseitlinin (2003) mukaan oikeutta lain syvällisyydelle. Newtonin ensimmäistä lakia (inertia laki) voidaan pitää voiman kvalitatiivisena määrittelynä tai empiirisenä asetelmana kuvaamassa vapaiden kappaleiden liikettä (Jammer, 1999, s. 124). Newtonin ensimmäinen laki koskee vapaita kappaleita, jotka eivät ole vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa. Kaikki vapaat kappaleet liikkuvat tasaisesti toistensa suhteen ns. inertiaalikoordinaatistoissa. Newtonin lait eivät ole voimassa kaikissa koordinaatistoissa, sillä jos tällaista vuorovaikutuksetonta kappaletta katsotaan kiihtyvistä koordinaatistosta, sen nopeus muuttuu. Ensimmäisellä lailla suljetaan kiihtyvässä liikkeessä olevat koordinaatistot Newtonin lakien sovellusalueen ulkopuolelle. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R., 1995; Maa-lampi, sähköposti, 17. marraskuuta, 2011.) Tästä johtuen tässä tutkimuksessa kaikkia eri liiketiloiissa olevia kappaleita tarkastellaan N2. lain avulla, mikä poikkeaa koulufysiikan perinteisestä luokittelusta, jossa lepotilassa tai tasaisessa liikkeessä olevan kappaleen liiketilaa tarkastellaan usein N1. lailla.

Newtonin toinen (N2.) laki sisältää voimakäsitteen kvantitatiivisen merkityksen vuorovaikutuksen voimakkuutta kuvaavana suureena (Jammer, 1999, s. 124). Kappaleen ollessa vuorovaikutuksessa toisten kappaleiden kanssa saadaan sen liike ratkaistua N2. lailla. Kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima  $\sum \vec{F}$  muuttaa kappaleen liiketilaa siten, että kappaleen liikemäärän  $\vec{p}$  muuttumisnopeus on yhtä suuri kuin vaikuttava kokonaisvoima:

$$\Sigma \bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt} .$$

Oppikirjoissa laki kirjoitetaan yleensä muotoon  $\Sigma \bar{F} = m\bar{a}$ , jossa  $m$  on kappaleen massa ja  $\bar{a}$  sen kiihtyvyys.

Newtonin kolmas (N3.) laki määrittelee voimakäsitteen, ilmaisten kaikkien voimien liittyvän kahden kappaleen välisiin vuorovaikutuksiin.

### 2.3.2 Newtonin 3. lain oppimisen vaikeuksia

Useissa tutkimuksissa mm (Champagne ym., 1980; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985) on oppilailla todettu olevan virheellisiä käsityksiä voimasta ja liikkeestä. Hestenes ym. (1992) ja Hestenes (1996) luokittelevat voimien yleisimmät uskomukset eli virheelliset käsitykset voimista Newtonin lakien mukaan kolmeen luokkaan. Suluissa olevat luvut kuvaavat virheellisen käsityksen omaavien oppilaiden osuutta yliopistofysiikan opetuksen jälkeisessä lopputestissä (Hestenes, 1996).

N1) ”Voima aiheuttaa liikkeen” kappaleella on sisäinen voima, impetus, joka pitää kappaleen liikkeessä. Tätä kutsutaan *Impetus periaatteeksi* (n. 60 %)

N2) ”Voima on toimintaa” ts. Aktiivinen voima (esim. poika heittää palloa) on liikkeen syy. Ei tunneta passiivisia voimia, kuten esim. elottoman pöydän tukivoimaa (n. 40 %)

N3) ”Voima on sotaa” suurempi (massa tai koko) tai aktiivisempi kappale aiheuttaa suuremman voiman kahden kappaleen välisessä vuorovaikutuksessa. Tätä kutsutaan *Dominanssi periaatteeksi* (n. 90 %).

Oppilaiden arkielämän kokemuksista nousevat virheelliset käsitykset ovat niin pysyviä, että opetuksen jälkeen oppilailla on edelleen vaikeuksia ymmärtää voimakäsitettä ja Newtonin lakeja (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992; Savinainen & Scott, 2002). Lisäksi on todettu, että perinteinen fysiikan opetus tuo vain vähän muutosta näihin uskomuksiin (Halloun & Hestenes, 1985), ja heikko osaaminen ei riipu opettajasta eikä opetustyylistä (Halloun & Hestenes, 1985; Hoellwarth & Moelter, 2011). Hake (1998a) ja Hoellwarth ja Moelter (2011) ovat vahvistaneet tämän tuloksen ja näyttäneet, että vuorovaikutteisella (interactive-engagement) opetuksella voidaan parantaa oppilaiden käsitteellistä tietoa enemmän kuin perinteisellä opetuksella. Hake (1998a) luonnehtii vuorovaikutteisen ja perinteisen opetuksen eroja seuraavasti: Vuorovaikutteisessa opetustyyliässä pyritään edistämään oppilaan käsitteellistä ymmärtämistä siten, että oppilaat aktivoidaan ajattelemaan (Heads-on) fysiikkaa ja joskus myös tekemään käsillään (Hands-on) laboratoriotöitä tai muita aktiiviteetteja. Tämä tapahtuu vuorovaikutteisena keskusteluna oppilaiden välillä tai opettajan ja oppilaiden välillä. Tällöin oppilaat saavat myös välittömän palautteen käsityksistään. Perinteisessä opetuksessa opettajat käyttävät vähän tai ei ollenkaan vuorovaikutteisia metodeja ja luottavat enimmäkseen siihen, että oppilaat oppivat, kun he seuraavat passiivisena luentotyypistä opetusta, tekevät laboratoriotöitä annettuja ohjeita seuraten ja ratkaisevat ongelmatehtäviä algoritmisesti fysiikan kaavojen avulla. (Hake, 1998a.) Hoellwartin ja Moeltherin

(2011) mukaan se, mitä oppitunneilla tehdään ja oppilaan kokemukset ovat tärkein tekijä tuottamaan oppimisen kehittymistä. Sen sijaan opettajan vaikutus on vähäinen, sillä tutkimuksessa opettajien erilaisella kokemuksella opettamisesta, vuorovaikutteisten opetusmetodien tuntemuksella tai asenteella ei havaittu olevan vaikutusta oppilaiden oppimiseen (Hoellwart & Moellter, 2011).

Elleivät oppilaat ymmärrä Newtonin mekaniikan perusteita, on sillä vakavia seurauksia fysiikan oppimiseen. Siksi tämän ongelman ratkaisu vaatii tutkijoiden mukaan opetuksen ja oppimisen tutkimusta: oppilaiden käsityksen selvittämistä voimasta ja liikkeestä, tieteellisen oppimisen teorian kehitystä ja uusien opetusmenetelmien kehittämistä. (Vosniadou ym., 2001; Hestenes ym., 1992.) N3. lain oppiminen on Newtonin laeista väärin käsitysten muutoksen osalta haastavin, sillä oppilaat ajattelevat N3. lain järjenvastaisena ja pitävät mieluummin jonkun version dominanssiperiaatteesta (ks. taulukko 2 - 2) (Hestenes ym., 1992).

Lisäksi monet seuraavaksi esiteltävät tutkimukset kertovat myös N3. lain oppimisen vaikeudesta ja tärkeydestä. Mm. Montaneron, Perezin ja Sueron (1995) tutkimuksessa 12 - 21-vuotiaista opiskelijoista osasi N3. lain voimaparin yhtäsuuruuden tehtävistä vain 3,3 % oikein. Lohdullista tulosten osalta oli kuitenkin se, että osaaminen alkoi parantua 16 vuoden iästä alkaen, ja osaaminen koheni koulutustason noustessa. N3. lain opettaminen ja oppiminen on sen haastavuudesta johtuen mielenkiintoinen tutkimuskohde.

Seuraavaksi tarkastellaan tutkimusten antamia löydöksiä N3. lain määritelmän osalta, oppilaiden vaikeuksia ymmärtää N3. laki kosketusvuorovaikutuksissa ja etävuorovaikutuksissa, ja miten konteksti tai opettajan käsitys vuorovaikutusten roolista opetuksessa vaikuttaa N3. lain oppimiseen.

### **N3. lain määritelmän ymmärtäminen ja esittäminen oppikirjassa**

On kritisoitu (Brown, 1989; Hellingman, 1989) oppikirjojen tapaa esittää N3. laki. Se esitetään usein vain annettuna totuutena verbaalisessa muodossa: "To every action there is always opposed an equal reaction" (Hellingman, 1989, 1992). Tämä saattaa jäädä oppilaan mieleen hokemana, vailla syvällisempää ymmärrystä asiasta. Myös monet aikaisemmat suomenkieliset oppikirjat käsittelevät N3. lakia mainiten sen lyhyesti kirjoitetussa muodossa:

"Jos kappale A vaikuttaa kappaleeseen B voimalla  $\vec{F}_{AB}$ , vaikuttaa kappale B yhtä suurella, mutta vastakkaisuuntaisella voimalla  $\vec{F}_{BA}$  kappaleeseen A." (Lehto & Luoma, 1998, s. 87).

Oppikirjan uudemmassa painoksessa (Lehto, Havukainen Maalampi & Leskinen, 2009) määritelmä on esitetty kattavasti vuorovaikutuskäsitteen avulla. Luovassa 1.4 esitettiin N3. laki myös verbaalisessa muodossa, mutta sen ymmärtämistä tukee määritelmässä mainittu vuorovaikutuskäsite ja opetuksessa käytetty vuorovaikutuskaavio. Brownin mukaan on huolestuttavaa, jos N3. laki on todella vain merkityksetön osa Newtonilaista mekaniikkaa. N3. lakia tulisi käsi-

tellä paljon merkittävämmässä roolissa fysiikan kursseilla, koska se on merkittävä osa oppilaan voimakäsitteen kvalitatiivisessa ymmärtämisessä (Brown, 1989).

Brownin (1989) mukaan suurin osa lukiotason oppilaista käsittää *voiman kappaleen sisäisenä tai hankittuna ominaisuutena*, ja perinteisellä opetuksella on valitettavasti vain vähäinen vaikutus näiden oppilaiden voimakäsitykseen. Hänen mukaansa heikko osaaminen ei johdu siitä, että oppilaat eivät muista N3. lain verbaalista muotoa, vaan heidän saavuttamastaan heikosta käsitteellisestä tasosta.

Hellingman (1989) ja Eshach (2010) kohdistavat kritiikin toon: "Voima, joka aiheuttaa yhtä suuren vastavoiman (an action which entails an equally strong reaction)", koska tämä antaa ymmärtää *vastavoiman olevan jotain, joka seuraa vasta tapahtuman* - jokin toiminta on aiheuttanut voiman - jäljessä. Esimerkiksi tilanteessa, jossa henkilö seisoo lattialla, oppilas ajattelee tyypillisesti: "Jos ei olisi gravitaatiota, lattia ei varmaankaan kohdistaisi tukivoimaa henkilöön." (Hellingman, 1989). Tällöin lattian *tukivoiman ajatellaan olevan gravitaation seurausta*, ja oppilaita on vaikea saada vakuuttuneeksi, että tukivoima ei ole N3. lain tarkoittama vastavoima gravitaatiovoimalle. Ongelman arvioidaan aiheutuvan tavasta, jolla gravitaatiota kuvataan, eli jos puhumme voimasta henkilöön sen sijaan, että puhuisimme voimasta henkilön ja maan välillä, jolloin maa on ilmaisussa ja siten ehkä myös oppilaan ajattelussa mukana. Vaikka puhuttaisiin gravitaatiosta maan voimana henkilöön, ei ilmiön symmetria ole kuitenkaan vielä tarkasti ilmaistu. (Hellingman, 1989.)

Hellingman (1989) ja Brown (1989) korostavat, että on vain yksi tapa tehdä oikeutta voiman symmetria ilmiölle ja sille, että voiman ei ajateltaisi olevan kappaleen luontainen tai hankittu ominaisuus. Voiman käsite on muotoiltava siten, että se sisältää N3. lain syvällisen ymmärtämisen eli voimat syntyvät ainoastaan kahden kappaleen välisistä vuorovaikutuksista.

On esitetty (Stocklmayer, Rayner & Gore, 2012), että myös Newtonin lakien opetusjärjestyksellä saattaa olla vaikutusta oppimiseen. Tutkijoiden mukaan N3. lain syvällinen ymmärtäminen antaa oppilaalle kyvyn ymmärtää paremmin myös Newtonin kahta ensimmäistä lakia (perinteisessä muodossa) ja erityisesti voimien tunnistamista ja voimakuvioita. Täten *N3. laki olisi opetettava ensin*, seuraavana toinen laki ja lopulta ensimmäinen laki edellisen luonnollisena seurauksena. Tutkijoiden mukaan pelkkä asioiden opetusjärjestyksen vaihtaminen tyypillisessä oppikirjassa ei kuitenkaan vaikuta suurta eroa oppilaiden käsitteellisessä ymmärtämisessä Newtonin laeista, vaan kolmas laki pitää nähdä kahta muuta lakia tukemassa. Tämä edellyttää tutkijoiden mukaan oppilaiden ajatusten huolellista ohjausta yhdistettynä aktiviteetteihin, jotka pohjautuvat kokemuseräisyyteen. Niistä on artikkelissa (Stocklmayer ym., 2012) esitetty esimerkkejä.



TAULUKKO 2-2. N3. lain oppimisen vaikeuksia kosketusvuorovaikutuksissa. Yläindeksissä olevilla numeroilla viitataan taulukon 2-3 alla esitettyihin lähteisiin.

Vaikeus	Tilanne	Tulkinta
Voiman ja vastavoima eivät tappahu samaan aikaan	Pallo osuu pelaajan kasvoihin, minkä jälkeen pelaaja puolestaan kohdistaa voiman takaisin palloon ja pallo pysähtyy. <sup>5)</sup>	Tavallisessa kielessä tulos on seurausta edellä olevasta tapahtumasta. <sup>1)</sup>
staattinen tilanne		
Ei ole olemassa voima- ja vastavoimaparia.	Kohteet kuten tuolit ja seinät eivät kohdistaa voimaa, "ne vain ovat". <sup>8)</sup>	Eloton kappale ei kohdistaa voimaa. Missä on liikettä, siellä vain on voima. <sup>4)</sup> Voimaa ja vastavoimaa pidetään erillisinä vaikuttajina, ei yhden vuorovaikutuksen kahtena puolena. <sup>7)</sup>
Vastavoiman tunnistus	Tukivoimaa pidetään gravitaatiovoiman vastavoimana, ja tukivoima on seurausta painosta. Esim. kirja on pöydällä. <sup>4,15)</sup>	Oppilaat sekoittavat yksittäisen kappaleen vastakkaissuuntaisten voimien superposition eri kappaleiden vuorovaikutuspareihin. <sup>8)</sup>
Erilainen järjestys, passiivinen voima/ gravitaatio.	Alempi kappale kohdistaa passiivisen vastustavan voiman ylempään joko estääkseen sen putoamisen tai massan luontaisena ominaisuutena. Ajoittain sitä ei pidetä edes voimana sen vastustavasta luonteesta johtuen. <sup>15)</sup>	Yläpuolella-alapuolella asetelma pystysuunnassa tai kaltevilla tasolla ylempi kappale kohdistaa suuremman voiman alempana olevaan kappaleeseen johtuen tason suunnasta. <sup>2)</sup>
dynaaminen tilanne		
Massa, varaus tai magneettisuus riippuvuus	Jos kappaleella on suurempi massa, varaus tai magneettisuus, se vaikuttaa suuremmalla voimalla. <sup>17)</sup>	Konfliktitilanteessa vahvin kohdistaa suuremman voiman. Voitto kuuluu vahvimmalle. <sup>8)</sup>
Nopeus riippuvuus	Levossa voimia saatetaan pitää yhtä suurina, mutta liikkuvissa systeemeissä edellä olevaan <sup>2)</sup> tai suuremmalla nopeudella liikkuvaan <sup>1,3)</sup> kohdistuu suurempi voima.	Voima on yksittäisen kappaleen luontainen tai hankittu ominaisuus. Raskeampi tai nopeampi kappale vaikuttaa suuremmalla voimalla. <sup>3)</sup> Myös eri järjestys vaikuttaa päättelyyn. <sup>2)</sup>
Kiihtyvyyden riippuvuus	Levossa ja vakionopeudessa voimia voidaan pitää yhtä suurina, mutta kiihtyvissä systeemeissä suurempi massa aiheuttaa suuremman voiman <sup>13,2)</sup> , tai kiihtyvä kappale kohdistaa suuremman voiman <sup>1)</sup> .	Tämän selityksissä oppilaat usein käyttivät yhtälöä $F = ma$ sekoittaen N2. ja N3. lain <sup>13)</sup> . Koska kappale kiihdyttää, sillä on suurempi kiihtyvyyden ja impulssi. <sup>1)</sup>
Toimintoriippuvuus	Ulkoisen voima, esim. käden voima, työntää kahden kappaleen kytkettyä systeemiä tiettyyn suuntaan. Tällöin ajatellaan jäljessä olevan kappaleen työntävän edellä olevaa suuremmalla voimalla ja päinvastoin vedettäessä. <sup>2,13,1)</sup>	Työntö - veto asetelma. <sup>2,13)</sup> Oppilaat käsittävät voiman kohteiden ominaisuutena. <sup>3)</sup>
Liikemääräriippuvuus	Alussa levossa olevaan kappaleeseen kohdistuu törmäyksen jälkeen ulkoinen voima ja tätä vastustava passiivinen voima, joiden ajatellaan olevan voimapari. <sup>14)</sup>	Törmäystilanteessa ajatellaan kappaleisiin kohdistuvan ylimääräisiä voimia, jotka muistuttavat liikemäärää. <sup>14)</sup>



TAULUKKO 2-3. N3. Iain oppimisen vaikeuksia etävuorovaikutuksissa: magneettinen ja sähköinen vuorovaikutus ja gravitaatiovuorovaikutus. Yläindeksissä olevilla numeroilla viitataan taulukon alla esitettyihin lähteisiin.

Vaikeus	Tilanne	Tulkinta
Erilaiset kappaleet	Varattu kappale voi kohdistaa voiman varaamattomaan kappaleeseen. Puset kuutiot eivät vuorovaikuta, koska ne eivät ole magneetteja eivätkä sähköisesti varattuja. <sup>17)</sup>	Vuorovaikutus tapahtuu vain samanlaisten kappaleiden välillä. <sup>12)</sup> Kyky erottaa gravitaatiovuorovaikutus sähköisestä ja magneettisesta vuorovaikutuksesta. <sup>17)</sup>
Attraktio-repulsio	Gravitaatio on vain attraktiivinen. Kaksi samanmerkistä magneettia tai varausta vastakkain eivät vuorovaikuta. <sup>12,17)</sup>	Vain magneettinen tai sähköinen attraktio tunnistetaan voimana, ei repulsiota. <sup>12,17)</sup>
Aktiivinen/ passiivinen vuorovaikutus	Maa kohdistaa voimansa omaan tai vain sähköisesti varattu sauva vaikuttaa vetovoiman paperipalaan tai magneetti vetää rautanaulaa, mutta ei toisinpäin. <sup>12,17)</sup>	Voima ajatellaan kappaleen laadun seurauksena, ei vuorovaikutuksena kahden kappaleen välillä. <sup>17)</sup> Kun ”aktiivinen kappale (maa, magneetti tai varattu sauva) vuorovaikuttaa passiivisen kappaleen kanssa, ajatellaan vain yhden voiman olevan olemassa. <sup>12)</sup>
Voimavektorin kohdistuminen kappaleeseen	Maa kohdistaa voimansa kuuhun ja siksi voimavektori asetetaan maahan. <sup>17)</sup>	Näyttää siltä, kuin oppilaat ajattelisivat voiman kappaleen sisäisenä ominaisuutena, joka kohdistaa voimansa ja siksi asettavat vektorin kappaleeseen, joka voiman aiheuttaa eikä siihen mihin se kohdistuu. <sup>18, 19)</sup>

<sup>1)</sup> Bao, Hogg & Zollman (2002) <sup>2)</sup> Boyle & Maloney (1991) <sup>3)</sup> Brown (1989) <sup>4)</sup> Bryce & Mac-Millan (2005) <sup>5)</sup> Eshach (2010) <sup>6)</sup> Hellingmann (1989) <sup>7)</sup> Hellingmann (1992) <sup>8)</sup> Hestenes, Wells & Swackhamer (1992) <sup>9)</sup> Heywood & Parker (2001) <sup>10)</sup> Jauhiainen & Koponen (2001) <sup>11)</sup> Jauhiainen, Koponen & Lavonen (2006) <sup>12)</sup> Kariotoglou, Spyrtou & Tselfes (2009) <sup>13)</sup> Maloney (1984) <sup>14)</sup> Montanero, Perez & Suero (1995) <sup>15)</sup> Montanero, Suero, Perez & Pardo (2002) <sup>16)</sup> Savinainen, Scott & Viiri (2005) <sup>17)</sup> Spyrtou, Hatzikraniotis & Kariotoglou (2009) <sup>18)</sup> Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou & Papademetriou (2001) <sup>19)</sup> Watts & Zylbersztajn (1981).

### N3. lain oppimisen vaikeudet kosketusvuorovaikutuksissa

On todettu, että oppilailla näyttää selvästi olevan vaikeuksia ymmärtää N3. laki sekä staattisissa että dynaamisissa tilanteissa, ja lisäksi heidän käsityksensä voimasta on näissä tilanteissa erilaiset (Montanero, Suero, Perez & Pardo, 2002). Seuraavaksi tarkastellaan kuitenkin N3. lain oppimisen vaikeuksia käyttäen luokittelua, kosketus- ja etävuorovaikutukset. Taulukoissa 2 - 2 ja 2 - 3 on esitetty aikaisempien tutkimusten havaintoja siitä, millaisia N3. lain oppimisen vaikeudet voivat olla kosketusvuorovaikutuksissa ja etävuorovaikutuksissa, ja mistä oppilaiden N3. lain ymmärtämiseen liittyvien vaikeuksien nähdään johtuvan.

Maloney (1984) löysi tiettyjä sääntöjä, joita oppilaat käyttivät kahden kappaleen A ja B erilaisissa kosketustapauksissa vastatessaan kysymykseen, kuinka suuri on voima, jonka kappale A kohdistaa B:hen verrattuna voimaan, jonka B kohdistaa A:han. Tutkimuksessa tarkasteltiin vaakasuoralla pinnalla olleiden kappaleiden massan, systeemin liiketilan ja työnnön tai vedon vaikutusta oppilaan ymmärrykseen N3. laista. Tutkimuksessa löydettiin viisi sääntöä, jotka esiintyivät lähes 2/3:ssa oppilaiden vastauksista. Nämä säännöt on esitetty taulukossa 2 - 2. Kaksi yleisintä oppilaiden käyttämää sääntöä liittyivät dynaamisiin tilanteisiin ja ne olivat: Voimat ovat levossa yhtä suuret, mutta liikkuvissa systeemeissä 1) liikkeen syy eli vedoissa edessä oleva ja työnnöissä takana oleva kappale (19 %) aiheuttaa suuremman voiman. 2) massaltaan suurempi kappale (16 %) aiheuttaa suuremman voiman. 35 % oppilaista piti massan vaikutusta määräävävä tekijänä ts. *suurempi massa aiheuttaa suuremman voiman*.

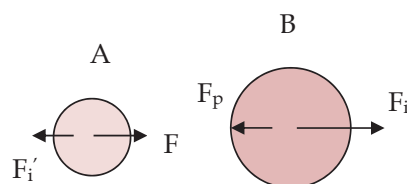
Maloneyn (1984) mukaan N3. lain opetusta vaikeuttaa se, että opettajalla ja oppilaalla saattaa olla asiasta aivan erilaiset käsitykset. Eivätkä oppilaat pidä yllä ainoastaan yhtä käsitystä, vaan niitä saattaa olla useita. Koska vain 9 % oppilaista omaksui oikean käsityksen N3. laista, hän päättelä oppilaiden omaksuneen opetuksesta joitakin osia, mutta ne ovat integroituneet heikosti heidän omiin käsityksiinsä. Tämän seurauksena oppilaat pitävät ristiriitaiset ajatuksensa eivätkä ymmärrä niitä. *Tämä ilmeni erikoisesti N2. ja N3. lain sekaannuksena*. Oppilaat totesivat lepo- tai vakionopeuden tilanteessa voimien olevan yhtä suuret, mutta *kiiltovoissa systeemeissä suurempi massa aiheuttaa suuremman voiman*, jonka selityksenä he käyttivät usein yhtälöä  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ .

Boyle ja Maloney (1991) tutkivat kahden erilaisen kirjallisen materiaalin vaikutusta N3. lain osaamiseen samantyyppisillä testikysymyksillä kuin Maloneyn aikaisemmassa tutkimuksessa, joiden lisäksi tarkasteltiin kahden kappaleen tilanteita kaltevalla tasolla ja kiinteän kappaleen ja nesteen vuorovaikutusta vedessä. Tutkijat toteavat, että eri tilanteissa N3. laki saatettiin ymmärtää virheellisesti useammasta kuin yhdestä syystä. *Jos massat eroavat toisistaan tai niiden järjestys on sellainen, jossa toinen kappale kohdistaa painonsa toiseen alla olevaan kappaleeseen, tai ulkoinen voima liikuttaa systeemiä tiettyyn suuntaan, niin silloin mikä tahansa yllä olevista tilanteista melkein automaattisesti johtaa jonkun olettamaan, että toinen kahdesta voimasta on suurempi kuin toinen*. Kahden kappaleen koskettaessa toisiaan eri tilanteissa, tutkijat havaitsivat oppilailla olevan virheellisiä käsityksiä voimasta: mm. voimavaraston, voima aiheuttaa liikkeen

ja käden voiman erilaisissa tilanteissa. Tämä tarkoittaa, että oppilaat ajattelivat voiman käsityksen olevan pohjimmiltaan kappaleen tai tapahtuman ominaisuus. Tutkijat toteavat *oppilaiden selvästi lukeneen opetusmateriaalin ja muistaneen kriittisen osan, mutta he eivät osanneet käyttää sitä*. Tutkijoista oli hämmästyttävää se, että suhteellisen pieni osa oppilaista käytti hyväkseen selvää N3. lain määritelmää tehtäviä ratkoessaan. Lisäksi he arvelevat, että vaikka oppilaille olisi edessään fysiikan oppikirja auki, vain harva kykenisi käyttämään sitä tehtävän ratkaisussa.

Oppilaiden N3. lain osaaminen on paitsi erittäin heikko, niin monet oppilaat (39 %) käyttävät säännöllisesti lain päättelyn tukena virheellisiä päättelyjä, joita tutkijat kutsuvat "miniteorioiksi" (Montanero ym., 1995). Tutkijat tarkastelivat kahden kappaleen törmäytilanteita, joissa he esittävät näiden teorioiden pohjautuvan kahteen sääntöön. Ensimmäisessä säännössä kappale A kuljettaa liikkeen suunnassa voimaa  $F$ , jonka se välittää (kokonaan tai osittain) kosketuksessa (törmäyshetkellä) toiselle kappaleelle B, kuten kuviossa 2 - 12. Tämä välitetty voima (tai hankittu voima)  $F_i$  on sitten verrannollinen sekä massaan että nopeuteen tai erikseen verrannollinen nopeuteen massasta riippumatta tai kiihtyvyyteen. (Montanero, ym., 1995.)

Toisessa säännössä jokaisen levossa olevan kappaleen ajatellaan omistavan voiman massan sisäisenä ominaisuutena. Tämän voiman toisen komponentin  $F_p$  ajatellaan vaikuttavan kappaleen B sisältäpäin passiivisena voimana aktiivista voimaa  $F_i$  vastaan, ja toinen komponentti  $F_i'$  kohdistuu impulsiivisena voimana toiseen kappaleeseen A, joka törmäsi levossa olevaan kappaleeseen B. Nämä toisen säännön voimat on esitetty kuviossa 2 - 12. Tutkijat havaitsivat, että toisen säännön sovelluksissa voimien suuruserot vaihtelivat kappaleiden ominaisuuksista johtuen siten, että  $F_i > F_p$  kappaleiden massan ja nopeuden mukaan tai  $F_i < F_p$  kiihtyvyyden mukaan tai  $F_i = F_p$  nopeuden mukaan. Näitä tutkijat nimittivät miniteorioiksi. Tutkijoiden mukaan näissä säännöissä käytetty käsite ei ole voima, vaan liikemäärä. Lisäksi kuviteltu voima  $F$  viittaa oppilaiden ajattelun tukeutuvan myös impetusperiaatteeseen. (Montanero ym., 1995.)



KUVIO 2-12. Kappale A liikkuu levossa olevaa kappaletta B kohti, kunnes ne törmäävät toisiinsa. Kappaleiden A ja B törmätessä toisiinsa niihin ajatellaan kohdistuvan kuvion mukaiset voimat (Montanero ym., 1995).

N3. laki on monille oppilaille myös staattisissa tilanteissa vaativa ja monimuotoinen opittavaksi (Montanero ym., 2002; Bryce & MacMillan, 2005). Montanero ym. (2002) esittävät yhden selityksen, miksi kahden staattisen kappaleen vuorovaikutuksessa N3. laki koetaan vaikeaksi. Ensinnäkin toisen olkapäällä istuvan henkilön tilanteessa ylempänä oleva henkilö kohdistaa painonsa suuruiseen

voiman alempaan, jonka monet oppilaat perustelivat helposti *gravitaatiolla*. Toisaalta alempana oleva henkilö kohdistaa *passiivisen vastustavan voiman* joko esteenä toisen alastulolle tai sen massan (painon) luontaisena ominaisuutena. Vastustuksen koetaan olevan luonteeltaan sellaista, että *sitä ei ajoittain pidetä edes voimana*.

Bryce ja MacMillanin (2005) mukaan pöydän päällä olevaan kirjaan kohdistuvaa tukivoimaa pidetään paitsi painovoiman seurauksena eli sen vasta-voimana, niin *ylöspäin suuntautuvalla voimalla annetaan monia selityksiä: mm. ilmanpaine tai pöydän alla olevat ilmamolekyylit työntävät kirjaa ylöspäin tai pöytä absorboi tavallaan gravitaation eikä ylöspäin kohdistu voimaa ollenkaan*. Monet oppilaista ajattelivat myös, että *elottomat kappaleet (pöytä) eivät voi kohdistaa voimaa, tai voiman olemassaolo edellyttää kappaleen tai hiukkasen liikkeen*.

Staattisissa tilanteissa virheellisten vastausten selitys on Montaneron ym. (2002) mielestä kuitenkin vaikeampi kuin edellä kuvatussa liikkuvien kappaleiden törmäystilanteissa, joissa oppilaiden käsitys voimasta on tunnistettu selvästi liikemääräksi (Montanero ym., 1995). N3. lain *osaaminen on kuitenkin selvästi parempaa staattisissa tilanteissa (16,8 % oikein) kuin törmäystilanteissa (3,3 % oikein)*. Lisäksi on huomautettu, että vaikka oppilaiden vastaukset saattavat olla oikein, niin ratkaisun pohjana käytetty ajatus ei ole kuitenkaan välttämättä N3. lain mukainen. (Montanero ym., 1995, 2002.)

### **N3. lain oppimisen vaikeudet etävuorovaikutuksissa**

*Maanpäällisten ja avaruuskappaleiden välisessä vuorovaikutuskäsityksessä on havaittu eroja*. Tutkimuksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa astronautti seisoo kuun pinnalla ja vapauttaa jakoavaimen. 14-vuotiaat oppilaat ajattelivat, että jakoavaimen ei vaikuta voima, koska ei ole gravitaatiota tai ilmakehää, tai heillä oli käsitys, että kuun ilma nostaa avaimen ylös (Watts & Zylbersztajn, 1981).

Kariotoglou, Spyrtou ja Tselfes (2009) tarkastelivat etävuorovaikutuksessa olevia kappaleita eri konteksteissa. Vuorovaikuttavien kappaleiden ominaisuuksina olivat massa, magneettinen vaikutus ja varaus. Tulokset voimien tunnistamisessa tukivat Wattsin ja Zylbersztajn (1981) käsitystä siitä, että *gravitaatio ei ole universaali suhde kappaleiden välillä*, sillä oppilaat tunnistivat vuorovaikutuksen helpommin taivaankappaleiden, maan ja kuun kuin maanpäällisten, kahden puisen kappaleen välillä. Toiseksi näkyi myös käsitys siitä, että *lepotilassa olevaan kappaleeseen ei kohdistu voimia*. Tutkijoiden mukaan päätelmiä tukee oppilaan lause: "Puiset kuutiot eivät ole vuorovaikutuksessa, koska ne eivät ole magneetteja eivätkä ole sähköisesti varautuneet."

Oppilaille oli myös käsitys, että *vuorovaikutus saattaa tapahtua vain samanaisten (massa-massa, magneetti-magneetti, varaus-varaus) kappaleiden välillä*. Lisäksi osa (14,3 %) oppilaista ei tunnistanut yhtään vuorovaikutusta/voimaa samannapaisten magneettien tai samanmerkkisten varausten välillä. Tähän tutkijat esittävät syyksi, että oppilaat pitävät perinteisessä opetuksessa ajatusta "samannapaiset hylkivät toisiaan" niin itsestään selvänä, että he *tunnistavat vain magneettien välisen attraktion voimana, mutta ei repulsiota*. Vuorovaikuttavan kappaleen luonne saattaa vaikuttaa voimaparin tunnistamiseen, sillä paperinpalanen

toisena vuorovaikuttavana kappaleena aiheutti tutkimuksessa huomattavaa hajontaa vastauksissa kaikissa kategorioissa. Yleinen kokemus oli, että varattu kynä vetää paperinpalaa puoleensa, mutta ei päinvastoin. (Kariotoglou ym., 2009.)

Kariotoglou ym. (2009) havaitsivat myös jo edellä mainitun käsityksen, missä voimaa pidetään kappaleiden sisäisenä ominaisuutena, sillä *voimavektori oli asetettu kappaleeseen, joka voiman "antaa" eikä vaikuttamaan toiseen kappaleeseen*. Tutkijat nimittävät tätä nimellä "giving model". Lisäksi tutkijat arvioivat, että keskustelu matemaattisen kaavan  $\left(\frac{mM}{r^2} \text{ tai } \frac{qQ}{r^2}\right)$  merkityksestä täydentää oppilaiden voimien yhtäsuuruuden käsitystä ja niiden molemminpuolista vuorovaikutusluonnetta: voimat ovat kahden fysikaalisen kappaleen välisen etäisen suhteen tulosta eikä niinkään toisen kappaleen toiminnan vaikutusta toiseen kappaleeseen.

### **Voimakäsitteen riippuvuus kontekstista ja opettajan vaikutus**

Voimakäsitteen on hyvin usein todettu olevan *riippuvainen kontekstista* sekä kosketusvuorovaikutuksissa että etävuorovaikutuksissa (Tao & Gunstone, 1999; Bao ym., 2002; Savinainen & Scott, 2002; Kariotoglou ym., 2009). Oppilaat saattavat omaksua tieteellisen näkemyksen joissakin konteksteissa, mutta pitävät heidän vaihtoehdotetut käsityksensä toisissa konteksteissa. Tätä voidaan selittää siten, että joissakin konteksteissa tieteellinen näkemys tuntuu oppilaasta järkevältä, sopivalta ja ehkä hyödylliseltä, ja toisessa kontekstissa he pitävät sitä järkevänä, muttei sopivana ja siksi hylkäävät sen käsityksen (Tao & Gunstone, 1999). Bao ym. (2002) tunnistivat tutkimuksessaan neljä oppilaiden N3. lain ongelmissa usein käyttämää *kontekstuaalista piirrettä: massan, nopeuden, kiihtyvyyden ja työntämisen* (toiminnan alullepanija). Kahden toisiaan työntävän erimassaisen pojan tapauksessa, vastaus "kumpikin oppilas kohdistaa voiman toiseensa, mutta toinen heistä kohdistaa kuitenkin suuremman voiman" antaa Baon ym. (2002) mukaan vahvan todisteen massan fysikaalisesta vaikutuksesta N3. lain soveltamisessa.

Savinainen ja Viiri (2008) nimittävät tätä erilaista N3. lain soveltamistaitoa eri konteksteissa kontekstuaalisen koherenssin puutteeksi. Kariotoglou ym. (2009) havaitsivat myös kontekstuaalisen koherenssin puutetta mm. maanpäällisten ja taivaankappaleiden välisessä vuorovaikutuksessa. Kuitenkin he toteavat oppilaiden pitävän käsityksensä eri vuorovaikutustyyppin (gravitaatio, magneettinen ja sähköinen) konteksteissa seuraavissa tapauksissa: repulsio magneeteilla ja varatuilla sauvoilla, voimavektorin sijainti on väärä eli antamismalli (giving model), suurempi kappale kohdistaa suuremman voiman pienempään kappaleeseen kahden aktiivisen kappaleen vuorovaikutuksessa toisiinsa ja yhden voiman mallissa, kun aktiivinen kappale on vuorovaikutuksessa passiivisemmän kappaleen kanssa.

Meltzerin (2005) mukaan virheellinen ymmärrys vektorin suunnasta voi johtua myös esitetyn tehtävän erilaisesta representaatiosta. Hänen mukaansa

N3. lain osaaminen riippuu myös esitetystä representaatiosta, ja vektorirepresentaatio on monille oppilaille vaikea.

Jauhiainen, Koponen ja Lavonen (2006) tutkivat, miten oppilaiden N3. lain käsitteellinen ymmärtäminen liittyy opettajien käsitykseen vuorovaikutuksen roolista mekaniikan opetuksessa. *Opettajien uskomuksissa vuorovaikutuksen roolista havaittiin selviä pääeroja:* a) Vuorovaikutus ymmärretään rajoittuneessa merkityksessä, eikä sitä käytetä mekaniikan opetuksessa. b) Vuorovaikutusta tarkastellaan mekaniikan perustavana käsitteenä, joka selittää muutoksen liikelilassa, ja siksi sitä käytetään mekaniikan opetuksessa. *Näillä eroilla sekä niiden käytöllä on tutkijoiden mukaan vaikutusta oppilaiden N3. lain käsitteelliseen ymmärtämiseen.* Täsmällinen vuorovaikutuksen käyttö ohjaavana periaatteena mekaniikan opetuksessa parantaa tutkijoiden mukaan oppilaiden N3. lain käsitteellistä ymmärtämistä.

Koska oppilaat näyttävät ymmärtävän voimakäsitteen kappaleen sisäisenä tai hankittuna ominaisuutena, niin on ilmeisen selvää, että oppilaiden ajattelussa tarvitaan muutos virheellisestä käsityksestä tieteelliseen käsitykseen. Oppilaiden käsitteellinen osaaminen on kontekstiriippuvaista, joten opetus täytyy integroida oppilaiden tiedollisen pohjan kanssa (Bao ym., 2002). Tähän pyritään tässä tutkimuksessa käytetyn visuaalisen representaation avulla. Eri konteksteissa kappaleelle konstruoidut vuorovaikutuskaaviot ovat samanlaiset liikelilasta riippumatta (Savinainen ym., 2005).

### 2.3.3 Newtonin 2. lain oppimisen vaikeudet

Tutkimusten mm. (Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992; Savinainen & Scott, 2002) mukaan oppilailla on useita virheellisiä uskomuksia N2. lakiin liittyvän liikkeen ja voiman suhteesta vielä fysiikan peruskurssien jälkeenkin. Uskomusten on todettu olevan vielä samoja, jotka on havaittu jo ennen opetusta (ns. ennakkokäsitykset). Taulukkoon 2 - 4 on koottu niistä yleisimmät virheelliset käsitykset.

Virheellisten käsitysten taustalla on todettu olevan ainakin historiasta tunnetut käsitykset, kuten aristotelinen käsitys, jossa lepo on kappaleen luonnollinen tila ja liikkeeseen on oltava syy ja Buridanin impetus-käsite (Halloun & Hestenes, 1985; Jammer, 1999). Toisaalta tilanteiden arkipäiväisyys voi altistaa oppilaan virheellisiin käsityksiin. Kun henkilö työntää kappaletta pintaa pitkin pitääkseen sen liikkeessä, on kitka aina läsnä, ja koska oppilas ennen fysiikan opiskelua ei useinkaan tunnista kitkaa voimaksi, hän saattaa ajatella, että liikkeen jatkumiseksi tarvitaan samaan suuntaan vaikuttavaa voima (Clement, 1982). Täten oppilaille tuntuu olevan hyvin luontaista virheellinen uskomus: "Voima aiheuttaa liikkeen."



TAULUKKO 2-4. N2. lakiin liittyvät yleisimmät virheelliset käsitykset (muokattu Alonzo &amp; Steedle, 2008).

Virheellinen käsitys	Lähde
Jos kappale liikkuu, siihen vaikuttaa voima (sisäinen tai hankittu/ impetus tai aktiivinen).	Champagne ym., 1980; Watts & Zylbersztajn, 1981; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992; Vosniadou ym., 2001
Jos kappale ei liiku, siihen ei vaikuta yhtään voimaa (tai sisäinen voima on käytetty, kun kappale pysähtyy).	Watts & Zylbersztajn, 1981; McCloskey, 1983; Halloun & Hestenes, 1985
Kappaleen levossa pitämiseksi tarvitaan estävä voima, kuten esimerkiksi ilma.	Minstrell, 1982; Halloun & Hestenes, 1985
Kun kappale liikkuu, liikkeen suunnassa vaikuttava kokonaisvoima on verrannollinen kappaleen nopeuteen.	Champagne ym., 1980; Halloun & Hestenes, 1985
Jos kokonaisvoimaa ei ole, kappale on levossa tai sen liike hidastuu.	Champagne ym., 1980; Halloun & Hestenes, 1985
Vakionopeus on seurausta vakiovoimasta.	Champagne ym., 1980; Halloun & Hestenes, 1985;
Vakiokiihtyvyys edellyttää jatkuvasti muuttuvan voiman.	Champagne ym., 1980; Halloun & Hestenes, 1985;

Clementin (1982) mukaan oppilaat kokevat erityisen vaikeaksi käsitteellisen ongelman voiman ja kiihtyvyyden suhteessa, jotka yhdistyvät yhtälössä  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ . Tutkimuksessa tarkasteltiin heilurin ja kolikon liikettä ilmassa sekä raketin moottorin aiheuttamaa liikeradan muutosta avaruudessa. Kun mekaniikan opetuksesta oli kulunut yksi lukukausi, niin suurin osa (75 %) yliopistopöytäkirjajaryhmästä piti vielä kiinni käsityksestä, jossa voima vaikuttaa liikkeen suunnassa. Ryhmässä olleet opiskelijat olivat vapaaehtoisia ja olivat keskiarvoa parempia opiskelijoita. Kaikista opiskelijoista hyvin harva (19 %) osasi antaa opetuksen jälkeen raketin liikeradalle oikean, käyräviivaisen vastauksen. Vielä yllättävämpi Clementin mielestä oli oppilaiden taipumus piirtää raketin liikerata takaisin vaakasuoraksi (sama kuin ennen moottorin käyttöä) sen jälkeen, kun moottori taas sammutettiin.

Clement (1982) selittää näitä sillä, että oppilaan ajattelussa tasainen liike ennen moottorin käyttöä edellyttää jatkuvan voiman läsnäoloa samaan suuntaan, vaikka ongelmassa sanotaan, ettei ulkoisia voimia ole läsnä. Sen jälkeen kun moottori käynnistetään, oppilaat tavallisesti ajattelivat liikkeen suunnan muuttuvan välittömästi epäjatkuvalla tavalla vastaten ilmeisesti hetkellisiä muutoksia voiman vaikutussuunnassa. Lopulta kun moottori sitten sammutetaan, sama vaakasuuntainen voima kuin ennen moottorin käynnistämistä, aiheuttaa raketin kääntymisen vaakasuoraan suuntaan. Clementin mukaan useimmat virheelliset käsitykset eivät johtuneet sattumasta vaan pohjautuivat monella oppilaalla oleviin pysyviin virheellisiin käsityksiin. Käsityksen "liike edellyttää voimaa" yleisimpinä piirteinä olivat: 1) Jatkuva liike, jopa vakionopeudella, voi laukaista oletuksen voimasta, joka vaikuttaa kappaleeseen sen liikkeen suunnassa aiheuttaen liikkeen. 2) Keksityt, ylimääräiset voimat



ovat erityisen yleisiä selityksiä liikkeelle, joka jatkuu havaittua vastakkaissuuntaista voimaa vastaan. Tällöin kappaleen oletetaan jatkavan liikettään, koska ylimääräinen voima on suurempi kuin liikkeelle vastakkaissuuntainen voima. 3) Tällaisen voiman uskotaan häviävän tai rakentuvan kappaleen nopeuden muutosten mukaan. Koska kyseinen virheellinen käsitys esiintyi monissa tilanteissa, Clement arvioi sen olevan pääsyyinä oppilaiden vaikeuksille ymmärtää yhtälön  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$  fysikaalisia periaatteita.

Watts ja Zylbersztajn (1981) toteavat tutkimuksessaan, että 85 % 14 vuotiaista oppilaista liitti voiman liikkeeseen. He tekivät seuraavat johtopäätökset oppilaiden ajattelusta: "Jos kappale liikkuu, siihen vaikuttaa kokonaisvoima liikkeen suunnassa. Jos kappale ei ole liikkeessä, siihen ei vaikuta yhtään voimaa." He havaitsivat myös oppilailla olevan erilaisia ilmaisuja gravitaation roolista. Joillekin oppilaille gravitaatio näytti olevan aina läsnä. Toiset ajattelivat, että se vaikuttaa vain, kun heitetty kivi on matkalla alaspäin. Joillekin se näytti liittyvän ilmiöön, jossa kappaleilla on taipumus pudota alas eikä niihin välttämättä vaikuta ollenkaan voima. Tämän seurauksena raskaamman kappaleen ajatellaan putoavan nopeammin alas kuin kevyemmän (Watts & Zylbersztajn, 1981; Halloun & Hestenes, 1985). Vähemmän oli heitä, jotka uskoivat, että maa tuntuu olevan luonnollinen paikka, johon kappaleet putoavat, ja tähän ei tarvita yhtään voimaa. Lisäksi merkittävä osa oppilaista ajatteli, että kun liike hidastuu, niin voimakin pienenee.

Oppilailla näyttää olevan opetuksen jälkeen monia muitakin virheellisiä ajatuksia voimasta ja liikkeestä: vakiovoima aiheuttaa vakionopeuden, nopeuden suuruus on verrannollinen voiman suuruuteen (esim. kappale putoaa vakionopeudella vapaassa pudotuksessa, nopeus riippuu ainoastaan kappaleen painosta), kiihtyvyys johtuu kasvavasta voimasta, ja jos kappaleeseen ei kohdistu voimia, ne ovat joko levossa tai hidastuvassa liikkeessä (Champagne ym., 1980). Näiden lisäksi Halloun ja Hestenes (1985) löysivät muita oppilaiden yleisiä käsityksiä: Voima ei voi liikuttaa kappaletta, ellei se ole suurempi kuin kappaleen paino, jolloin oppilas ei erota painoa massasta. Vakiovoimalla on kahdenlainen rajoittava vaikutus riippuen sen suuruudesta. Ensiksi voima kuluu loppuun johtuen sen käytöstä liikkeen aikana tai vastustavien tekijöiden aiheuttamasta häviöstä. Toiseksi voima kiihdyttää kappaletta, kunnes se saavuttaa kriittisen nopeuden, jonka ajatellaan olevan kiihdyttävään voimaan verrannollinen. Kappaleen ajatellaan jälkeenpäin myös ylläpitävän tätä voimaa riippumatta siitä onko voima vielä vaikuttamassa vai ei. Etävoimat välittyvät väliaineen välityksellä, kuten köyden välityksellä, joka on kiinnitetty kappaleeseen ja voiman aiheuttajaan. Täten ajatellaan, että etävoima ei voi vaikuttaa tyhjiössä olevaan kappaleeseen. (Halloun & Hestenes, 1985.)

Zhou, Nocente ja Brouwer (2008) arvioivat, että oppilaiden muut ennakkokäsitykset N3. laista ja gravitaatiosta saattavat olla suoraan seurausta käsityksestä "voima aiheuttaa liikkeen", kun sitä sovelletaan eri tilanteissa. He antavat esimerkin päättelyketjusta, jonka seurauksena syntyy ennakkokäsitys "raskaat kappaleet putoavat ennemmin kuin kevyet". 1) Kappaleen liike edellyttää siihen kohdistuvaa voimaa, 2) raskaaseen kappaleeseen kohdistuu suurempi voi-

ma ja 3) siksi raskas kappale putoaa nopeammin kuin kevyt (Zhou ym., 2008). Tähän päättelyyn voi toki vaikuttaa myös kokemus siitä, että raskas kappale putoaa yleensä nopeammin, jos huomioidaan ilmanvastus. Tutkijat sanovat olevansa vakuuttuneita, että oppilaat rakentavat omat hierarkkiset käsitteelliset rakenteensa, jotka perustuvat heidän omiin epäjohdonmukaisiin ja epämääräisiin käsitteisiin (Zhou ym., 2008).

Halloun ja Hestenes (1985) ja Hestenes ym. (1992) erottavat oppilaiden ajattelussa olevan kahdenlaista voimaa: impetusta ja aktiivista voimaa. Impetus-käsite liittyy lähinnä tasaiseen liikkeeseen ja sisältää ”säiliömetaforan”, jossa kappaleen täytyy varastoida impetusta liikkuakseen, kuten auto varastoi polttoaineen, menovoiman pysyäkseen liikkeessä. Ympyräliikkeessä impetus ajatellaan ”kuljetusmetaforan” avulla, joka huolehtii siitä, että kappaleilla on pyrkimys tehdä sitä, mitä ne on ”koulutettu” tekemään. Aktiivisen voiman käsite liittyy lähinnä kiihtyvään liikkeeseen, ja sen aiheuttaa yleensä elävä kohde kosketusvuorovaikutuksessa. Elottomien kappaleiden ei uskota aiheuttavan voimaa. Tällä aktiivisella tekijällä ajatellaan olevan tehoa aiheuttaa liike eli luoda impetusta ja siirtää se muille kappaleille, kuten pojan heittäessä palloa. Looginen päättelyketju on Hestenesin ym. (1992) mukaan seuraavanlainen: ”Jokaisella ilmiöllä on syy. Liike on ilmiö ja siksi ”liikkeellä on syy” johtaa arkikäsitteeseen: liike edellyttää aktiivisen voiman.” He toteavat, että jos oppilaat eivät erota nopeuden ja kiihtyvyyden eroa liikkeen kuvaajina, on odotettavaa, että käsitystä ”nopeus on verrannollinen voimaan” ei eroteta käsityksestä ”kiihtyvyys on verrannollinen voimaan.”

Edellä olevien tutkimustenkin mukaan oppilailta on vaikeuksia paitsi voiman ja nopeuden samansuuntaisuudessa (voima aiheuttaa liikkeen), niin toisaalta myös erottaa kappaleen nopeus ja kiihtyvyys toisistaan. Reif ja Allen (1992) toteavat oppilaiden käsityksistä kiihtyvyyteen seuraavat johtopäätöksensä.

1. Tieteellisen käsitteen tehokas ja tuloksia tuottava tulkinta on mahdollista, kun käytetään yhdessä useaa erityyppistä tietoa, sekä yleistä että tapauskohtaista. Yleinen tieto voi olla käsitteen määritelmä ja tapauskohtainen tieto näyttää miten käsitettä tietyssä erityistilanteessa käytetään. Tämä tieto voi olla melko monimuotoinen jopa peruskäsitteen, kuten kiihtyvyyden tapauksessa.
2. Jokaisen tietotyypin seurassa täytyy olla lisätietoa siitä, milloin ja miten sitä käytetään. On erityisen tärkeää, että tapauskohtaisen tiedon ohella esitellään pätevyys ehdot, milloin sitä voidaan käyttää. Yleisesti määritellyn tiedon mukana on oltava yksityiskohtaiset menetelmät, kuinka sitä käytetään. Noviisioppilailta tällaisen tukitiedon puutteellisuus voi johtaa käsitteen väärin tulkintoihin.
3. Useimmilla eksperteillä on vaadittava tieto tulkita tieteellisiä käsitteitä tehokkaasti ja tuloksia tuottavasti. Kuitenkin jopa jotkut kokeneet tiedemiehet saattavat paljastaa huomattavia puutteita tulkitessaan tieteellisiä peruskäsitteitä, kuten kiihtyvyyttä, mikä kuvastaa tulkintatehtävän monimuotoisuutta.

4. Noviisioppilaat, jopa tieteellisen käsitteen oppimisen jälkeen ja useiden kuukausien käytön jälkeen, tulkitsevat sitä monissa tilanteissa usein väärin. Oppilaiden heikon esityksen voidaan nähdä johtuvan käsitteen perustana olevasta tiedosta, josta puuttuu koherenssi. Tieto käsitteestä on virheellinen väärästä soveltuvuusehdosta johtuen, ja siksi sitä ei osata useinkaan kunnolla soveltaa, vaikkakin se osataan oikein määritellä.

Reif ja Allen (1992) esittävät tieteellisten käsitteiden opetuksessa olevan kolme puutteellisuutta. Ensimmäinen puute liittyy arkipäiväisestä elämästä tai aikaisemmassa koulutuksessa syntyneisiin *ennakkokäsityksiin*. Oppilas saattaa epäonnistua yhdistämään tieteellisen käsitteen tiedon hänen aikaisemman havaintonsa kanssa ja vertaamaan samanlaisuutta tai eroavuuksia. Tämän seurauksena oppilaan aikaisempi tieto säilyy epäkoherenttina ja johtaa sekaannuksiin. Kiihtyvyyden käsite fysiikassa ja arkielämässä kuvataan nopeuden muutoksena, mutta niillä on kuitenkin merkittäviä eroja. Fysiikassa kiihtyvyys kuvataan johtuvaksi joko nopeuden suuruuden tai suunnan muutoksesta, kun taas arkikäsitteissä kiihtyvyys kuvataan epämääräisemmin ainoastaan nopeuden suuruuden muutoksena tai joskus vain nopeuden suuruuden lisäyksenä.

Toiseksi oppilailla on *heikko kyky tulkita käsitteitä*. Heidän havaintonsa paljastavat, että vaikka oppilaat ovat oppineet kiihtyvyyden käsitteen ja käyttäneet sitä, he eivät kuitenkaan osaa tulkita sitä oikein.

Keskeisimmät vaikeudet johtuvat kuitenkin tosiasiaista, että *opetuksessa ei tarkasti opeteta tiedon perustana olevia tiedon tyyppisiä*, joita tarvitaan tieteellisen käsitteen tehokkaaseen tulkintaan. Esimerkiksi uusi käsite, kuten voima, esitellään joskus vedoten lähinnä tuttuihin kokemuksiin tai analogioihin ilman täsmällistä määrittelyä. Vaikka käsite, kuten kiihtyvyys, olisi hyvin määritelty, niin harvoin opetetaan menettelytavat, joita tällaisten määrittelyjen tulkintaan tarvitaan. Lisäksi oppilaille pitää tarjota mahdollisuus harjoitella käsitteen menettelytapoja soveltamalla formaalia määrittelyä tietyissä tapauksissa. Vaikka opettaja osaa soveltaa tietoa käsitteestä koherentisti tai käsite on oppikirjassa havainnollisesti esitetty, se ei ole riittävä, sillä siitä huolimatta se voi jäädä oppilaiden mieleen hajanaisena. (Reif & Allen, 1992.)

Ellei voiman käsitettä opeteta vuorovaikutuksista käsin, voimien tunnistaminen saattaa jäädä oppilaalle mieleen enemmänkin tilanteisiin liittyvänä totuutena, ja N2. lain oikea soveltaminen voimakuviossa voi johtua paitsi edellä esitetyistä virheellisistä käsityksistä, niin myös kiihtyvyyden käsitteen väärästä tulkinnasta tai riittämättömästä, itsenäiseen ajatteluun pohjautuvasta, harjoittelusta. Champagne ym. (1980) toteavat myös matemaattisten taitojen vaikuttavan oppilaan menestymiseen mekaniikan oppimisessa. Jos oppilaalla on vähäinen tietämys matematiikan sisällöistä, tai häneltä puuttuu tietyt matemaattiset taidot, niin oppilaan huomio saattaa kiinnittyä enemmän matematiikkaan kuin mekaniikan periaatteisiin.

Rosenblattin tutkimusryhmät (2009, 2011) ovat suunnitelleet FVA-testiksi kutsutun monivalintatestin, jolla voidaan tutkia oppilaan ymmärrystä kappaleen kokonaisvoiman, nopeuden ja kiihtyvyyden suunnan suhteista pareittain

toisiinsa. He toteavat, että jopa 30 % yliopisto-opiskelijoista ylsi vain osittain oikealle ymmärrystasolle voiman, nopeuden ja kiihtyvyyden suhteista. Mikä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi nopeus voi olla kiihtyvyydelle tai voimalle joko vastakkais- tai samansuuntainen, mutta ei voi olla nolla. Merkittävä määrä opiskelijoiden vastauksista oli kuitenkin yhteneviä edellä mainitun virheellisen käsityksen kanssa, jossa vektorisuureet osoittavat aina samaan suuntaan. (Rosenblatt, Sayre & Heckler, 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Tutkijat löysivät ensinnäkin kaksi ns. välitilan mallia, joista ensimmäinen on "ei voi olla nolla"-malli. Siinä kahden vektorin, kuten voiman ja nopeuden, ei tarvitse olla yhdensuuntaiset, mutta ne voivat olla myös vastakkaisuuntaiset, mutta toinen ei voi olla nolla. Toinen "ei voi olla vastakkaisuuntainen" -malli on uskomus, jossa kahden vektorin ei tarvitse olla yhdensuuntaiset ja vaikka toinen niistä voisi olla nolla, niin toinen vektori ei voi osoittaa vastakkaiseen suuntaan kuin toinen. Lisäksi he havaitsivat, että noin puolella oppilaista, jotka paransivat ymmärrystään suureiden  $F$ ,  $v$  ja  $a$  suuntien välisestä suhteesta, kehitys tapahtui näiden osittain oikeiden "tilojen" kautta. Tutkijat arvioivat karkeasti, että noin puolet oppilaista ei vaihtanut vastaustaan alkutestistä lopputesstiin, noin  $\frac{1}{4}$  vaihtoi virheellisestä käsityksestä oikeaan vastaukseen ja noin  $\frac{1}{4}$  muutti virheellisen käsityksen osittain oikeaan vastaukseen tai osittain oikeasta vastauksesta oikeaan vastaukseen. (Rosenblatt ym., 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Toiseksi he löysivät epäsymmetriaa oppilaiden vastauksissa kahden saman suureen välisissä syy-seuraus suhteissa. Oppilaat käsittelivät usein kysymyksiä, joissa tutkittiin käsitystä "liike edellyttää kiihtyvyyttä" eri tavalla kuin käsitystä "kiihtyvyys edellyttää liikettä". Samoin he käsittelivät usein kysymyksiä "liike edellyttää voimaa" eri tavalla kuin "voima edellyttää liikettä". Yllättäen he käsittelivät usein eri tavalla myös kysymystä "voima edellyttää kiihtyvyyttä" kuin "kiihtyvyys edellyttää voimaa". (Rosenblatt ym., 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Kolmanneksi tutkijat löysivät todisteita tietyistä hierarkiasta nk. riippuvuussuhteissa, joissa vaaditaan nopeuden ja kiihtyvyyden suuntien välisen suhteen ymmärtämistä, jotta oppilaat voisivat ymmärtää voiman ja nopeuden suuntien välisen suhteen. Jos oppilaat esimerkiksi vastasivat oikein kysymyksiin, joissa voiman suunta oli annettu ja kysyttiin nopeuden suuntaa, niin he vastasivat usein oikein myös kysymyksiin, joissa nopeus tunnettiin ja kiihtyvyyden suuntaa kysyttiin, mutta ei päinvastoin. (Rosenblatt ym., 2009, Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Tutkijoiden mielestä opetus on tehokkaampaa, jos opetuksessa huomioidaan opiskelijoilla esiintyvä epäsymmetria voiman, nopeuden ja kiihtyvyyden välisissä riippuvuussuhteissa. Oppilaat saattavat nähdä opetuksessa käytetyt riippuvuusesimerkit eri tavalla. Kun oppilas näkee esimerkin, jossa kappaleelle annettua hetkellistä nopeutta voi vastata siihen kohdistuvia erilaisia kokonaisvoiman arvoja, hän voi ymmärtää sen eri tavalla kuin esimerkissä, jossa kappaleelle annettua kokonaisvoimaa voi vastata mikä tahansa nopeuden arvo. Opetuksessa pitää tutkijoiden mukaan käyttää kummankin tyyppisiä esimerkkejä,

jotta voidaan kiinnittää riittävästi huomiota oppilaiden vaikeuksiin ymmärtää näitä suhteita. Lisäksi nämä kaksi eri esimerkkiä saattavat painottaa erilaista välitilan tason ymmärrystä. (Rosenblatt ym., 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Löydetyillä nopeuden, voiman ja kiihtyvyyden suuntien välisten suhteiden ymmärtämiseen liittyvillä hierarkioilla on tutkijoiden mukaan tärkeät seurauksensa opetuksen esitysjärjestykseen. Opettajan pitää ensin varmistaa, että oppilaat ymmärtävät nopeuden ja kiihtyvyyden suuntien välisen suhteen yhtä hyvin kuin voiman ja kiihtyvyyden varmistuakseen siitä, että oppilaat ymmärtävät myös nopeuden ja voiman välisen suhteen, joka on yleisen virheellisen käsityksen lähde. (Rosenblatt ym., 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011.)

Seuraavaksi tarkastellaan tutkimustulosten pohjalta, voisiko olla helpompaa opettaa voiman ja liikkeen välinen yhteys muussa aihealueessa kuin mekaniikassa, jonka kontekstit ovat monille arkikokemuksista jo tuttuja. Onko iällä, jossa opetus toteutetaan, vaikutusta oppilaiden käsitteelliseen ymmärtämiseen tai vaikuttaako toinen virheellinen käsitys toisen syntymiseen.

Itza-Ortiz, Rebello ja Zollman (2004) ovat tutkineet opiskelijoiden käyttämiä mentaalisia malleja N2. lakiin liittyvissä ongelman ratkaisuisissa mekaniikassa ja sähkömagnetismissä. Tutkijat löysivät haastatteluissa oppilaiden käytävän kolmea mentaalista mallia: newtonilainen malli ( $\vec{F} = m\vec{a}$ ), aristotelinen malli ( $\vec{F} = m\vec{v}$ ): nopeuden lisäys saavutetaan voimaa lisäämällä ja hybridimalli, joka yhdistää Newtonin ja Aristoteleen mallit. Aristotelinen malli säilyi joidenkin opiskelijoiden käsityksenä pitkään, mutta useimmat opiskelijoista ajattelivat opetuksen jälkeen newtonilaisen mallin mukaan. Heidän newtonilainen ajattelunsa ei ollut kuitenkaan pysyvää, vaan vaihteli kontekstin mukaan. Tutkijat havaitsivat, että kun oppilaat kohtaavat abstraktimman kontekstin, kuten sähkömagnetismin, he perustavat vastauksensa enemmän opetettuun tietoon, eikä niinkään intuitiiviseen päättelyyn, kuten mekaniikan kontekstissa. Heidän mukaansa myös peruskäsitteiden ymmärryksellä, kuten vektori ja kokonaisvoima, on oma roolinsa oppilaan käyttämissä malleissa. Oppilaat saattoivat käyttää väärää malleja sen tähden, että he ymmärsivät asian taustan väärin, eikä kyse ollut niinkään N2. lain väärin ymmärtämisestä. Jos mallit siirtyvät sähkömagneettisesta kontekstista mekaniikkaan, on tutkijoiden mukaan tärkeää kiinnittää huomiota, kuinka käsitteiden ja käytettyjen termien opetus sähkömagneettisissa konteksteissa toteutetaan. Jotkut oppilaat pitivät epäselvänä Newtonin lakien siirtämistä mekaniikasta sähkömagneettisiin konteksteihin. He mainitsivat koti-tehtävien yhteydessä, että massa on mitätön, kappaleet ovat pieniä ja käytetään monia approksimaatioita.

Galili (1995) vastaavasti korostaa, että sekä mekaniikassa että sähkömagnetismin opetuksessa olisi käytettävä käsitteitä yhtenäisesti. Hänen mukaansa oppilaiden mekaniikassa saavuttama hauras käsitteellinen ymmärrys voi vaikeuttaa myös sähköopin ja magnetismin oppimista. Mahdollisena syynä tähän hän esittää vuorovaikutuskäsitteen opetuksessa käytettyjen työkalujen muuttumista. Mekaniikassa ei käytetä kenttäkäsitettä, kun taas sähkömagnetismissä kenttäkäsitteen opetus on keskeisessä asemassa. Galilin (1995) mukaan kenttäkäsitteen huolellisella opettamisella voitaisiin auttaa oppilasta ymmärtämään

fysiikan tieteellistä luonnetta paremmin, mukaan lukien myös N3. lain vuoro-vaikutuksen symmetrian.

Koska virheellisten käsitysten syntyyn vaikuttavat oppilaan aikaisemmat arkikäsitteet, ja ne näyttävät lisäksi olevan hyvin vaikeasti muutettavissa, niin on luontevaa pohtia, onko merkitystä, missä iässä olisi otollisinta opettaa voimasta ja liikkeestä. Virheellisten käsitysten muuttaminen voimasta ja liikkeestä ei näytä kuitenkaan olevan vaikeampaa iältään vanhemmille oppilaille. Tätä Palmer ja Flanagan (1997) ovat testanneet tutkimuksessaan, jossa he suorittivat yksilöhaastattelut 12-vuotiaille ja 16-vuotiaille oppilaille. Opetuksen jälkeisessä testissä ei havaittu oikeiden käsitysten muuttumisessa tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä. Tutkimus ei siis osoittanut käsitysten muokattavuuden vähenevän iän myötä, mutta tulosta ei pidä tutkijoiden mukaan myöskään tulkita siten, että käsitteellisen muutoksen opetusstrategioita siirrettäisiin 16 vuoden ikään. (Palmer & Flanagan, 1997.)

### 2.3.4 Voimien tunnistamisen ja voimakuvion konstruoinnin vaikeuksia

Mekaniikan ongelmatehtävissä perinteinen ratkaisumalli sisältää tarkasteltavan kappaleen voimakuvion muodostamisen ennen liikeyhtälöiden käyttöä. Voimakuvio, jota kutsutaan myös vapaakappalekuvioksi, on kuvallinen representaatio, jossa kappale piirretään yksinkertaiseen muotoon, ja vain tarkasteltavaan kappaleeseen kohdistuvat voimat piirretään vektoreina (ks. kuvio 2 - 4). Voimakuvio on yksi monista representaatioista, jota käytetään mekaniikan ongelmatehtävien ratkaisussa ja sillä, kuten erilaisilla representaatioilla, on edellä todettu olevan myönteisiä vaikutuksia oppimiseen.

### Voimakuvion rooli N2. lain kvantitatiivisessa ongelmanratkaisussa

Tutkimuksissa (Rosengrant ym., 2005, 2009; Ayeshe ym., 2010) on tutkittu oppilaiden spontaania voimakuvion käyttöä kurseissa, joissa korostetaan niiden käyttöä. Niissä on löydetty näyttöä siitä, että voimakuvion piirtäminen auttaa ratkaisemaan mekaniikan ongelmatehtäviä. Rosengrant ym. (2005, 2009) tutkivat voimakuvion käyttöä ongelmanratkaisun työkaluna monivalintakokeessa, joka sisälsi voimia sisältäviä ongelmatehtäviä mekaniikasta ja sähköstatiikasta. Tutkimuksen koeryhmää oli opetettu käyttämään ja ymmärtämään erilaisia representaatioita. Heistä keskimäärin 58 % piirsi voimakuvion, vaikka he tiesivät, etteivät he saaneet siitä ylimääräisiä pisteitä. Vain 17 % perinteisen opetuksen oppilaista käytti voimakuvioita ratkaistessaan ongelmia tehtävissä, joissa vastaava osuus oli koeryhmässä 68 % (Rosengrant ym., 2009). Van Heuvelenin (1991) mukaan oppilaan onkin ylitettävä ensin kynnyks, jolla hän siirtyy ajattelemaan ongelmaa fyysisen prosessin kuvauksena sen sijaan, että oppilas ajattelisi ongelmaa yrityksenä määrittää tuntematon suure. Tällöin tapahtuma esitettäisiin tutkijan mukaan tavalla, joka johtaa kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen ymmärrykseen (Van Heuvelen, 1991).

Samoin Rosengrant ym. (2005, 2009) havaitsivat, että mekaniikassa piirrettiin enemmän voimakuvioita kuin sähköstatiikassa. Kaikki ne oppilaat, jotka



olivat piirtäneet voimakuvion oikein, osasivat useammin myös ratkaista ongelman oikein. Ne oppilaat, jotka olivat piirtäneet voimakuvion väärin, ratkaisivat ongelmatehtävän myös useammin väärin kuin oppilaat, joilla ei ollut mitään näyttöä voimakuvion käytöstä. Tutkijat huomauttavat, että vaikka voimakuviosta ei ollut näyttöä paperilla, ovat oppilaat voineet konstruoida sen pääsään. Tällaisesta heillä oli havaintoja tekemissään haastatteluissa.

Tutkijat havaitsivat myös, että tapa jolla ongelma esitetään, voi vaikuttaa siihen, käyttävätkö oppilaat voimakuviota ongelmanratkaisussa. He jakoivat 12 monivalintakysymyksen vastaukset kolmeen luokkaan: matalaan-, keski- ja korkeaan käyttöasteeseen sen mukaan, kuinka paljon voimakuvioita oli konstruoitu ongelmanratkaisun yhteydessä. Jos ongelmassa kysyttiin voimaa, niin voimakuvion käyttöasteen ja ongelman tyyppin välillä oli korkein korrelaatio. Seuraavaksi korkein korrelaatio havaittiin, jos tehtävässä oli kuva mukana. Jos kuva oli mukana, oppilas piirsi voimakuvion vähemmän mielellään. Tehtävän vaikeudella tai sillä, oliko tehtävä mekaniikan tai sähköstatiikan alueelta ei ollut suurta merkitystä oppilaan valintoihin. Tulokset antavat viitteitä, että kun tehtävä esitetään sanallisessa muodossa kuvan kanssa, oppilaat eivät mielellään piirrä voimakuviota ratkaistessaan ongelmaa. Tutkijoiden mukaan yksi selitys voi olla, että esitetty kuva auttaa oppilasta ymmärtämään ongelman tilanteen, eivätkä he koe enää tarvetta piirtää voimakuviota. (Rosengrant ym., 2005, 2009.) Samoin jos tehtävässä kysytään voimaa, niin sana voima laukaisee voimakuvion skeeman (Rosengrant ym., 2005; Kohl & Finkelstein, 2007a).

Ayesh ym. (2010) tutkivat voimakuvion käytön vaikutuksia testituloksiin aloittavilla yliopistotason insinööriopiskelijoilla. Kurssin aikana opiskelijoille painotettiin voimakuvion käytön tärkeyttä. Tutkimuksen tulokset mekaniikan kurssilta tukevat Rosengrantin ym. tuloksia. Oppilaat, jotka piirsivät oikean voimakuvion ratkaistessaan fysiikan ongelmaa, ratkaisivat myös sen todennäköisemmin oikein, kun taas oppilaat, jotka eivät piirtäneet voimakuviota tai piirsivät voimakuvion väärin, todennäköisesti epäonnistuivat ongelman ratkaisussa. Oppilaista 85 % käytti voimakuviorepresentaatiota, vaikka he eivät saaneet sen käytöstä ylimääräisiä pisteitä. Näistä oppilaista 23 % konstruoi voimakuvion väärin, 30 % konstruoi oikean, mutta epätäydellisen voimakuvion ja 32 % konstruoi oikean voimakuvion. Oikean voimakuvion konstruointi auttaa tutkijoiden mukaan oppilasta syvällisemmin ymmärtämään ongelman ja siten parantaa ongelmanratkaisutaitoja. Lisäksi he toteavat, että voimakuvion epätäydellisyys voi paljastaa puutteen fyysisen käsitteen täydellisessä ymmärtämisessä, sillä epätäydellisen voimakuvion piirtäjistä vain noin puolet osasi ratkaista myös ongelman oikein.

Kursseista parhaimmat arvosanat saaneet oppilaat piirsivät todennäköisemmin myös huolitellut voimakuviot (57 %). Toisaalta tutkimus osoitti, että 62 % niistä oppilaista, jotka eivät piirtäneet voimakuviota, eivät myöskään läpäisseet kurssia. Tutkijat toteavat, että menestyminen näiden diagrammien piirtämisessä ja asianmukaisessa käytössä korreloi oppilaan menestymiseen kurssissa. Se edelleen osoittaa, että voimakuvion piirtäminen on todella perustavaa laatua oleva representaatio, joka auttaa oppilasta ymmärtämään syvällisesti



annetun mekaniikan ongelman. Oppilaiden yleisimmät virheet voimakuvioissa olivat, että piirrettiin yksi tai useampi voima väärään suuntaan, tai kaltevilla tasolla käytettiin gravitaatiovoiman väärää vektorianalyysia. (Ayesh ym., 2010.)

Voimakuvion käyttö tai sen käytön opetus ei kuitenkaan aina tuokaan toivottua tulosta oppilaan N2. lain ongelman ratkaisutaitoihin. Heckler (2010) tutki, miten kehotus voimakuvion piirtämiseen vaikuttaa oppilaan ratkaisuun yksinkertaisissa mekaniikan ongelmissa. Yliopiston fysiikan johdantokurssin opiskelijoille annettiin tyypillisiä voiman ja liikkeen ongelmatehtäviä joko kehoituksella piirtää voimakuvio tai ilman kehotusta. Tulokset näyttivät, että opiskelijat, joita oli kehotettu piirtämään voimakuvio, saivat pienemmällä todennäköisyydellä oikean ratkaisun kuin ne, joita ei ollut kehotettu ratkaisemaan ongelmaa millään erityisellä tavalla. Ratkaisumetodien analyysi paljasti, että opiskelijat, joita oli kehotettu voimakuvion käyttämiseen, olivat taipuvaisia käyttämään formaalisti opetettuja ongelmanratkaisumetodeja. Kun taas ne opiskelijat, joita ei ollut kehotettu käyttämään voimakuviota, olivat taipuvaisia käyttämään enemmän intuitiivisia metodeja. Opiskelijat, joita oli kehotettu piirtämään voimakuvioita, esittivät myös todennäköisemmin vääriä voimia.

Heckler (2010) selittää tuloksia kahdella tekijällä. Ensiksikin noviisiopiskelijat saattavat yksinkertaisesti olla tehokkaampia käyttäessään intuitiivisia, tilannekohtaista päättelyä kuin käyttäessään uusia formaaleja metodeja. Opiskelijat käyttävät ongelmalle ominaisia piirteitä esimerkiksi tilanteessa, jossa ”kappale on levossa”, jolloin he ottavat käyttöön yleisen käsitteen ”voimien on oltava tasapainossa”, eivätkä aloita ratkaisua yleisellä  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  periaatteella. Toiseksi opiskelija saattaa tulkita voimakuvion piirtämiskehotusta väärin siten, että voimakuvio on erillinen tehtävä, joka ei liity ongelmanratkaisuun. Lisäksi tulokset myös tukevat näkemystä, että ongelman konteksti saattaa aktivoida opiskelijassa erityisiä resursseja (kuten ”seuraamaan suhteellisen merkityksentöntä algoritmia”), jotka saattavat estää muiden mahdollisten opiskelijan käytävissä olevien hyödyllisten resurssien käyttöä.

Tutkimuksessa oli mukana tehtävä, jossa kaksi henkilöä työntää laatikkoa vastakkaisiin suuntiin sen kuitenkaan liikkumatta. 60 % opiskelijoista, joita kehoitettiin piirtämään voimakuvio ongelmanratkaisun yhteydessä, osasivat muodostaa oikean voimakuvion, ja vain 21 % opiskelijoista, joita ei kehoitettu voimakuvion muodostamiseen, muodostivat oikean voimakuvion. Lisäksi lähes puolet jälkimmäisen ryhmän opiskelijoista piirsi ei-formaaleja voimakuvioita, kun vastaava osuus ensin mainitussa ryhmässä oli olematon. (Heckler, 2010.)

Heckler (2010), kuten myös Van Heuvelen ja Zou (2001), muistuttavat, että opetettaessa formaaleja ongelmanratkaisumetodeja on tärkeää huomioida, että opiskelijoilla on mielessään jo omat metodinsa. Jos opetuksessa jätetään huomiotta opiskelijan kyvyt ratkaista ongelmatehtäviä ja niiden oppimisessa välttämättömien formaalien ongelmanratkaisutekniikoiden vaiheet, saattaa se johtaa yhteensopimattomuuteen sen kanssa, mitä opetetaan ja mitä on tarkoitus oppia (Van Heuvelen & Zou, 2001; Heckler, 2010). Oppilaiden täytyy ymmärtää, miksi he käyttävät kvalitatiivisia representaatioita ja kuinka nimenomaan voimakuviota käytetään ongelmanratkaisun apuna (Van Heuvelen & Zou, 2001).

Heckler (2010) toteaa, että voimakuvioiden käytön kehotus saattaa palvella tavoitteita pidemmällä aikavälillä, ja kun oppilaat aikanaan oppivat hallitsemaan formaalin ratkaisumethodin, tämä välitystila ei ole ehkä enää niin oleellinen. (Heckler, 2010.)

McCarthy ja Goldfinch (2010) tutkivat voimakuvioiden osaamista insinööriopiskelijoilla. He havaitsivat, että ensimmäisen vuoden jälkeisessä statiikan kokeessa saavutetulle pistemäärälle oli olemassa noin 50 % yläraja koskien juuri niitä opiskelijoita, jotka tekivät virheitä voimakuvioissa. Tämä toisaalta viittaa siihen, että hyvällä ja tarkalla voimakuviolla on yhteys hyvään menestymiseen ongelmanratkaisuja sisältävässä kokeessa.

### Voimien tunnistaminen ja voimakuvion konstruointi

Voimien tunnistamiseen ja niiden suuruuserojen ymmärtämiseen liittyviä vaikeuksia on tutkittu mm. jännitysvoimien, kitkavoimien, nosteen ja perinteisten yksittäisten kappaleiden voimakuvioiden osalta.

McDermott, Schaffer ja Somers (1994) tutkivat opiskelijoiden ymmärrystä Atwoodin koneesta, joka koostuu kahdesta toisissaan väkipyörän kautta kulkevalla narulla kiinni olevasta kappaleesta. Tutkimus tehtiin yliopistotason opiskelijoille ennen ja jälkeen tyypillisen laskennallisen fysiikan kurssin. Alkutestissä opiskelijoilta kysyttiin kappaleiden kiihtyvyyksiä tilanteessa, jossa kahta kytkettyä erimassaista kappaletta (raskaampi kappale B tulee A:n jäljessä) vedetään narusta vaakasuoralla pöydällä.

Tutkijat havaitsivat siinä seuraavia ongelmia: a) Kiihtyvyyteen liittyvät vaikeudet: 85 % opiskelijoista vastasi, että kiihtyvyydet ovat samat. Monet ajattelivat, että molempien narujen aiheuttamat voimat ovat yhtä suuret, ja järkeilivät, koska edellä oleva kappale A on massaltaan pienempi ja koska  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ , täytyy kevyemmän kappaleen kiihtyvyyden olla suurempi. b) Jännitysvoimaan liittyvät vaikeudet: Opiskelijoita pyydettiin myös vertaamaan naruissa vaikuttavan jännitysvoiman suuruutta. Vain noin 40 % oivalsi, että edessä olevaa kappaletta A vetävän narun jännitysvoima on suurempi. Lopuista osa ajatteli jännitysvoiman naruissa olevan yhtä suuria, tai osa epäili jännitysvoiman olevan suuremman kappaleiden välissä olevassa narussa. Jokainen ennuste oli erilainen, virheellinen näkemys narun roolista. 40 % opiskelijoista käytti ennusteessaan N2. lakia, koska kiihtyvyydet ovat samat, ja kappaleen B massa on suurempi, täytyy siitä vetävän narun jännitysvoiman olla suurempi. Loput 20 % opiskelijoista päätteli voimien naruissa olevan yhtä suuret, sillä he ajattelivat narusta 1 vetävän voiman välittyvän muuttumattomana naruun 2. (McDermott ym., 1994.)

Sama näkemys tuli esille myös kappaleiden kitkavoiman eroissa. Noin puolet arveli kitkavoimien kappaleiden A ja B ja pöydän välillä olevan yhtä suuret. Moni ajatteli, että taaempana olevaan kappaleeseen B vaikuttava kitkavoima vaikuttaa suoraan myös kappaleeseen A. Voimakuvion konstruomisessa opiskelijat unohtivat piirtää kappaletta B vetävän voiman vastavoiman kappaleeseen A. Kaikki opiskelijat, jotka tekivät vääriä vertailuja, epäonnistuivat

erottamaan kappaleita toisistaan ja tunnistamaan kaikki voimat. Kokonaisvoiman epäonnistunut määrittäminen johti tutkijoiden mukaan usein myös N2. lain väärinkäyttöön. Opiskelijat eivät osanneet määrittää, mitä systeemiä tulisi tarkastella ja minkä  $F$ , minkä  $m$  ja minkä  $a$  liittyy yhtälöön  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ . Tutkimus antaa myös evidenssiä, että "tutorials"- tyyppisten harjoitusten käyttö opetuksessa parantaa huomattavasti opiskelijoiden osaamista voimakuvioiden konstruoinnissa, N3. lain voimaparin tunnistamisessa ja dynaamisten systeemien kvalitatiivisessa analysoinnissa. (McDermott ym., 1994.)

Flores-Garcia, Alfaro-Aventa, Chavez-Pierce, Luna-Gonzalez ja Gonzalez-Quezada (2010) tutkivat oppilaiden käsityksiä jännitysvoimista erisuuntaisissa massattomissa langoissa. He havaitsivat, että oppilaat eivät ajattele jännitysvoimia vektoreina eivätkä käytä voimakuvioita, kun he vastaavat kvalitatiivisiin kysymyksiin. Sen sijaan oppilaat luottavat opittuihin tai syntyneisiin sääntöihin fysikaalisista piirteistä, jotka liittyvät jännitysvoimiin eri konteksteissa. Yksi tällaisista oli langan kulman vaikutus. Puolet oppilaista perusteli vastauksensa jännitysvoimien suunnista lankojen suuntiin pohjautuen. Lisäksi useimmat oppilaista totesivat jännitysvoiman suuruuden staattisissa tilanteissa riippuvan lankojen välisistä kulmista. Jotkut eivät tunnista, ettei jännitysvoiman suuruus riipu langan suunnasta, kun langan suunta muuttuu väkipyörän ympärillä. Kolmen langan systeemin tapauksessa oppilaat ajattelivat jännitysvoiman langassa kasvavan, kun langan kulma vertikaalisesta suunnasta kasvaa. Vastaavasti jännitysvoiman ajateltiin vähenevän, kun etäisyys kädestä lisääntyy. Tällöin käsi toimisi ikään kuin aktiivisen voiman lähteenä ja kun se etäännyy, niin voimakin pienenee. Samantyyppistä ajattelua havaittiin myös väkipyörän ympäri olevissa naruissa siten, että voima on sama vain langan samoissa kohdissa väkipyörän eri puolilla ja se vähenee siirryttäessä kauemmaksi väkipyörästä.

Heywood ja Parker (2001) tutkivat oppilaiden ja peruskoulun opettajien kognitiivista oppimista tasapainottavista ja tasapainoa horjuttavista voimista eri konteksteissa. Opetus, joka käsitteli kellumista/leijumista ja uppoamista/vajoamista, toteutettiin 7 - 14 vuotiailla. Tulosten mukaan sinänsä yksinkertaiset staattiset tilanteet voivat altistaa oppilasta virheelliselle käsitykselle, joka saattaa jäädä opettajalta helposti huomiotta.

Tutkijoiden mukaan oppilaat voivat käyttää leijumisessa ja vajoamisessa painolle määräävänä tekijänä sen intuitiivista ilmausta, missä paino liitetään kappaleen kokoon. Tämä johtaa monet tarkastelemaan vaikuttavia voimia virheellisesti. Oppilaat pitivät usein kelluvan kappaleen pinta-alaa määräävänä tekijänä nostolle, kuten "siellä on suurempi alue, johon nostovoima vaikuttaa". Tämä selitys vaikuttaisi yhtenevältä koosta riippuvan painon kanssa, ja näyttää epäsuorasti, että nostovoima asuu vedessä kappaleesta riippumatta. Tämä muistuttaa käsitystä: "voima on kappaleen ominaisuus", eikä veden aiheuttaman nosteen ajatella olevan seurausta vuorovaikutuksesta kappaleen kanssa. (Heywood & Parker, 2001.)

Tutkijat korostavat, että oppilaan tulisi erottaa toisistaan avainkäsitteet, kuten paino, gravitaatio ja massa ja ymmärtää niiden väliset suhteet. Sama pä-

tee tiheyden käsitteen kanssa. Jos kappaleen sanotaan kelluvan, koska se on harvempaa ainetta kuin vesi, ei se anna välttämättä tukea ilmiön koherentille kausaalille selitykselle. Jotta ilmiölle saataisiin merkitys, sen pitää olla oppilaalle järkeenkäypä. (Heywood & Parker, 2001.)

Tutkimus kuvaa myös käsitteellisen muutoksen vaikeuksia, sillä ajatusten kuljettaminen eri konteksteihin säilyi ongelmallisena oppilaiden pitäessä voimaa kappaleen ominaisuutena. Tämä näkyi oppilaiden ajatuksissa ”paino on voima” selittämässä staattisia rakenteita ja voimia liikkeessä. Kun voimat tulevat horjutetuiksi tasapainosta, oppilaan on äärimmäisen vaikeaa käsittää niitä yhtä suurina ja vastakkaissuuntaisina. Kaarisillan tapauksessa oppilaat ajattelivat oikein voimien olevan tasapainossa, ja kun kuorma lisättiin, he tunnistivat painon vaikuttavan siltaan voimana alaspäin. Mutta oppilailla oli vaikeutena ymmärtää, kuinka kiinteä rakenne, kuten silta kykenee muodostamaan yhtä suuren ja vastakkaissuuntaisen voiman, kun kuorma lisääntyy. Tämä kuvaa käsitteellisen muutoksen vaikeutta kiinteissä aineissa. Sama kontekstiriippuvuus näkyi myös kellumisessa ja vajoamisessa nesteessä, kun tarkasteltiin tasapainottavia ja sitä horjuttavia voimia. Oppilaat ajattelivat esimerkiksi nostovoimasta termein, jossa vesi ei kykene tuottamaan riittävää voimaa pitääkseen kappaleen kellumassa. (Heywood & Parker, 2001.)

Whiteley (1996) on testannut aloittavien lukiotason oppilaiden ( $N = 117$ ) taitoja voimakuvioiden konstruoinnissa eri konteksteissa, jotka liittyivät vakionopeudella (myös  $v = 0$ ) liikkuvaan kappaleeseen tai gravitaation alaiseen liikkeeseen. Osa kysymyksistä oli verrattavissa tämän tutkimuksen testikysymyksiin. Hän havaitsi niissä yleisiä virheellisiä käsityksiä. Vakionopeudella liikkuviin kappaleisiin liitettiin usein (43 % - 72 % tilanteesta riippuen) uskomus aktiivisen voiman olemassaolosta tai liikkeen suunnassa vaikuttavasta suuremmasta voimasta. Samoin pinnalla vakionopeudella liukuvaan kappaleeseen osa oppilaista (24) valitsi voiman vaikuttamaan alaspäin ja liikkeen suuntaan, mutta ei pinnan tukivoimaa ylöspäin, joka viittaa ajatukseen ”pitää kappaletta alaspäin”. Lisäksi 29 oppilasta epäonnistui tasapainottamaan ylös- ja alaspäin suuntautuvat voimat tasolla paikallaan olevaan kiveen. Sen sijaan vain 12 oppilasta vastasi narun varassa paikallaan olevaan heiluriin vaikuttavan erisuuret voimat, missä ylöspäin suuntautuvan voiman luonne on nyt ilmeisempi, koska naru voidaan nähdä. Whiteley (1996) havaitsi oppilaillaan seuraavia käsityksiä:

- Vakionopeudella liikkuvalla kappaleella tarvitaan liikkeen suunnassa vaikuttava voima.
- Pinnalla oleville kappaleille tarvitaan kokonaisvoima ”pitämään ne alhaalla” (etteivät ne lähde ylös tai leiju ilmassa).
- Ylöspäin liikkuville kappaleille tarvitaan ylöspäin suuntautuva voima, joka vähenee kun kappale nousee ylöspäin ja lopulta häviää kappaleen pysähtyessä.
- Newtonin 3. laki voi olla kappaleen lepotilan tai tasapainotilan syy.

Oppilaat tarjosivat usein myös resultanttivoimaa aktiiviseksi voimaksi liikkeen suuntaan ja sekoittivat usein nopeuden ja kiihtyvyyden keskenään sekä yhdistivät nämä suuret voimaan. Lisäksi oppilaat käyttivät virheellisiä ajatuksia useammassa kuin yhdessä kontekstissa. (Whiteley, 1996.)

Kitkavoiman käsite on oppilaille myös vaativa (McDermott ym., 1994; Sharma & Sharma, 2007). Sharma ja Sharma (2007) tutkivat oppilaiden ja opettajien voimakäsitetä FCI-testin avulla ja kitkavoiman käsitystä vastaavanlaisen kitkavoiman käsitetestin (FFCI) avulla. Testit, aktiviteetit ja haastattelut paljastivat aukon oppimistavoitteiden ja oppimistulosten välillä kaiken tasoilla oppilailla, eivätkä opettajatkään olleet tässä poikkeuksia. Tutkijat esittävät heikon osaamisen syyksi mm. tehottomat toiminnalliset strategiat, joissa oppilaat eivät sisäistä käsitteitä kunnolla vaan pitäytyvät naiiveissa teorioissaan. Toisaalta oppilaat eivät kykene soveltamaan tietoaan tuntemattomissa tilanteissa ja ovat kyvyttömiä esittämään kunnollisia johtopäätöksiä, mikä saattaa johtua luonnontieteellisen prosessin käsittelytaitojen puutteesta opetuksessa.

### **Matemaattisen esityksen haasteet voimakuvion konstruoinnissa**

Tutkimuksissa on todettu oppilailla olevan vaikeuksia ymmärtää vektorin matemaattista luonnetta ja ominaisuuksia. Vektorit ovat olennainen osa fysiikan matemaattista kieltä, ja näin on myös Newtonin mekaniikassa, jonka peruskäsite on voimavektori. Newtonin mekaniikan ymmärtäminen vaatii ymmärrystä vektorien yhteenlaskusta (kokonaisvoiman löytäminen), vektorien vähennyslaskusta (kiihtyvyyden löytäminen) sekä sen tunnistamista, että  $N_2$  laki yhdistää nämä kaksi riippumattomasti määritettyä suuretta toisiinsa. Vektorien yhdistäminen, joko voimakuviossa tai  $N_2$  lain käsitteellisessä päättelyssä, on oleellinen taito Newtonin mekaniikassa menestymiseen. (Knight, 1995; Flores-Garcia, Alfaro-Avena & Dena-Ornelas, 2008; Wutchana & Emarat, 2011.)

Hestenes ym. (1992) testasivat FCI-testissään oppilaiden intuitiota kahden vektorin yhdistämisestä. Heidän tuloksensa viittasivat siihen, että oppilaat päättelevät vastauksensa usein ilman vektorien ominaisuuksien ymmärtämistä. Samoin oppilaat usein soveltavat dominanssiperiaatetta kahteen vastakkaisuuntaiseen voimaan, jotka kohdistuvat samaan kappaleeseen. Tämä on tyypillinen arki ajattelun esimerkki, jossa voima- ja vastavoimaparit sekoitetaan yksittäiseen kappaleeseen vaikuttavien vastakkaisuuntaisten voimien superpositioon.

Knight (1995) käytti tutkimuksessaan kehittämänsä ”Vector knowledge”-testiä selvittääkseen, kuinka paljon aloittavilla opiskelijoilla on tietoa vektoreista ja niiden ominaisuuksista, ja osaavatko he työskennellä vektoritiedon avulla. Testiin osallistui keskitasoa parempia insinööriopiskelijoita ( $N = 286$ ), joista osa (86 %) oli kurssilla ensimmäistä kertaa ja osa uusi kurssia. Useimmille opiskelijoille vektorit eivät olleet kuitenkaan uusi asia. Testin tulosten mukaan opiskelijoista noin 35 % osasi riittävät taidot vektoreista lukeakseen tekstiä ja ratkaistakseen tyypillisiä ongelmia ilman lisäharjoitusta. 15 %:lla opiskelijoista on jotakin tietoa vektorin perusominaisuuksista, mutta he eivät ehkä osaa liittää vek-

toreita matematiikan työskentelytietoihinsa ilman lisäopetusta ja harjoitusta. Vaikka opiskelijat olivat aikaisemmin tutustuneet vektoreihin, niin 50 % aloitavista opiskelijoista ei hallinnut tarvittavaa hyödyllistä tietoa vektoreista. Lisäksi suurin osa opiskelijoista antoi itsearviointissa käsityksen, että he tietävät useimmat perusajatukset vektoreista, mutta testin tulokset näyttivät muuta.

Opiskelijat, jotka kävivät kurssin uudelleen, heidän tietonsa vektoreista olivat vain vähän parempia kuin uusien opiskelijoiden. Knightin mukaan tulokset viittaavat siihen, että pääsy tuohon epäonnistumiseen olisi opiskelijoiden puutteellinen ymmärrys vektoreista. Knight (1995) ehdottaa ongelman ratkaisemiseksi seuraavaa:

1. Opettajan tulisi eksplisiittisesti mainita vektorien ominaisuuksista useiden viikkojen ajan, ennen kuin he siirtyvät käyräviivaiseen liikkeeseen, voimiin, voimakuvioihin jne. Vektorien käytön osaamiseen tarvitaan runsaasti vahvistusta.
2. Kotitehtäviä vektoreita sisältävistä ongelmista pitäisi antaa useina viikkoina. Oppilaille pitää tarjota harjoitusta vektoreiden matematiikasta ja päättelystä sen jälkeen, kun he saavat palautteen ensimmäisestä vektorikotitehtävästä.
3. Kurssin alussa olevalla laboratoriojaksolla pitäisi olla vektoriharjoituksia. Oppilaiden tulisi saada moniste erilaisista ongelmista, joilla harjoitella ja saada opettajalta välitön palaute. Ryhmässä työskentely rohkaisee keskusteluun ja aktiiviseen osallistumiseen.
4. Vektorimatematiikan perusharjoittelua voidaan harjoitella tietokoneavusteisella opetuksella, jossa olisi erilaisia ongelmia vihjeineen ja välitön palaute. Jos harjoitus käsittää vain vektorien käytön tekniikkaa, tarvitaan lisäksi yleistä keskustelua siitä, mitä vektorit ovat, kuinka ne tunnustetaan ja kuinka niitä käytetään fysiikassa.

Flores-Garcian ym. (2008) mukaan monet oppilaat eivät saavuta käsitteellistä ymmärrystä N2. lain vektori-yhtälön vektoriluonteesta laskennallisella ja algebrallisella fysiikan peruskurssilla. Vaikka opettaja johdonmukaisesti mallintaa N2. lain ongelmien ratkaisuja voimakuvioista alkaen, niin tutkijoiden mukaan monet oppilaat välttelevät näitä diagrammityökaluja. Jopa melko kyvykkäillä oppilaillakin on taipumus hypätä välittömästi voimakomponentteihin ja turvautua muistelemaan, mitkä nämä komponentit ovat tietyissä tilanteissa, mieluummin kuin johtaa ne tilanteen geometriasta. Näyttää siltä, että monet oppilaat pitivät virheelliset uskomuksensa tiettyjen voimien luonteesta, ja ne sekoittavat heidän kykyään järkeillä tilanteessa oikealla tavalla. Esimerkiksi tehtävässä, jossa voimistelija roikkuu käsillään kahden narun varassa, jotkut oppilaat suhteuttavat narujen jännitysvoiman niiden pituuksiin. Opetuksen jälkeen oppilaat eivät osanneet tunnistaa suhteita vektorien suuruuksien ja suuntien välillä. Jotkut eivät kyenneet käyttämään vektoreita ja tunnistamaan kokonaisvoimaa ratkaistessaan voimia koskevia ongelmia. Näin ollen oppilailla on tutkijoi-



den mukaan vaikeuksia ymmärtää näitä ongelmia, jotka vaativat useita askeleita ratkaisuprosessissa.

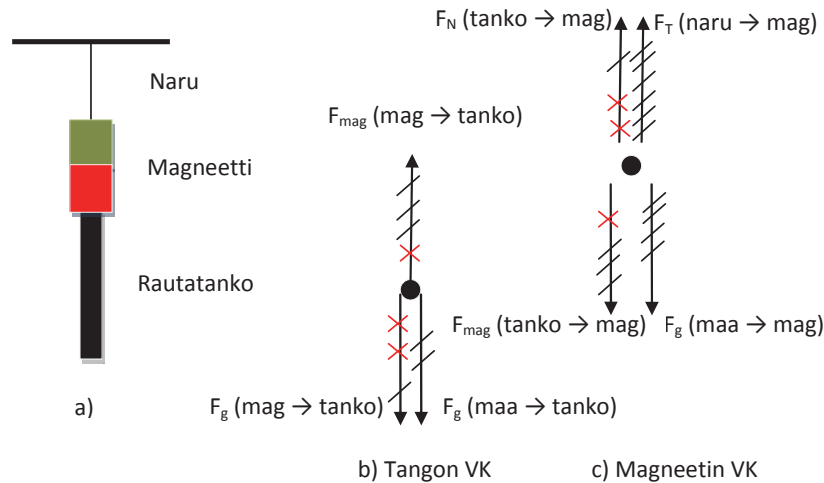
Oppilailla on havaittu olevan ongelmia myös vektorin paikantamisessa (Watts & Zylbersztajn, 1981; Kariotoglou ym., 2009). Oppilaat piirtävät voimavektorin väärälle kappaleelle, jos pitää esittää N3. lain voimaparia vektoreina. He laittavat voimaa esittävän vektorin kappaleeseen, joka sen voiman aiheuttaa eikä siihen, johon se kohdistuu. Tutkijat selittävät ongelman syyksi näkemystä, jossa oppilaat pitävät voimaa kappaleen sisäisenä ominaisuutena, joka kohdistaa voimansa ja siksi pitävät hyväksyttävänä piirtää vektori kappaleeseen, joka voiman kohdistaa (Kariotoglou ym., 2009).

### Voimien tunnistamisen ja niiden esittämistapojen parannusehdotuksia

Jimenez ja Perales (2001) ovat esittäneet voimakuvion korvaamista symbolisella kaaviolla (SRI), ainakin voimien opetuksen alkuvaiheessa. Rosengrant ym. (2009) esittävät vuorovaikutukset kirjallisesti tilannekuvan yhteydessä ja piirtävät erikseen tarkasteltavalle kappaleelle voimakuvion. Tässä tutkimuksessa käytetään erilaisia visuaalisia representaatioita: tilannekuvia, vuorovaikutuskaavioita ja voimakuvioita, ja oppilaan toivotaan oppivan siirtymään näiden representaatioiden välillä molempiin suuntiin ja lisäksi ymmärtämään niiden erot ja yhtäläisyydet.

Wendel (2011) esittää voimakuvion, johon hän on lisännyt merkinnät, joilla voidaan lisätä voimakuvion arvoa. Koska oppilaille tuntuu olevan vaikeaa piirtää voimavektorin pituuksia suhteessa niiden suuruuksiin, on hän ottanut käyttöön voimien suhteellisten suuruuksien esittämiseen geometriasta tutun viivamerkin (ks. kuvio 2 - 13). Lisäksi hän käyttää merkintätapaa, jossa X -merkkien lukumäärä erottaa toisistaan N3. lain voiman ja vastavoiman. Kuvion 2 - 13 tilanteessa narulla riippuvaan magneettiin on asetettu rautatanko, ja molemmille sekä magneetille että rautatangolle on piirretty voimakuviot. Lisäksi opetusta tehostetaan kysymällä oppilailta, kuinka he tietävät, että kaikki voimat ovat tasapainossa molemmissa kuvioissa tai että  $F_g$  magneettiin on suurempi kuin  $F_{mag}$  magneettiin. Seuraavaksi oppilaita pyydetään kuvittelemaan, miten tilanne muuttuu, jos magneetti korvataan samanpainoisella, mutta voimakkaammalla magneetilla. Käsitteellistä keskustelua seuraa normaalisti voima- ja vastavoimaparien ottaminen mukaan keskusteluun. Oppilaat hämmästelevät, kun  $F_{mag}$  kasvaminen ei vaikuta  $F_g$  magneettiin,  $F_g$  tankoon tai  $F_T$  magneettiin. Voimakuviossa kiinnitetään huomiota myös voimien perusteelliseen nimeämiseen, minkä toivotaan edistävän oppilaan ymmärrystä fyysikaalisesta tilanteesta. Voimakuvion havainnollistaminen tilanteissa, joissa muutetaan työntävän voiman suuruutta tai magneetin voimakkuutta, toimii Wendelin (2011) mukaan käsitteellisenä työkaluna voimien tunnistamiseen ja Newtonin lakien ymmärtämiseen. Oppilaita rohkaistaan lisäksi keskustelemaan konstruoiduista voimakuvioista.





KUVIO 2-13. (a) Rautatanko riippuu magneetissa, joka on narulla kiinnitetty kattoon. (b) Voimakuvio rautatangolle ja (c) vastaava voimakuvio magneetille. (Wendel, 2011, s. 309.)

Lane (1993) ja Puri (1996) käsittelevät voimakuvion piirtämistä kiinnittämällä huomiota siihen, mihin kohtaan voimavektori tulisi tarkasteltavassa kappaleessa sijoittaa. Puri (1996) huomauttaa, että painovoimavektorin pitäisi kohdistua jokaiseen kappaleen hiukkaseen, vaikka se piirretään yleensä painopisteeseen. Jäykän kappaleen tarkastelussa huomioidaan voiman vaikutuslinja, ei vain yksittäistä pistettä. Lisäksi voimien täytyy sijaita siten, että jäykkään kappaleeseen vaikuttavien yksittäisten voimien momenttien summa tulee tasapainossa olevalle kappaleelle nollassa. Kappaleen voimakuvion tulee sisältää kaikki vaikuttavat voimat ja sijaita kohdassa, mihin työntö tai veto kohdistuu.

### Voimakuvion konstruointiin liittyvien vaikeuksien yhteenveto

Aikaisempien tutkimusten mukaan voiman tunnistamiseen ja oikean voimakuvion konstruointiin voidaan nähdä liittyvän seuraavanlaisia vaikeuksia.

1. Kappaleeseen ajatellaan vaikuttavan ylimääräisiä *voimia*, jotka johtuvat kappaleen liiketilasta.
  - a) Jos kappaleen liike jatkuu tasaisena, niin kappaleeseen ajatellaan vaikuttavan liikkeen suuntaisen voiman (Champagne ym., 1980; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992; Whiteley, 1996). Jos kappale putoaa alas, niin vain silloin vaikuttaa gravitaatiovoima (Watts & Zylbersztajn, 1981).
  - b) Jos kappale on hidastuvassa liikkeessä, niin kappaleeseen ajatellaan vaikuttavan hidastavalle voimalle vastakkaisuuntainen ylimääräinen voima,

- jonka suuruus voi muuttua liikkeen mukaan (Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992).
2. *Jos kappale on levossa*, siihen ei vaikuta voimia (Champagne ym., 1980; Watts & Zylbersztajn, 1981).
  3. *Elävät kappaleet* voivat aiheuttaa kappaleelle voiman, mutta eivät *elottomat kappaleet* (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992). *Nesteissä* ymmärretään helpommin kappaleeseen kohdistuvan nostevoiman muutos kuin *kiinteiden aineiden* tukivoimassa, koska nosteen kasvu on nähtävissä upouman kasvuna (Heywood & Parker, 2001).
  4. Painon ajatellaan *riippuvan kappaleen koosta* tai nosteen suuruus vastaavasti ajatellaan *riippuvan kelluvan kappaleen pinta-alasta*. Noste ajatellaan aiheutuvan vedestä eikä veden ja kappaleen vuorovaikutuksesta (Heywood & Parker, 2001).
  5. Ei tunnisteta *pinnan tukivoimaa*, koska kappaleen ajatellaan silloin leijuvan. Tarvitaan kokonaisvoima, joka pitää kappaleen paikallaan. (Whiteley, 1996.)
  6. *Mekaniikassa* intuitiiviset voiman käsitykset ovat yleisempiä kuin abstraktimmassa aihealueessa, kuten *sähkömagnetismissä*. Toisaalta vaikeudet voivat myös siirtyä mekaniikasta sähkömagnetismiin (Galili, 1995; Itza-Ortiz ym., 2004.)
  7. *Voiman suunnan* määrittämiseen vaikuttavat oppilaiden ymmärrys nopeus ja kiihtyvyys käsitteistä, sekä niiden välisistä suunnista (Reif & Allen, 1992; Whiteley, 1996; Rosenblatt & Heckler, 2011). *Voiman kohde* ymmärretään väärinpäin ja siksi voimavektorin suuntakin on väärä (Watts & Zylbersztajn, 1981; Kariotoglou ym., 2009). Jännitysvoiman ajatellaan vaikuttavan aina langan suunnassa (Flores-Garcia ym., 2010).
  8. *Voiman vektorisuus* ja siihen liittyvät laskennalliset vaikeudet, kuten kokonaisvoiman määrittäminen, tuottavat oppilaille vaikeuksia (Knight, 1995; Itza-Ortiz ym., 2004; Flores-Garcia ym., 2008; Wutchana & Emarat, 2011). Fysikaalinen tilanne, kuten kalteva taso, tuottaa vektorilaskennassa ongelmia (Ayesh ym., 2010).
  9. *N3. lakia* sovelletaan väärin kahden kappaleen systeemien jännitysvoimissa (McDermott ym., 1994). *N3. lailla* perustellaan kappaleen lepotila (Whiteley, 1996).
  10. Voimakuvion konstruointiin liittyvät *muut vaikeudet*; kuten ongelman sanallinen tehtäväasettelu, tehtävän vaikeustaso, formaalit ratkaisustrategiat, tarkasteltavan systeemin rajaus, erilaiset kontekstit ja voimakuvion merkinnällisen informaation puutteellisuus (McDermott ym., 1994; Heywood & Parker, 2001; Kohl & Finkelstein, 2007a; Rosengrant ym., 2009; Heckler, 2010; Ayesh ym., 2010; Wendel, 2011).

## 2.4 Opetusjakson suunnittelu ja oppimisvaade

Opetuksen tutkijat ovat esittäneet erilaisia opetusjaksojen suunnittelun teoreettisia kehyksiä: mm. opetuksellisen rekonstruktion (Educational reconstruction) malli (Duit, 2000), oppimisvaade (Learning demand) (Leach & Scott, 2002) ja Design-based research (DBR) (The DBR Collective, 2003). Kaikissa näissä opetuksen teoria on tärkeässä asemassa ja tavoitteena on tuottaa muutosta nykyisiin oppimisasetelmiin sekä ymmärtää tekijät, jotka tukevat tai estävät muutosta. Opetuksellinen rekonstruktio keskittyy tieteellisen tiedon uudelleen konstruointiin suhteessa oppilaan arkipäiväisiin käsityksiin voidakseen siten auttaa oppilaita ymmärtämään opetusjakson pääasiat. Suunnittelu perustuu konstruktivistiseen oppimisenäkemykseen sisältäen myös sosiokulttuurillisia piirteitä. (Duit, 2000; Viiri & Savinainen, 2008.) Oppimisvaade perustuu sosiokonstruktivistiseen näkemykseen tieteellisten käsitteiden oppimisesta formaalissa muodossa. Lisäksi pyritään selittämään virheellisten käsitysten olemassaoloa ja tuottamaan oppimisprosessi, jossa oppilaat pystyvät käyttämään tieteellisiä ajatuksia (Leach & Scott, 2002). Tämän näkökulman merkittävä puoli on luokkahuonekeskustelun teoretisointi opetuksessa ja oppimisessa (Leach & Scott, 2002; Viiri & Savinainen, 2008). DBR on suunniteltu oppimisen tutkimiseen konteksteissa, joissa opetusjakso on systemaattisesti suunniteltu ja jonka avulla tutkitaan opetusstrategioita ja käytettyjä työkaluja. Sen keskeisenä tavoitteena on suunnitella oppimisympäristö ja kehittää siihen kietoutuva oppimisen teoria. Suunnittelu sisältää toistuvaa suunnittelua, säätämistä, analyysiä ja uudelleen suunnittelua. Se keskittyy vuorovaikutuksiin, jotka parantavat oppimisongelmien ymmärrystä. Opetuksen prosessit on voitava yhdistää oppimistuloksiin. (The DBR Collective, 2003.)

Opetuksen suunnittelun ja arvioinnin teoriaksi valittiin oppimisvaade (Learning demand) (Leach & Scott, 2002), koska se sopi tähän tutkimukseen mm. seuraavista syistä: se pohjautuu sosiokulttuurista näkemystä lähellä olevaan käsitykseen oppimisesta, siinä painotetaan tieteellisten käsitteiden oppimista siten, että virheelliset käsitykset otetaan huomioon ja suunnitteluprosessi on lineaarinen, vaikka käytännössä sisältääkin toistuvia syklejä. Lisäksi erityisen painava seikka on, että oppimisvaade on suunniteltu nimenomaan luonnontieteen oppimisen perspektiivistä (Amettler, Leach & Scott, 2007) ja sopii hyvin spesifien aiheiden, kuten voimakäsite, N3. laki ja N2. laki, opetukseen (Viiri & Savinainen, 2008). Oppimisvaade -käsitteen lisäksi teoria käsittää toisenkin suunnittelun työkalun, kommunikatiivisen lähestymistavan (Communicative approach), joka keskittyy luokkahuonediskursseihin ja tarjoaa täten näkökulman, kuinka opettaja toimii vuorovaikutuksessa oppilaiden kanssa. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä puheen osuutta opetuksessa, vaikka opettajakokemukseni perusteella pidän tärkeänä myös opettajan ja oppilaan tai oppilaiden välisen puheen vaikutusta oppimisprosessissa. Täten kommunikatiivista lähestymistapaa ei tutkimuksessa tarkemmin esitellä.

Amettlerin ym., (2007) mukaan opetuksen suunnitteluprosessi on usein intuitiivinen, eikä rationaalisia suunnittelun päätöksiä ole välttämättä tehty täsmällisesti. Luonnontieteen ja minkä tahansa aineen opetuksessa on monia päätöksiä sekä sisällöstä että pedagogiasta, jotka on tarpeen tehdä. Tutkijat puhuvat suunnittelupäätöksistä hienorakeisella tasolla, esimerkiksi sisällön yksityiskohtainen käsittely voimakäsitteen opetuksessa: milloin esitellään voimakäsite, mitkä ajatukset täsmälleen esitetään oppilaille ja missä järjestyksessä. Oppiaineen sisällöllä on päärooli opetuksen suunnittelussa, sillä se määrää sen, mitä luokassa tapahtuu. Opetussuunnitelma, opetusaktiviteetit ja opettajan ja oppilaiden vuorovaikutus muotoutuvat sisällön mukaan. Se, miten opetettavaa sisältöä luokassa opetetaan ja kuinka oppilaiden oppiminen tämän sisällön osalta ilmenee, on tutkijoiden kehittämän opetuksen suunnittelun fokuksessa. Tähän tarkoitukseen työkaluksi on kehitetty oppimisvaade.

Oppimisvaade keskittyy luonnontieteen opetuksen käsitteellisiin tavoitteisiin hienorakeisella tasolla. Oppimista tarkastellaan sosiokonstruktivismiin (ja sosiokulttuurisen näkemyksen) perspektiivistä ja siinä tehdään ero tieteellisen ja arkipäiväisen sosiaalisen kielen välillä. Kieli ja muut symboliset merkkijärjestelmät antavat keinon puhua käsitteistä ihmisten kesken sosiaalisella tasolla. Luonnontieteellisen sosiaalisen kielen ja koulufysiikan sosiaalisen kielen välillä on kuitenkin eroavaisuuksia. Luonnontiede, jota opetetaan koulussa, keskittyy tiettyihin käsitteisiin ja ajattelutapoihin, ja sen voidaan siksi ajatella muodostavan itsessään sosiaalisen kielen. (Leach & Scott, 2002; Amettler ym., 2007.) Tätä vertailua käytetään hyväksi, kun pyritään tunnistamaan opetettavalle sisällölle tunnusmerkkinen luonnontieteellisen sosiaalisen kielen oppimisen täsmällinen luonne. Oppimisvaateiden tunnistamisen tarkoitus on tuoda tarkempaan fokukseen oppilaita kohtaavat älylliset haasteet, joita tietyllä aihealueella käsitellään (Amettler ym., 2007).

Leach ja Scott (2002) korostavat lisäksi, että koska oppilaat ovat yleisellä sosiaalisella kielellä sidoksissa arkipäiväiseen elämään, niin he tulevat myös kouluun lähes samanlaisin näkökulmin, ja siksi käsitteen käsittelyn kannalta on tärkeää, että oppimisvaade voidaan määrittää myös koko oppilasryhmälle. Tässä näkökulmasta katsottuna oppimisvaade liittyy vielä läheisemmin sosiaalisten kielten ja niiden sisältämien merkitysten välisiin eroihin kuin eroihin yksilön mentaalisisissä kyvyissä. Opettajan roolia oppilaiden ymmärryksen tarkkailijana ja heidän ymmärrykseensä vastaajana pidetään myös keskeisenä.

Voimakäsitteen, kuten myös N2. ja N3. lain, ymmärtämisessä on aikaisemmin todettu olevan vaikeuksia. Esimerkiksi voima ymmärretään yhteydestään arkikieleen virheellisesti, kappaleen sisäisenä tai hankittuna ominaisuutena. Oppimisvaateet sisältävät täten mm. voimakäsitteen muodostamisen kahden kappaleen välisen vuorovaikutuksen kautta, voimakuvion konstruoinnin ja Newtonin lakien sisällöllisen ymmärtämisen arkipäiväisiin näkemyksiin verrattuna.

Leachin ja Scottin (2002) mukaan oppimisvaateet tietyllä käsitteellisellä alueella, joissa arkipäiväiset ja koulufysiikan näkökulmat saattavat ilmetä, voidaan määrittellä kolmella tavalla. Nämä liittyvät a) käytettyjen käsitteellisten

työkalujen eroihin. Esimerkiksi mehun siirtymistä kupista suuhun pyritään selittämään imun avulla, vaikka tieteellisessä selityksessä kyse on ilmanpaineerosta. b) Näiden käsitteellisten työkalujen epistemologisiin eroihin. Luonnon-tieteellisistä malleista, käsitteistä, kuten voimakäsite tai teorioista syntyneet selitystavat, joita koulufysiikassa käytetään, eivät ole osana useimpien oppilaiden arkipäiväisessä sosiaalisessa kielessä. c) Eroihin ontologiassa, johon nämä käsitteelliset työkalut perustuvat. Esimerkiksi kun oppilaat opiskelevat aineen kiertokulkua ekosysteemeissä, he eivät ajattele ilmakehän kaasuja aineen potentiaalisena lähteenä ekologisten systeemien kemiallisille prosesseille.

Ontologialla tarkoitetaan asioiden olemukseen liittyviä oletuksia, kuten kuumuus ja kylmyys ovat esineiden ominaisuuksia tai maa on kiinteä ja stabiili ja sillä on vetovoimaa. Epistemologiset oletukset ovat puolestaan tietämiseen liittyviä, kuten ”asiat ovat niin kuin ne näyttävät olevan”. (Tynjälä, 2000.)

TAULUKKO 2-5. Oppimisvaadeanalyysi voimakäsitteelle ja Newtonin 3. laille (muokattu Savinainen ym., 2005).

Opetuksessa käsiteltävät näkökulmat	Oppilaan virheelliset käsitykset
Voimakäsite ja N3. laki	
<i>Käsitteellinen näkökulma</i>	
Voima syntyy kahden kappaleen välisessä vuorovaikutuksessa ja niitä syntyy aina pareittain: voima ja vastavoima	Levossa oleva tai eloton kappale ei voi kohdistaa voimaa.
<i>Epistemologinen näkökulma</i>	
Voima on vuorovaikutuksen suuruutta kuvaava suure. Kahden kappaleen välinen vuorovaikutus on symmetrinen ja sovellettavissa yleensä kaikkiin tilanteisiin.	N3. lakia käytetään joissakin tilanteissa oikein, mutta tietyissä tilanteissa taas väärin (Dominanssiperiaate)
<i>Ontologinen näkökulma</i>	
Voima esittää kahden kappaleen välisen vuorovaikutuksen ominaisuutta.	Voima on kappaleen sisäinen tai hankittu ominaisuus (Impetusperiaate). Voima ajatellaan materiana, jota kohde hallitsee ja kuluttaa.

Taulukoissa 2 - 5 ja 2 - 6 on esitetty N3. lain, N2. lain ja voimakuvion konstruoinnin oppimisvaateet edellä mainituilla kolmella tavalla. Jos käsitteelle analysoidut käsitteelliset, epistemologiset ja ontologiset erot koulufysiikan ja arkipäiväisen ajattelun välillä ovat suuret, niin Scottin (2005) mukaan kyseinen luonnontieteen aihealue on vaikea oppia ja opettaa. Tällöin tarvitaan merkittävästi enemmän aikaa ja tehoa opetukseen siten, että oppilaita autetaan tunnustamaan näiden kahden erilaisen ajattelun rajallinen päällekkäisyys ja kohdat, joissa ne eroavat toisistaan. Vastaavasti jos koulufysiikassa käytetyt selitystavat ovat samanlaisia kuin arkipäiväisessä ajattelussa, oppilaat saattavat pitää koulufysiikan oppimista helppona tai itsestään selvänä, jolloin tarvitaan ns. ”pieni oppimisvaade”.

TAULUKKO 2-6. Oppimisvaadeanalyysi Newtonin 2. laille ja voimien tunnistamiselle ja niiden esittämiselle voimakuviossa.

Opetuksessa käsiteltävät näkökulmat	Oppilaan virheelliset käsitykset
N2. laki	
<i>Käsitteellinen näkökulma</i> Kappaleen liiketilan muutoksen aiheuttaa nollasta eroava kokonaisvoima.	Kappaleen nopeuden kasvaessa myös kokonaisvoiman täytyy kasvaa.
<i>Epistemologinen näkökulma</i> Kaikki tilanteet, joissa kappale on levossa tai suoraviivaisessa liikkeessä, ovat samanarvoisia, koska kokonaisvoima on tällöin nolla. Kun kappaleeseen kohdistuu nollasta eroava kokonaisvoima, on kappaleen kiihtyvyys kokonaisvoiman suuntaan. Nämä ovat sovellettavissa inertiaalikoordinaatistoissa.	Levossa olevaan kappaleeseen ei kohdistu voimia. Kappaleen liikkeessä pitämiseen tarvitaan nollasta eroava kokonaisvoima. Kokonaisvoima on aina liikkeen suuntaan.
<i>Ontologinen näkökulma</i> Liike on luonnollinen tila, jota ei tarvitse selittää. Vain liikkeen muutos vaatii selityksen.	Elottoman kappaleen luonnollinen tila on lepo, kun taas elottomien kappaleiden liike on ilmiö, jota vaatii selityksen.
Voiman tunnistaminen ja sen esittäminen voimakuviossa	
<i>Käsitteellinen näkökulma</i> Kappaleeseen kohdistuu voimia, joiden suunta ja suuruus esitetään kappaleen voimakuviossa voimavektoreiden avulla.	Eloton pinta ei voi kohdistaa kappaleeseen tukivoimaa, tai tukivoiman aiheuttajaa ei tunnisteta.
<i>Epistemologinen näkökulma</i> Kappaleen vuorovaikutus muiden kappaleiden kanssa aiheuttaa joko työntö- tai vetovoiman. Vuorovaikutuksen voimakkuus määrää voiman suuruuden. N3. laki pätee. Voimat ovat kontekstista riippumatta tiettyssä fysikaalisessa tilanteessa aina samat. Kokonaisvoiman suuruus ja suunta määräytyvät aina N2. lain mukaan.	Voiman suuruus ja suunta ajatellaan liikkeen mukaan (impetusperiaate). Kappaleen liikkeen suunnassa täytyy olla jokin voima tai kokonaisvoima on aina liikkeen suuntainen. Raskaampaan kappaleeseen kohdistuu suurempi voima. N3 laki on tasapainotilan syy. Kontekstiriippuvuus.
<i>Ontologinen näkökulma</i> Voimavektori esittää kappaleeseen vuorovaikutuksessa kohdistuvaa voimaa. Kokonaisvoima lasketaan vektorisummana.	Voima kuuluu kappaleelle (kappaleen paino on voima, vesi aiheuttaa nosteen). Voimavaikutuksen aiheuttaja ja voiman kohde sekoitetaan tai ne ovat epäselvät, mikä ilmenee virheellisenä vektorin paikkana ja suuntana.

Oppimisvaade ja sosiokulttuurinen näkökulma voidaan opetusjakson suunnittelun ohjauksessa huomioida seuraavasti:

- 1) Tunnistetaan opetettavana olevan koulutieteen sisältämä tieto.
- 2) Huomioidaan, kuinka tämä tieteen ala käsitteellistetään oppilaiden arkipäiväisessä sosiaalisessa kielessä.

3) Tunnistetaan ”oppimisvaade” arvioiden erilaisia eroja (käsitteellinen, epistemologinen ja ontologinen) arkipäiväisen ja tieteellisten käsitteiden ymmärtämisen välillä.

4) Kehitetään opetusjakso jokaista tämän ”oppimisvaateen” näkökulmaa käsitellen. (Leach & Scott, 2002; Savinainen ym., 2005; Viiri & Savinainen, 2008.)

Seuraavassa esitetään tutkimuksessa käytetyn opetuksen suunnitteluprosessi liittäen se Leachin ja Scottin (2002) esittämään opetusjakson suunnittelun ohjaukseen edellä olevien vaiheiden mukaisessa järjestyksessä.

1) Opetuksen ja oppimisen fokuksena oli uusien tieteellisten käsitteiden vuorovaikutus ja voima esittely, vuorovaikutuskaavion esittely ja käyttö, voimakuvion opetus eri konteksteissa ja Newtonin lakien opetus ja soveltaminen. Näiden aiheiden opetukselliset toteutussuositukset, opetusjärjestys ja ajankäyttö on esitetty opetuksen suunnitelmassa (ks. Liitteet 1 ja 6).

2) Tutkimuksessa mukana olleet opettajat olivat kokeneita opettajia, joten heidän voitiin olettaa jo ennestään tuntevan ainakin joitakin oppilaiden virheellisten käsitysten takana olevia arkipäiväisiä käsityksiä. Opetuksen suunnitelmassa näihin virheellisiin käsityksiin kiinnitettiin erityistä huomiota. Lisäksi suunnitelmassa korostettiin käytettyjen erilaisten representaatioiden, vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio, eroja ja yhtäläisyyksiä, jotta virheelliset käsitykset voitaisiin välttää ja muuttaa mielellään tieteellisiksi. Harjoitusesimerkit pyrittiin valitsemaan siten, että ne liittyivät erilaisiin konteksteihin, mikä tuo osaltaan esille puutteita arkikielen ja tieteellisen sosiaalisen kielen välillä.

3) Taulukoissa 2 – 5 ja 2 - 6 on esitetty oppimisvaateet, jotka otettiin huomioon opetuksen suunnittelussa (ks. luvut 5.3 ja 5.4)

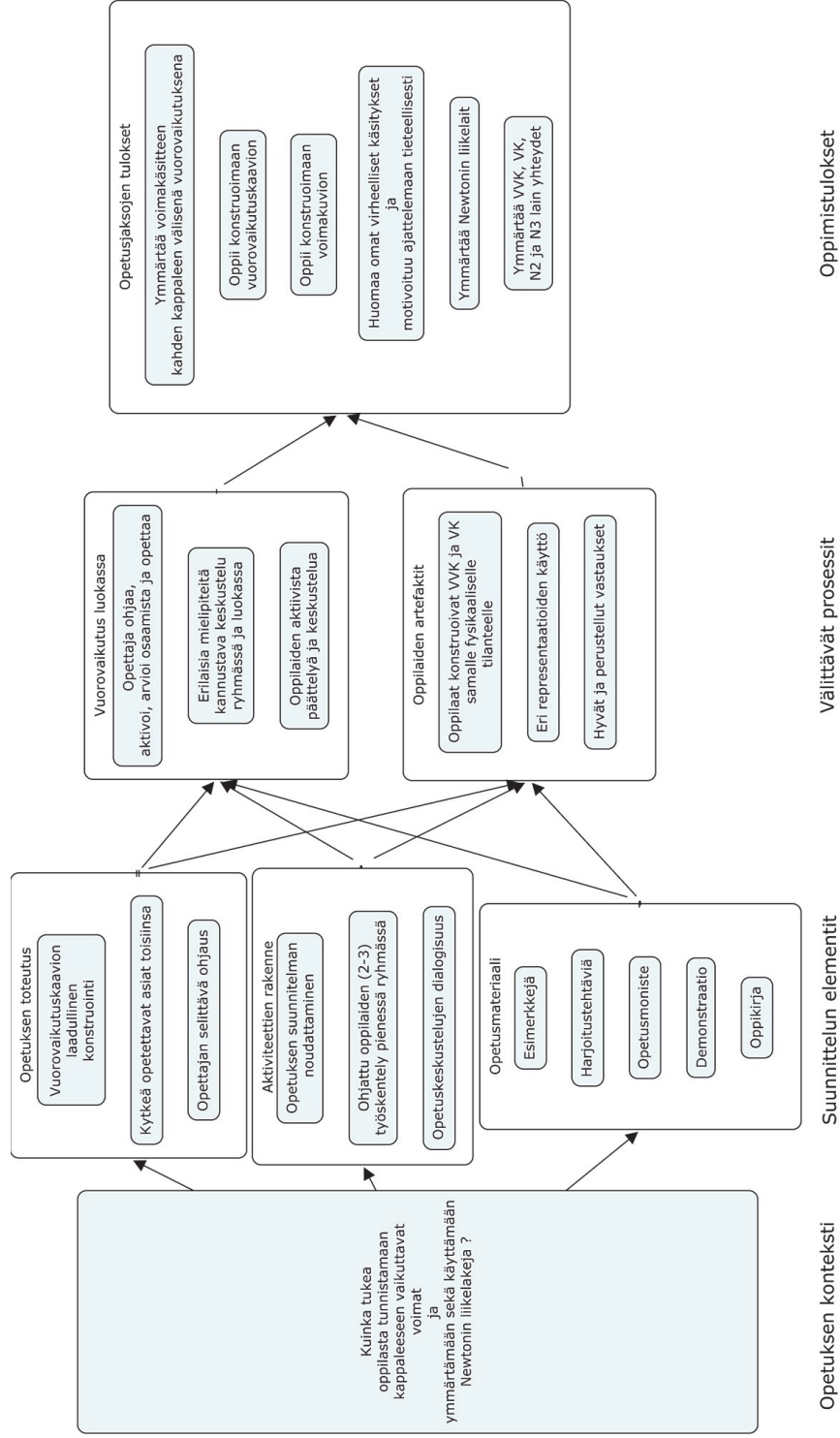
4) Opetusjaksojen suunnittelussa oli tavoitteena tuoda esille koulufysiikan opetuksessa käytettyjä selitystapoja ja saada oppilaat sisäistämään ne siten, että kiinnitetään huomiota koulufysiikan sisältämien näkökulmien pääeroihin arkipäiväisiin näkemyksiin verrattuna. Suunnitelluissa opetusjaksoissa tätä tavoitetta tukee voimakäsitteen opetus nimeomaan vuorovaikutuksista käsin. Lisäksi oppilaat työskentelevät näiden koulufysiikan näkökulmien parissa tehden erilaisia harjoitustehtäviä ja opetusmonisteita (ks. Liite 4, 5, 9 ja 10), ja he oppivat soveltamaan ja laajentamaan oppimiensa asioiden käyttöaluetta (Scott, 2005). Opetusjakson kehittäminen sisältää opetuksen lähestymistavoissa valintoja, joihin oppimisvaateen analyysi voi Leachin ja Scottin (2002) mukaan osaltaan vaikuttaa seuraavasti: Ensiksikin selvitetään opetusjaksossa käsiteltävän aihealueen tieteellinen sisältö ja tunnustetaan opetusjakson jokaisen vaiheen opetustavoitteet sekä niihin käytetty opetus aika (ks. Liite 1 ja 6). Toiseksi valitaan opetusjaksossa käytettävät esitystavat, joiden avulla voidaan kehittää perustelut opetettavalle asialle, ja saada siten yhteys oppilaiden ajatteluun. Tätä tukevat erilaiset tiettyjä opetustavoitteita varten suunnitellut aktiviteetit. Opetuksen suunnittelussa käytettiin liitteissä 5 ja 10 esitettyjä aktiviteetteja. Kolmanneksi opettaja valitsee itsenäisesti puheen tyylin (autoritatiivinen/ dialoginen), joka on tarkoituksenmukainen kuhunkin tilanteeseen opetusjakson eri kohdissa. Aktiviteettien ja ryhmätyöskentelyn yhteyteen sopii paremmin dialoginen keskustelu, kun taas opetuksessa on perinteisesti käytetty autoritaarista puhetyyliä (Scott, 1998; Nurkka, Mäkynen, Viiri, Savinainen & Nieminen, 2011).



Puheen tyyleihin ei opetusjakson suunnitelmassa annettu ohjeita eikä niitä myöskään tässä tutkimuksessa tarkastella.

Sandoval (2004) käyttää opetusintervention DBR näkökulmaan pohjautuvan suunnittelun välineenä "suunnittelun ilmentymää" (embody conjecture). "Ilmentymä" (conjecture) koostuu kuvion 2 - 14 mukaan suunnittelun elementeistä (embodiment), opetusta välittävistä tuotoksista ja prosesseista (intermediate outcomes) ja opetusintervention tuloksista (intervention outcomes). Hänen mukaansa sen avulla voidaan lisätä teoreettista tietämystä oppimisesta paljastamalla oppimiseen vaikuttavat opetuskontekstin erityispiirteet. "Ilmentymä" sisältää myös osallistujien sosiaalisen rakenteen.

Koska oppimisvaade ohjaa opetusjakson suunnittelussa nk. hienorakeiselle tasolle, niin "suunnittelun ilmentymä" tarjoaa oppimisvaateen ohessa karkearakeisen eli koko opetusjakson kokonaisuutta esittävän "ilmentymän". Lisäksi "ilmentymä" tukee sosiokulttuurisen oppimisnäkömyksen peruseriaatteita: oppiminen sijoittuu aktiviteettien yhteyteen, oppiminen välittyy välineiden (artefaktien) ja sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta. Tässä tutkimuksessa ei DBR näkökulmaa ole käytetty muutoin kuin hyödyntämällä Sandovallin (2004) kehittämää työkalua. Kuvioon 2 - 14 on koottu karkea tutkimukseen soveltuva opetusjaksojen suunnittelun ilmentymä, joka ei sisällä yksityiskohtaisia linkkejä elementtien välillä (muokattu Sandoval, 2004). Opetuksen suunnitteluprosessin kannalta tällainen kokonaiskuva on merkittävä, koska on osattava tulkita ja muodostaa yleiset "oppimisen askeleet" suhteessa taulukoissa 2 - 5 ja 2 - 6 esitettyihin oppimisvaateisiin (Scott, 2005).



KUVIO 2-14. Opetusjaksoiden suunnittelun ilmentymä (muokattu Sandoval, 2004)

### Transferopettajat opetuksen tutkimuksessa

On esitetty evidenssiä mm. (Hake, 1998a), että oppimistulokset ovat tietyissä opetustavoitteissa parantuneet, kun opetusinterventio on perustunut opetuksen tutkimukseen (Leach & Scott, 2002; Leach ym., 2003; Andrews, Leonard, Colgrove & Kalinowski, 2011). Haken (1998a) laajan tutkimuksen tulokset osoittivat, että vuorovaikutteisen opetuksen (ks. luku 2.3.2) avulla oppilaat oppivat keskimäärin kaksi kertaa paremmin kuin oppilaat, joille opetus tapahtui perinteisellä opetuksella (ks. luku 2.3.2). Siten on melko yleisesti hyväksytty, että opetus vuorovaikutteisen oppimisen menetelmin auttaa oppilaita paremmin oppimaan kuin saman asian opetus perinteisessä opetuksessa (Andrews ym., 2011).

Leach ym. (2003) ja Andrews ym. (2011) kuitenkin huomauttavat vakavasti otettavasta rajoituksesta: useimmat vuorovaikutteisen oppimisen kurssit ovat opettaneet opettajat, joilla on opetuksen tutkimuksen kokemusta (mm Hake 1998a, 1998b), tai opettaja on toiminut tutkimuksissa usein hyvin läheisesti tutkimusryhmän kanssa. Tämä opetuksen tutkimuksen antama asiantuntemus saattaa parantaa opettajan opetuksen tehokkuutta, kuten kykyä käyttää vuorovaikutteisen oppimisen metodeja. Lisäksi näissä tutkimuksissa puhutaan melko vähän opettajan roolista opetuksen toteuttajana (Leach ym., 2003). Leach ym., (2003) mukaan tuolloin oli hyvin niukasti evidenssiä sille, että opettajat, jotka eivät ole läheisesti olleet mukana tutkimusprosessissa, olisivat voineet toistaa parantuneet oppimistulokset opetuksessaan.

Andrews ym. (2011) pyrkivät tutkimuksessaan selvittämään tämän ongelman seurauksia. He tutkivat biologian kursseilla luonnollisen valinnan oppimista satunnaisesti valituissa lukioissa ja yliopistoissa eri puolilta Yhdysvaltoja. Opetus oli toteutettu passiivisen luento-opetuksen eli perinteisen opetuksen sijaan vuorovaikutteisen opetuksen menetelmin. Tulosten mukaan 61 % opettajista ilmoitti käyttäneensä vuorovaikutteisia oppimisen harjoituksia ainakin kerran opetushetkeä kohti. Tutkijat pitivät huomion arvoisena, että oppimisen kehitys jäi vaatimattomaksi. Tutkijoiden mukaan se kertoo siitä, etteivät oppilaat biologian johdantokurssilla olleet oppineet soveltamaan evoluutiotietojaan uusissa kysymyksissä. Heidän tärkein löytönsä kuitenkin oli, etteivät he löytäneet kursseilla käytettyjen vuorovaikutteisen oppimisen harjoitusten frekvenssin ja oppilaiden oppimisen välillä yhteyttä. Koska vuorovaikutteinen oppiminen ei tuottanut parempia oppimistuloksia, tutkijat pohtivat, että useimmilta opettajilta saattoi puuttua ymmärrys siitä, miten tutkijoiden kehittämä opetus ja oppiminen rikkaalla ja yksityiskohtaisella tavalla tulisi toteuttaa. Opettajien toteuttama opetus saattaa muistuttaa vuorovaikutteisen oppimisen opetusta, mutta siitä puuttuu oppimisen kehittymiseen välttämättömät konstruktiiiset elementit. (Andrews ym., 2011.)

Tässä tutkimuksessa on myös huomioitu edellä mainittu tutkimusmetodinen ongelma opettajan roolista sekä opettajana että tutkijana. Tämän vaikutuksia oppimistuloksiin on vain vähän tutkittu (Andrews ym., 2011). Aikaisemmat tutkimukset (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005), joissa opettaja on toiminut

oman opetuksensa tutkijana, ovat kertoneet selvästi parantuneista voimakäsitteen ja N3. lain oppimistuloksista, kun opetuksessa on käytetty apuna vuorovaikutuskaavion kaltaista visuaalista representaatiota. Siksi on aiheellista tutkia oppimista lukioympäristössä, jossa opetuksen toteuttava opettaja ei ole ollut aktiivisesti mukana opetuksen tutkimuksessa, eikä ole näin ollen omaksunut tietoa, jolla saattaa olla vaikutusta oppimistuloksiin.

Opettajia, jotka eivät ole itse olleet mukana kehittämässä uutta opetusjaksoa, eikä heillä ole aikaisempaa kokemusta opetuksen ja oppimisen tutkimuksesta kyseisellä aihealueella, nimitetään tässä tutkimuksessa transferopettajiksi. Kouluja ja niiden oppilaita nimitetään vastaavasti transferkouluiksi ja transferoppilaita. Transferkouluille suunnitellut opetusjaksot painottavat enemmän vuorovaikutuskaavioiden käyttöä kuin vertailukouluissa. Lisäksi vuorovaikutuskaavioita konstruoidaan monissa erilaisissa fysikaalisissa tilanteissa ja eri liikelajeissa. Kun tutkijan suunnittelema opetusjakso, joka pohjautuu opetuksen tutkimuksen antamiin tuloksiin ja osaltaan opetuksen teorioihin, annetaan transferopettajien opetettavaksi, saadaan tärkeää tietoa siitä, miten suunnitelman toteutus toimii ja on siirrettävissä tavanomaiseen yleislukion oppimisympäristöön. Lisäksi tämä menettely vahvistaa tutkimuksen tulosten luotettavuutta, koska edellä mainittu opettajan opetuksen tutkimuksen mahdollinen asiantuntemus on tutkimuksesta suljettu pois. Transferopettajien toteuttaman opetuksen ja opetusmateriaalin suhdetta tarkastellaan myöhemmin luvuissa 5.3 ja 5.4.

### 3 TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Edellä todettiin, että oppilailla on vaikeuksia ymmärtää Newtonin 3. laki, tunnistaa kappaleeseen vaikuttavat voimat ja konstruoida kappaleelle oikea voimakuvio. Tässä tutkimuksessa selvitetään kuinka voiman ja Newtonin laki- en opetuksessa käytetty vuorovaikutuskaavio vaikuttaa oppilaiden osaamiseen näillä aihealueilla. Vuorovaikutuskaavion käytön tavoitteena on, että oppilaat oppisivat voimien syntyvän nimenomaan kappaleiden välisistä vuorovaikutuk- sista sen sijaan, että he ajattelisivat voiman olevan kappaleen ominaisuus. Tut- kimusongelman ratkaisemiseksi suunniteltiin voimaa ja Newtonin lakeja käsit- televät kaksi opetusjaksoa kaikille lukiolaisille pakolliseen kurssiin FY1 (OPH, 2003) ja yleensä toisen opiskeluvuoden valinnaiseen valtakunnalliseen meka- niikan kurssiin FY4 (OPH, 2003). Näille kursseille suunniteltuja ja toteutettuja opetusjaksoja nimitetään vastaavasti opetusjaksoiksi FY1 ja FY4. Opetusjaksojen suunnitelmissa, jotka vain transferopettajat toteuttivat opetuksessaan, painotet- tiin vuorovaikutuskaavion käyttöä. Tutkimuksessa tutkitaan miten tämä suu- rempi vuorovaikutuskaavioiden käytön painotus vaikuttaa oppimistuloksiin transferkouluissa verrattuna vertailukouluihin, joissa opetus toteutetaan opetta- jan oman suunnitelman ja saman vuorovaikutuskaavion käytön esittelevän op- pikirjan avulla.

Vuorovaikutuskaavion vaikutusta voimakäsitteen oppimiseen edellä mai- nituissa aihealueissa ja opetusjakson suunnitelman onnistumista arvioidaan opetuksen eri vaiheissa toteutetuilla, enimmäkseen tutkimuskäyttöön, suunni- telluilla testikysymyksillä sekä transferopettajien opetuksen videomateriaalin analyysin antamalla tuloksilla. Lisäksi transferoppilaat vastasivat kansainväli- sesti tunnetussa ja käytössä olevaan Force Concept Inventory (FCI; Halloun, Hake, Mosca & Hestenes, 1995) testiin opetusjakson FY1 alussa ja opetusjakson FY4 lopussa. FCI-testin 30 tehtävästä valittiin mukaan 28 tehtävää, joten jatkos- sa kyseistä testiä nimitetään FCI<sub>28</sub>-testiksi erotuksena yleisestä FCI-testistä.

Tutkimusongelmaa lähestytään seuraavan viiden tutkimuskysymyksen avulla:

1. Miten oppilaat oppivat konstruoimaan vuorovaikutuskaavion transferkouluiissa ja vertailukouluiissa ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?
2. Miten oppilaat osasivat Newtonin 3. lain transferkouluiissa ja vertailukouluiissa
  - a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?
  - b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?
3. Miten oppilaat oppivat tunnistamaan kappaleeseen kohdistuvat voimat transferkouluiissa ja vertailukouluiissa
  - a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?
  - b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?
4. Miten oppilaat oppivat konstruoimaan oikean voimakuvion transferkouluiissa ja vertailukouluiissa
  - a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?
  - b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?
5. Onko transferkoulujen ja vertailukoulujen
  - a) Newtonin 3. lain osaamisen,
  - b) voimien tunnistamisen tai
  - c) oikean voimakuvion konstruoinnin osaamisen välillä yhteyttä vuorovaikutuskaavion osaamiseen?

Tutkimuskysymyksiin saadaan vastauksia monivalintatehtävistä, sanallisista perusteluista sekä oppilaan konstruoimista vuorovaikutuskaavioista ja voimakuvioista koostuvien testikysymysten avulla. Taulukossa 3 - 1 on esitetty molemmissa opetusjaksoissa opetuksen aikana suoritettujen testitehtävien lukumäärät. Taulukon vasemmassa sarakkeessa on viittaus edellä mainittuihin tutkimuskysymyksiin, joihin testikysymyksillä haetaan vastauksia. Testikysymykset (ks. Liitteet 2 ja 8) esitettiin sanallisessa muodossa lukuun ottamatta N3. lain tehtäviä, joita kysyttiin sanallisen lisäksi myös graafisessa, diagrammi- tai vektorirepresentaatioissa. Aikaisempien tutkimusten mukaan oppilaiden osaaminen on ollut sekä konteksti- että representaatioriippuvaista, joten testikysymykset on esitetty eri konteksteissa ja eri representaatioissa. Eri aihealueiden osaamista mittaavien testikysymysten yksityiskohtaisempi luokittelu, joka sisältää myös viittaukset tutkimuskysymyksiin on esitetty vielä erikseen liitteessä 11.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus vertailemalla oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden laadullisia eroja. Oppilaiden konstruoimia vuorovaikutuskaavioita (8) kysyttiin pääsääntöisesti vain opetusjakson FY1 testeissä (ks. Liite 2).

Toiseen tutkimuskysymykseen oppilaiden N3. lain osaamisesta voimaparin symmetrian osalta saadaan vastaus useiden monivalintatehtävien avulla, joita kysyttiin tasaisesti molemmissa opetusjaksoissa. Molempien opetusjaksojen lopputestissä pyydettiin oppilaita lisäksi nimeämään kaikki N3. lain määrittelemät voimaparit yhdessä fyysisessä tilanteessa (ks. Liitteet 2 ja 8).

Kolmanteen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus oppilaiden molempien opetusjaksojen testeissä konstruoimien voimakuvioiden avulla. Oppilaita pyydettiin konstruoimaan voimakuvioita eri konteksteissa: lepotila, tasainen liike ja kiihtyvä liike. Voiman tunnistamisen kriteerit on määritelty luvussa 4.3. Siihen, miten oppilaat osaavat tunnistaa kappaleeseen kohdistuvat voimat oikein saadaan tietoa sekä voimakuvioista että sanallisista FCI<sub>28</sub>-monivalintatehtävistä (ks. Liitteet 2 ja 8).

TAULUKKO 3-1. Testikysymysten lukumäärät opetusjaksojen FY1 ja FY4 alku- ja loppu- testeissä. Oikealla on viittaus tutkimuskysymyksiin, joihin testikysymyksillä haetaan vastauksia. Suluissa on esitetty N3. lain tehtävien eri representaatiot.

Tutkimuskysymys	Testattava aihe	Opetusjakso FY1		Opetusjakso FY4		
		FCI alku-testi	FY1 loppu-testi	FY4 alku-testi	FY4 loppu-testi	FCI loppu-testi
1. ja 5. a)-c)	<i>Vuorovaikutuskaavion osaaminen</i>	-	8	3	1	-
2. a), b) ja 5. a)	<i>N3. lain osaaminen voimaparin symmetria</i>	4	2 (verb.) 1 (vekt.)	2	2 (verb.) 1 (vekt.) 1 (diagr.) 1 (graaf.)	4
	<i>voimaparin tunnistaminen</i>	-	1	1	1	-
3. a), b) ja 5. b)	<i>Voimien tunnistaminen voimakuvioissa monivalintatehtävistä</i>	- 7	8 -	4 <sup>1</sup> -	7 -	- 7
4. a), b) ja 5. c)	<i>Oikea voimakuvio N2. laki (<math>\Sigma F = 0</math>) monivalintatehtävät</i>	4	-	-	-	4
	<i>oikea voimakuvio</i>	-	5	2	2	-
	<i>N2. laki (<math>\Sigma F \neq 0</math>) monivalintatehtävät</i>	5	-	-	-	5
	<i>oikea voimakuvio</i>	-	3	1	5	-

Neljäs tutkimuskysymys oikean voimakuvion osaamisesta edellyttää oppilaalta myös N2. lain osaamista. Oikean voimakuvion osaaminen on siten jaettu taulukossa 3 - 1 kahteen osaan, N2. laki  $\Sigma F = 0$  ja N2. laki  $\Sigma F = ma \neq 0$ , joka noudattelee perinteistä N1. ja N2. lain jaottelua. Voimakuvio tulkittiin oikeaksi, jos se täytti voimakuvion asetettujen muiden vaatimusten lisäksi myös N2. lain mukaisen ehdon voimavektorien suuruuseroista, eli kokonaisvoima oli oikein (ks. luku 4.3). Voimavektorien suuruudet mitattiin 2 mm erottelutarkkuutta käyttäen. Oppilaiden N2. lain osaamista tutkittiin voimakuvioissa esitettyjen voimavektoreiden suuruuserojen lisäksi myös FCI<sub>28</sub>-monivalintatehtävillä. N2. lain

<sup>1</sup> Koulussa T3 oli FY4 alkutestin voimakuvioissa yksi kysymys (jäkiekon liukuminen jäällä, liite 2) vähemmän.



matemaattista representaatiota ei tässä tutkimuksessa käsitellä, sillä tutkimus keskittyy vain oppilaiden käsitteelliseen ymmärtämiseen eikä ongelmaratkaisutaitojen tutkimiseen.

Viidenteen tutkimuskysymykseen vuorovaikutuskaavion osaamisen yhteydestä oppilaiden N3. lain, voimien tunnistamisen, tai oikean voimakuvion osaamiseen saadaan vastauksia tilastollisista riippuvuusanalyyseistä, jotka kertovat mahdollisista eroista oppilaiden testitehtävien vastauksissa transferkoulujen ja vertailukoulujen välillä.

Lisäksi molemmille opetusjaksoille FY1 ja FY4 osallistuneiden transferoppilaiden FCI<sub>28</sub>-testin vastausten avulla saadaan tietoa heidän osaamisen kehitymisestä N3. lain, voimien tunnistamisen ja N2. lain osaamisessa pidemmällä, noin vuoden aikavälillä. Heidän FCI<sub>28</sub> alku- ja lopputestien avulla saatua osaamisen kehittymistä voidaan siten verrata muihin tutkimustuloksiin.

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄN TARKASTELU

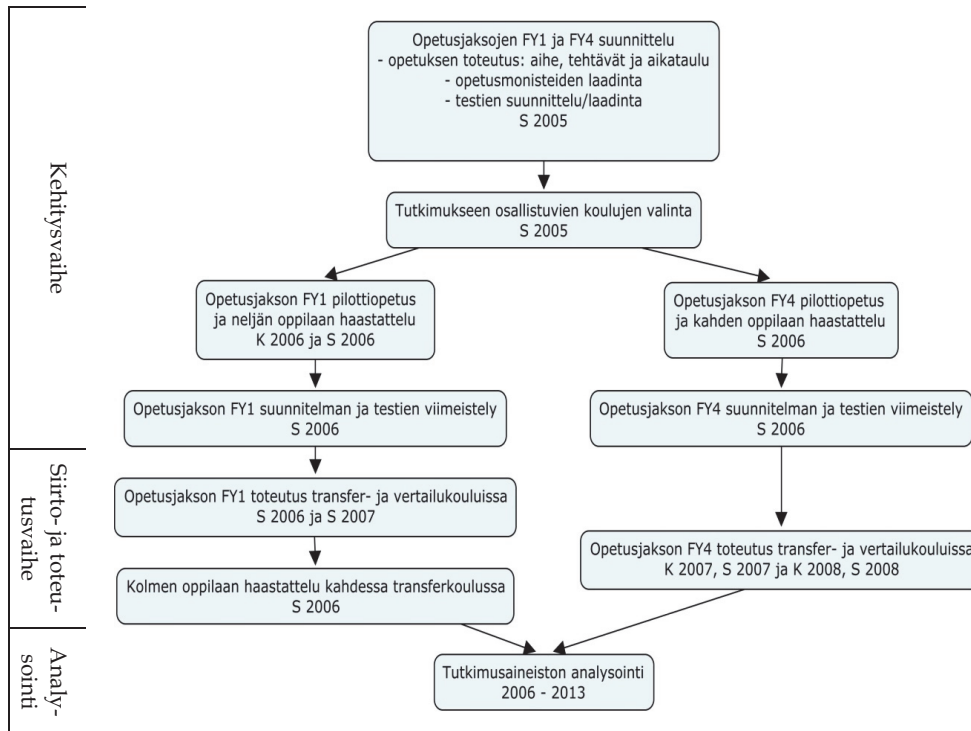
Tässä luvussa esitellään tutkimusprosessin vaiheet ja tutkimukseen osallistuneet koulut. Lisäksi esitellään tutkimusaineistona käytetyt testitehtävät ja oppituntien videoinnin toteutus sekä niiden analysoinnit. Luvun lopussa käsitellään analyyseissä käytettyjä tilastollisia menetelmiä.

### 4.1 Tutkimuksen vaiheet ja osallistujat

Tutkimus voidaan jakaa kolmeen osaan: Opetus- ja oppimisjaksojen kehitysvaihe, suunnitelman siirto- ja toteutusvaihe ja tutkimusaineiston analysointi. Kuviossa 4 - 1 on esitetty nämä tutkimuksen vaiheet ja niiden ajoitus. Kehitysvaihe sisältää kahden opetusjakson suunnittelun, opetusmonisteiden ja testien laadinnan voimaa ja Newtonin lakeja käsitteleviin osiin lukion kursseissa FY1 ja FY4 (OPH, 2003) sekä lisäksi suunnitelman mukaisen pilottiopetuksen molemmissa opetusjaksoissa.

Samaan aikaan selvitettiin lukiot, joissa oli käytössä sama vuorovaikutuskaavion idean esittävä oppikirja *Physica 1 ja 4* (Hatakka ym., 2004, 2005). Otin sähköpostitse tai puhelimitse yhteyttä suhteellisen lähellä oleviin erikokoisiin ja eri puolella Itä - Länsi-Suomea oleviin yleislukioiden fysiikan opettajiin. Tiedustelin heidän halukkuuttaan tutkimukseen osallistumiseen, ja kaikki heistä suostuivat osallistumaan tutkimukseen. Pääasiallisena valintakriteerinä oli, että koulut käyttivät samaa *Physica*-oppikirjaa. Tutkijalla ei ollut etukäteen tietoa tutkimukseen valituista kouluista tai oppilaiden menestymisestä opinnoissa. Tutkijalla ei ollut henkilökohtaisia suhteita tutkimukseen osallistuviin opettajiin, eikä hän ollut myöskään tavannut opettajia aikaisemmin. Koulujen ja oppilasryhmien valinnassa ei käytetty satunnaisotantaa, mutta mukana olleet koulut edustavat kuitenkin erikokoisia ja eri puolilla Suomea, kaupungeissa ja maaseudulla, sijaitsevia yleislukioita ja niiden oppilaita. Myöhemmin yhden vertailulukion tilalle vaihdettiin vastaavan kokoinen toinen lähellä oleva lukio. Vaih-

don syynä oli se, että opettaja ei halunnut käyttää opetuksessaan vuorovaikutuskaaviota, koska hän oli kokenut sen olevan haitaksi oppimisen kannalta.



KUVIO 4-1. Tutkimuksen vaiheet ja niiden ajoitus

Tutkimuksessa mukana olleita transferkouluja merkitään koodeilla T1, T2 ja T3 ja vertailukouluja vastaavasti K1 ja K2. Lukioiden koot on määritelty taulukossa 4 - 1 opetushallituksen tilastojen pohjalta suureksi (oppilaita > 300), keskikokoiseksi (100 < oppilaita ≤ 300) tai pieneksi (oppilaita ≤ 100) lukioksi oppilasmäärän mukaan (Opetushallitus, 2012). Kaikilla opettajilla oli aikaisempaa kokemusta fysiikan opettamisesta lukiossa: opettajalla K2 noin 6 vuotta ja muilla enemmän kuin 10 vuotta. Opettajat olivat käyttäneet opetuksessaan oppikirjaa useamman vuoden aikana (T1 5, T2 5, T3 5, K1 6 ja K2 2 vuotta) ja siinä esitettyä vuorovaikutuskaavioita jo useita kertoja (T1 20, T2 7, T3 10, K1 6 ja K2 6 kertaa).

Tutkija kävi henkilökohtaisesti tapaamassa kahta ensimmäistä opetusta toteuttavaa transferopettajaa samalla, kun heille toimitettiin videokuvaukseen ja opetukseen tarvittava materiaali. Heille, kuten muillekin kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta, opetuksen toteutuksesta, suoritettavista testeistä ja tutkimuksessa kerättävästä materiaalista kirjallisesti sähköpostin välityksellä ja/tai puhelimitse. Transferopettajat saivat opetusjaksojen opetuksen suunnitelmat, mutta varsinaista opetusta tai tutkijan antamaa ylimääräistä ohjausta niiden toteuttamiseen ei annettu. Jokaiselta transferoppilaalta ja heidän vanhemmiltaan pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumiseen ja videoin-

tiin oppituntien aikana (ks. Liite 13). Kaikki oppilaat suostuivat tutkimukseen. Tutkimukseen osallistuneet oppilaat olivat iältään 16 - 18-vuotiaita lukiolaisia. Taulukossa 4 - 1 on esitetty koulujen koot ja toteutettujen opetusjaksojen FY1 ja FY4 ajoitukset ja tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden määrät ja sukupuolijakauma.

TAULUKKO 4-1. Koulut, oppilasmäärät ja opetuksen toteutusaika eri kouluissa opetusjaksoissa FY1 ja FY4. Opetusjakso FY1 & 4 sisältää molemmissa opetusjaksoissa olleiden oppilaiden lukumäärän.

Koulun koodi	Transferkoulut			Vertailukoulut		
	T1	T2	T3	K1	K2	
Koulun koko	suuri	keskiko- koinen	pieni	pieni	keskiko- koinen	
N	Opetusjakso FY1	25	27	23	37	21
	Tyttöjä/poikia	14/11	15/12	16/7	15/22	14/7
	Opetusjakso FY4	14	29	6	16	15 <sup>2</sup>
	Tyttöjä/poikia	1/13	10/19	3/3	5/12	5/10
Ai- ka	Opetusjakso FY1 & 4	4	6	6	16	6
	Tyttöjä/poikia	0/4	2/4	3/3	5/12	5/1
Ai- ka	Opetusjakso FY1	10.2006	10.2007	8.2006	9.2007	9.2007
	Opetusjakso FY4	10.2007	8.2008	4.2007	9.2008	5.2008

## 4.2 Tutkimusaineiston keruu

Kuviossa 4 - 2 on esitetty tutkimuksen aikana opetusjaksoissa FY1 ja FY4 suoritettujen testien ajankohdat ja opetusaiheet oppitunneittain opetuksen eri vaiheissa. Opetus on suunniteltu 45 minuutin pituisten oppituntien mukaan. Opetusjaksojen välillä on noin vuoden aikaväli.

<sup>2</sup> Virassa olevan opettajan tilalla toimi toinen opettaja sijaisena.

Oppituntien järjestys	Opetusjaksossa FY1	Oppituntien järjestys	Opetusjaksossa FY4
20	TESTI 3.		
.		10	TESTI 9 FCI <sub>28</sub> lopputesti.
.		9	Nosteen opetus, TESTI 8.
8		8	TESTI 7, Ilmanvastuksen ja viskositeetin opetus.
7	TESTI 2.	7	Opetusmoniste; Newtonin lait
6	N1. ja N2. lain hrjoi- tuksia.	6	N2. lain liikeyhtälöiden harjoitus.
5	TESTI 1, N1. ja N2. lain opetus.	5	Kitkakäsitteen opetus.
4	Opetusmoniste: Vuo- rovaikutus, Voima ja liike.	4	TESTI 6, Kokonaisvoiman opetus.
3	Voimakäsite ja N3. laki.	3	TESTI 5, N1. ja N2. lain ope- tus.
2	VVK opetus.	2	VVK, VK ja N3. lain opetus.
1	TESTI 0 FCI <sub>28</sub> alkutesti.	1	TESTI 4 - Testi 2.

KUVIO 4-2. Tutkimuksen testit ja niiden suoritusvaiheet opetusjaksoissa FY1 ja FY4. Vuorovaikutuskaavion lyhenne on VVK ja voimakuvion vastaavasti VK.

#### 4.2.1 Alku- ja lopputesti

Tutkimuksessa käytettiin opetusjakson FY1 alkutestinä ja opetusjakson FY4 lopputestinä Force Concept Inventory (FCI) testin suomenkielistä käännöstä versiosta vuodelta 1995 (Halloun ym., 1995; suomennos Koponen, Jauhiainen & Lavonen, 2000). FCI-testin alkuperäinen versio julkaistiin vuonna 1992 (Hestenes ym., 1992). Tätä ennen vuonna 1985 oli julkaistu vastaavanlainen monivalintatesti The Mechanics Diagnostic Test (MDT) (Halloun & Hestenes, 1985).

FCI on monivalintatesti, joka on suunniteltu ottamaan selvää oppilaiden voimakäsitteen ja Newtonin lakien käsityksistä, ja kuinka nämä jo edellä mainitut oppilaiden uskomukset (luku 2.3) liittyvät newtonilaisen käsityksen moniin dimensioihin (Kinematiikka, N1, N2, N3, superpositio ja voimatyypit) (Hestenes ym., 1992; Hestenes & Halloun, 1995). FCI-kysymykset on luokiteltu taulukossa 4 - 2 Hestenesin ja Halloun (1995) ja Savinaisen ja Viirin (2008) mukaisesti tässä tutkimuksessa käytettyihin eri dimensioihin.

TAULUKKO 4-2. FCI<sub>28</sub>-kysymysten luokittelu tutkimuksen dimensioiden mukaan (muokattu Hestenes & Halloun, 1995; Savinainen & Viiri, 2008).

$\sum F = 0$ N2 laki,	$\sum F = ma \neq 0$ N2 laki,	N3 laki	Voiman lajit	
			Gravitaatio	Kosketus
10, 17, 24, 25	1, 2, 22, 26, 27	4, 15, 16, 28	3, 13	5, 11, 18, 29, 30

N1. laki on tulkittu N2. lain tapauksena, kun kokonaisvoima  $\sum \vec{F} = \vec{0}$ . Edellä mainitut tutkijat ovat luokitelleet kysymykset 1 ja 2 gravitaatiovoiman dimensi-

oon, mutta tässä ne on luokiteltu N2. lain ymmärtämistä mittaaviksi kysymyksiksi, koska ne eivät suoraan mittaa voimien tunnistamista. Kysymys 3 on kuitenkin sijoitettu voimien tunnistamista mittaavaksi kysymykseksi, vaikka voisi yhtä hyvin olla N2. lain ymmärtämistä mittaavana kysymyksenä. Kysymys 27 on luokiteltu Savinaisen ja Viirin (2008) mukaan N2. lakiin, vaikka Hestenes ja Halloun (1995) ovat sijoittaneet sen voimien tunnistamiseen. FCI-testi (Halloun ym., 1995) sisältää 30 käsitteellistä monivalintatehtävää, joista tutkimukseen otettiin mukaan 28 tehtävää. Tehtävät 9 ja 12 jätettiin pois, koska ne eivät sisälly molempien opetusjaksojen opetussisältöön. Tehtävä 9 käsittelee nopeuden vektorisummaa ja 12 käsittelee käyräviivaista liikettä gravitaatiokentässä. Tätä rajoitettua FCI-testiä merkitään alaindeksillä  $FCI_{28}$  erotuksena alkuperäisestä FCI-testistä. Tutkimuksessa ei tutkita erikseen kinematiikan ja superpositioperiaatteen dimensioita eikä osaamista N1. lain diagrammissa representaatiotehtävissä, koska ne eivät sisälly tutkimuskysymysten piiriin, ja lisäksi ne vaativat myös osaamista, jonka opetus kuuluu opetusjaksojen varsinaisen opetusalueen ulkopuolelle.

FCI-testiä, joka pidetään tavallisesti ennen opetusta ja opetuksen jälkeen, käytetään laajasti mittaamaan oppilaan Newtonin mekaniikan käsitteellistä ymmärrystä (Coletta & Phillips, 2005). Useimmat opetuksen tutkijat ovat yhtä mieltä siitä, että alhainen tulos FCI-testissä johtuu mekaniikan peruskäsitteiden puutteellisesta ymmärtämisestä (Hake, 1998a). Vaikka on myös esitetty epäilyksiä, että johtuuko korkea FCI-tulos yhtenäisen voimakäsitteen saavuttamisesta, on FCI-testi Haken (1998a) mukaan kuitenkin yksi luotettavimmista ja hyödyllisimmistä saatavilla olevista fysiikan testeistä opettajille. Hestenes ym. (1992) toteavat, että oppilaiden samansuuntaiset tulokset käsitteellisestä ymmärtämisestä on toistettu muiden tutkijoiden osalta monta kertaa, joten heillä on suuri luottamus testin reliabiliteettiin ja niihin johtopäätöksiin, joita aineistosta voidaan päätellä. Lisäksi, kun tutkijat ovat vertailleet prosentuaalisia osuuksia molemmissa testeissä, FCI ja MDT, näyttävät niiden tulokset samaa newtonilaista käsitteellistä ymmärrystä. On myös esitetty evidenssiä siitä, että ei vaan FCI-testi kokonaisuudessaan, vaan myös sen eri dimensioiden analyysit, tarjoavat hyödyllistä tietoa oppilaiden oppimisesta (Savinainen & Viiri, 2008).

Coletta ja Phillips (2005) ovat tutkineet yksittäisten oppilaiden normeerattuja kasvutekijöitä (Haken gain) ja alkutestin tuloksia yliopistotason mekaniikan opetuksessa. He löysivät merkittävän positiivisen korrelaation luokkien normeerattujen FCI-kasvutekijöiden ja luokkien keskimääräisten alkutestin tulosten välillä, kun käytettiin vuorovaikutteista (interactive engagement) opetustyyliä. He tekivät lisäksi Lawsonin testin tieteellisestä päättelystä ja löysivät myös erittäin vahvan positiivisen korrelaation oppilaiden normeerattujen FCI-kasvutekijöiden ja Lawsonin testituloksien välillä. Tämä korrelaatio oli jopa voimakkaampi kuin FCI-kasvutekijöiden ja FCI-alkutestin tulosten välinen korrelaatio. Tutkijat toteavat, että erot oppilaspopulaatiossa ovat tärkeitä, ja alkutestin tulos on oltava tiedossa, kun verrataan normeerattuja kasvutekijöitä erilaisissa vuorovaikutteisen työskentelymenetelmien luokissa.

Tutkimuksessa vertailuoppilaat eivät tehneet FCI<sub>28</sub>-alkutestiä, koska pyrittiin varomaan vertailuoppilaiden liiallista testausta ja säästämään vertailuopettajien opetuksesta kuluvaan aikaan. Voidaan tietysti aiheellisesti epäillä, oliko vertailuoppilaiden voimien tunnistaminen, N2. tai N3. lain osaaminen jo ennen opetusta erilaista kuin transferoppilaiden. Mutta kuten on jo edellä todettu, FCI-testi on luotettava mittari Newtonin mekaniikan käsitteellisen ymmärtämisen tutkimiseen, jolla tätä osaamista on laajasti tutkittu. Lisäksi käsitteellisen osaamisen on todettu olevan heikkoa ilman erityistä opetuksen uudistamista. Tämä heikkous on yleistä ulottuen yliopisto-opiskelijoista peruskoulun oppilaisiin eri puolilla maailmaa, ja tulokset ovat samansuuntaisia opettajasta riippumatta (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes ym., 1992; Hoellwarth & Moelter, 2011). Näin ollen on perusteltua tältä osin luottaa tutkimuksen metodiseen valintaan, vaikka Coletta ja Phillips (2005) oikeutetusti korostavatkin alkutestin merkitystä. Hestenes ym. (1992) mukaan alkutestit ovat todella tarpeettomia, ellei haluta tarkistaa uuden populaation käsitteellistä tasoa ja edelleen he toteavat, että ei ole hyväksyttävää hakea heikkoon lopputestin tulokseen syytä oppilaiden heikosta taustasta, vaan opetuksesta. Hestenes ja Halloun (1995) mukaan FCI-tulos korreloi vahvasti muiden newtonilaisten taitojen, kuten ongelman ratkaisun kanssa. Tutkijat esittävät, että vähintään 85 %:n oikeiden vastausten tulos kertoo newtonilaisen ajattelun mestaritasosta, ja 60 %:n tulosta pidetään kynnyksenä, jonka ylitettyään oppilas osaa juuri ja juuri käyttää ajattelussaan Newtonin fysiikan käsitteitä koherentisti.

Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa oli tarkoitus, että opetusjaksoissa olisi mahdollisimman paljon samoja oppilaita, joiden oppimista olisi voitu seurata pidemmällä aikavälillä. Tästä johtuen suoritettiin ensimmäisen opetusjakson alussa alkutestinä (0. testi) sekä toisen opetusjakson lopussa lopputestinä (9. testi) FCI<sub>28</sub>-testi, mutta kuten taulukosta 4 - 1 näkyy, opetusjaksoissa FY1 ja FY4 oli toteutusvaiheessa mukana suhteellisen vähän samoja oppilaita.

#### 4.2.2 Opetuksen aikana suoritettut testit

Opetuksen aikana oppilaiden osaamista testattiin eri vaiheissa asioista, jotka oli edellä opetettu (ks. kuvio 4 - 2). Ensimmäisen opetusjakson FY1 lopputestejä olivat testit 1 - 3. Testit 1 ja 2 olivat opetuksen aikana, mutta testi 3 suoritettiin koeviikolla kurssin loppukokeen yhteydessä 1 - 2 viikkoa opetusjakson päättymisen jälkeen. Testi 3 ei kuitenkaan ollut osa koetta eikä vaikuttanut kurssin arvosanaan.

Toisen opetusjakson FY4 aikana tehtiin vastaavasti opettajien asioiden oppimista mittaavia testejä. Opetusjakson FY4 alussa pidettiin alkutestinä (Testi 4) opetusjakson FY1 lopussa pidetystä testistä 2 supistettu versio. Tämän avulla haluttiin saada tietoa, miten osaaminen on muuttunut noin yhden vuoden aikana, joka yleensä oli näiden kahden opetusjakson välissä. Testit 5 - 8 sekä FCI<sub>28</sub>-testi (testi 9) toimivat opetusjakson FY4 lopputesteinä. Testi 6 oli osa Niemisen, Savinaisen ja Viirin (2010) kehittelemästä eri representaatiota sisältävästä R-FCI-testistä. Siinä oli yksi FCI-testin N3. lain voiman ja vastavoiman yhtäsuuruutta mittaava kysymys, jossa poika työntää rullatuolilla istuvaa tyttöä,



esitetty eri representaatioissa. Voiman ja vastavoiman suuruuseroa kysyttiin graafisessa, diagrammisessa, vektori ja sanallisessa representaatioissa olevissa monivalintatehtävissä. Oppilaille ei opetusjaksojen aikana jaettu oikeita vastauksia testikysymyksiin.

Testikysymysten laadinnassa hyödynnettiin jo aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyjä kysymyksiä mm. FCI, Mechanics Baseline (Hestenes & Wells, 1992) ja FMCE (Thornton & Sokoloff, 1998) ja N3. Iain testikysymyksiä (Bao, 2002; Savinainen ym., 2005) ja lisäksi opetuksen tutkimuksessa käytetyistä aktiiviteeteista muokattuja kysymyksiä ja fysiikan ylioppilastutkinnoissa olleiden kysymysten osia. Lähteet on merkitty liitteissä 2 ja 8 oleviin testikysymyksiin. N3. Iain ymmärtämistä mittaavat monivalintatehtävät ovat enimmäkseen jo aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyjä tehtäviä, joiden validiteetti on siten jo testattu. Voima- ja vastavoimaparien tunnistamistehtävät ovat uusia. Samoin eri konteksteissa esitetyt voimakuvion konstruointitehtävät ovat osaksi aikaisemmissa tutkimuksissa tai ylioppilastutkinnoissa käytettyjä tehtäviä, eikä niiden tehtävänasettelussa voi suuria eroja ollakaan. Vuorovaikutuskaavioiden konstruointitehtävät ovat samoissa fysikaalisissa tilanteissa kuin voimakuviot, ja niiden tehtävän asetelu on vastaavanlainen kuin voimakuvioissa. Sitä kuinka yhtenäisesti vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviotehtävät mittaavat oppilaiden vuorovaikutusten tai voimien tunnistamiskykyä, tutkittiin Cronbachin *alfan* avulla.

TAULUKKO 4-3. Vuorovaikutuskaavion konstruoinnin osaamista testaavat tehtävät opetusjaksojen eri opetusvaiheissa. Suluissa olevat merkit viittaavat liitteissä 2 ja 8 esitettyjen testitehtävien numeroihin.

Vuorovaikutuskaavion konstruointitehtävät			
Opetusvaihe	Testi	Fysikaalinen tilanne	Liiketyyppi
<b>Opetusjakso FY1</b>			
Vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion opetuksen jälkeen	1	Laskuvarjohyppääjä ilmassa (1a) Korkki kelluu vedessä (2a)	tasainen liike Lepotila
Opetusjakson lopussa	2	Kirja pöydällä (1a) Laatikko laskeutuu (3a) Anna hississä (4a)	Lepotila tasainen liike kiihtyvä liike
Kurssin loppukokeessa 1-2 viikkoa opetusjakson jälkeen	3	Jääkiekkoa lyödään mailalla (2a) Jääkiekko liukuu jäällä (2b) Jääkiekko jäällä (2c)	kiihtyvä liike hidastuva liike Lepotila
8			
<b>Opetusjakso FY4</b>			
Alkutesti ennen opetusjaksoa	4	Kirja pöydällä (1a) Laatikko laskeutuu (3a) Anna hississä (4a)	Lepotila tasainen liike kiihtyvä liike
Newtonin lakien ja kitkavoiman opetuksen jälkeen	5	Laatikon työntö ja veto lattialla (1a)	Lepotila
4			

Taulukoissa 4 - 3, 4 - 4 ja 4 - 5 on esitetty, missä opetuksen vaiheessa testit suoritettiin, mitkä testien kysymykset mittaavat tutkimuksen tietyn aihealueen oppimista ja missä fysikaalisessa tilanteessa testit on esitetty. Vuorovaikutuskaavioiden konstruointitaitoja (taulukko 4 - 3) testattiin enimmäkseen opetusjaksossa FY1. Opetusjakson FY4 lopputestissä oli ainoastaan yksi vuorovaikutuskaavio konstruointitehtävä testissä 5.

Oppilaiden testeissä konstruointitehtävien voimakuvioiden (taulukko 4 - 4) avulla testattiin, kuinka oppilaat osaavat tunnistaa kappaleeseen kohdistuvat voimat ja toisaalta, kuinka he osaavat soveltaa N2. lain osaamista konstruointitehtävissä voimakuvioissa oikein eri fysikaalisissa tilanteissa. Voimakuvioiden konstruoinnin lisäksi oli sanallisia FCI<sub>28</sub>-monivalintatehtäviä, joilla mitattiin myös transferoppilaiden voimien tunnistamisen osaamista. Myös N2. lain käsitteellistä osaamista mitattiin FCI<sub>28</sub>-testin tehtävillä opetusjakson FY1 alussa ja opetusjakson FY4 lopussa. Sanallisessa representaatioissa esitetyt tehtävät 10, 17, 24 ja 25 mittaavat osaamista tilanteessa, jossa kappale on levossa tai tasaisessa liikkeessä eli  $\Sigma F = 0$  ja tehtävät 22, 26 ja 27 mittaavat osaamista kiintyvässä liikkeessä eli tilanteissa, joissa  $\Sigma F = ma \neq 0$ .

TAULUKKO 4-4. Voimakuvioiden konstruoinnin osaamista ja voimien tunnistamista testaavat tehtävät opetusjaksojen eri opetusvaiheissa. Suluissa olevat merkit viittaavat liitteissä 2 ja 8 esitettyjen testitehtävien numeroihin.

Voimakuvion konstruointitehtävät			
Opetusvaihe	Testi	Fysikaalinen tilanne	Tyyppi
Opetusjakso FY1			
FCI <sub>28</sub> alkutestinä	0	7 FCI tehtävää (3, 5, 11, 13, 18, 29 ja 30)	monivalinta
Vuorovaikutuskaavio ja voimakuvion opetuksen jälkeen	1	Laskuvarjohyppääjä ilmassa (1b) Korkki kelluu vedessä (2b)	tasainen liike lepotila
Opetusjakson lopussa	2	Kirja pöydällä(1b) Laatikko laskeutuu (3b) Anna hississä (4b)	Lepotila tasainen liike kiihtyvä liike
Kurssin loppukokeessa 1-2 viikkoa opetusjakson jälkeen	3	Jääkiekkoa lyödään mailalla (2d) Jääkiekko liukuu jäällä (2e) Jääkiekko jäällä (2f)	kiihtyvä liike hidastuva liike Lepotila
Opetusjakso FY4			
Alkutesti ennen opetusjaksoa	4	Kirja pöydällä (1b) Laatikko laskeutuu (3b) Anna hississä (4b) Jääkiekko liukuu jäällä (8)	Lepotila tasainen liike kiihtyvä liike hidastuva liike
Newtonin lakien ja kitkavoiman opetuksen jälkeen	5	Laatikon työntö ja veto lattialla (1b) Lumilautailija ilmassa (2a) Kelkka liukuu mäen alaosassa (2b)	lepotila hidastuva liike hidastuva liike
Newtonin lakien ja kitkavoiman opetuksen jälkeen	7	Vaunun pysäytys (2c) Vaunun päällä oleva palikka (2c)	hidastuva liike hidastuva liike
Liiketyön opetuksen jälkeen	8	Heliumpallon liike ylöspäin	kiihtyvä liike
FCI <sub>28</sub> lopputestinä	9	7 FCI tehtävää (3, 5, 11, 13, 18, 29 ja 30)	monivalinta

Newtonin 3. lain testitehtävät (taulukko 4 - 5) koostuivat enimmäkseen voiman ja vastavoiman yhtäsuuruutta testaavista monivalintakysymyksistä. Testitehtävien joukossa oli myös tehtäviä, joissa oppilaan piti tunnistaa ja nimetä N3. lain määrittelemät voima- ja vastavoimaparit.

TAULUKKO 4-5. Newtonin 3. lain osaamista testaavat testitehtävät opetusjaksojen eri vaiheissa. Suluissa olevat merkit viittaavat liitteissä 2 ja 8 esitettyjen testitehtävien numeroihin.

N3. lain testitehtävät			
Opetusvaihe	Testi	Fysikaalinen tilanne	Tyyppi
Opetusjakso FY1			
FCI <sub>28</sub> alkutestinä	0	4 FCI tehtävää (4, 15, 16 ja 28)	symmetria
Opetusjakson lopussa	2	Kirja pöydällä levossa (1d)	voimaparit (2)
		Anna hississä kiihtyvä liike (4d)	symmetria
		Pelaajat törmäävät eri nopeudella (7)	symmetria
Kurssin loppukokeessa 1-2 viikkoa opetusjakson jälkeen	3	Erimassaiset pelaajat törmäävät (3)	symmetria
Opetusjakso FY4			
Alkutesti ennen opetusjaksoa	4	Kirja pöydällä levossa (1d)	voimaparit (2)
		Anna hississä kiihtyvä liike alaspäin (4d)	symmetria
		Pelaajat törmäävät eri nopeudella (7)	symmetria
N3. lain opetuksen jälkeen	6	FCI tehtävä 28 tyttö ja poika rullatuoleilla, poika työntää tyttöä 4 eri representaatiossa	symmetria
Newtonin lakien ja kitkavoiman opetuksen jälkeen	7	Vaunun työntö lattialla (3a)	symmetria
Nosteen opetuksen jälkeen	8	Heliumpallo kiihtyy ylöspäin (3b)	voimaparit (3)
FCI <sub>28</sub> lopputestinä	9	4 FCI tehtävää (4, 15, 16 ja 28)	symmetria

### 4.2.3 Oppituntien videointi

Transferopettajien toteuttamat oppitunnit videoitiin molemmissa opetusjaksoissa. Transferopettajat suostuivat oppituntiansa videointiin, kun sitä heiltä suullisesti kysyttiin. Videointia varten oppilailta pyydettiin kirjallinen lupa vanhemman allekirjoituksella vahvistettuna. Transferopettajien opetuksen videointi mahdollisti opettajien opetuksen tarkastelun jälkeenpäin, kuten kuinka hyvin he olivat noudattaneet opetuksen suunnitelmaa opetettavien aihealuiden ajankäytön tai tunneilla tehtyjen harjoitustehtävien suhteen. Lisäksi videomateriaalin avulla oli mahdollista tarkastella, jos opetuksessa olisi ollut havaittavissa tekijöitä, jotka ehkä selittäisivät eroja oppimistuloksissa.

Opettaja käynnisti videoinnin itse oppitunnin alussa, ja keskeytti sen testi- en ajaksi sekä oppitunnin lopussa. Kamera oli suunnattu opettajaan tai taululle, että kuullaan paremmin opettajan puhe ja nähdään, mitä opettaja tai oppilaat esittävät opetuksen aikana taululla. Koska videoinnin hoiti opettaja itse, käytettiin vain yhtä videokameraa. Teknisten ongelmien minimoimiseksi käytettiin videokameran kiinteää mikrofonia, joka osoittautuikin aivan riittäväksi luokassa tapahtuvan puheen tunnistamiseen. Ryhmätyöskentelyn aikana oli tavoitteena kuvata yhden opettajan valitseman ryhmän työskentelyä, mutta siinä ää-

net eivät kuuluneet, eikä oppilaiden paperityöskentelyä voinut nähdä. Videointiin pienillä resursseilla sisältyy virhemahdollisuuksia. Ensimmäisessä opetusjaksossa FY1 koulun T2 yhden, osaksi vuorovaikutuskaaviota ja N3. lakia käsittelevän, oppitunnin videointi (75 min) ei onnistunut teknisen ongelman takia, ja toisessa opetusjaksossa FY4 koulun T1 yhden vuorovaikutuskaaviota käsittelevän oppitunnin (45 min) videointi epäonnistui sähkökatkon takia.

Videot muutettiin digitaaliseen muotoon. Koodausta varten määriteltiin eri aihealueissa koodattaville asioille kriteerit, joiden pohjalta videot analysoitiin.

### **4.3 Tutkimusaineiston analysointi**

#### **4.3.1 Testitehtävät**

Oppilaiden oppimista tarkasteltiin analysoimalla oppilaiden antamia vastauksia testitehtäviin. Testitehtävien analysointiin käytettiin tilastollisia menetelmiä. Tilastollisen merkitsevyyden lisäksi laskettiin myös efektikoko ja luottamusväli. Näiden laskennassa käytettiin monipuolista tilastollisen tietojenkäsittelyn ohjelmistoa, SPSS. Apuna käytettiin myös Excel-ohjelmaa. Kiihtymisen, efektikokojen ja luottamusvälin laskemisessa käytettiin mm. Campbell Collaborationin (Wilson, 2010) ja Website for Statistical Computationin (Lowry, 2001, 2003) laskureita. Tutkimuksessa käytetyt tilastolliset tunnusluvut esitellään seuraavassa luvussa 4.4.




#### **Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden laadulliset kategoriat**

Oppilaiden konstruoimat vuorovaikutuskaaviot ja voimakuviot luokiteltiin kolmeen laatuluokkaan. Laatuluokittelun määräävät kriteerit on esitetty taulukoissa 4 - 6 ja 4 - 7. Taulukoiden alaosassa on esitetty esimerkit oppilaiden konstruoimista vuorovaikutuskaavioista ja voimakuvioista, jotka on luokiteltu kyseiseen laatuluokkaan. Esimerkit ovat testitehtävästä, jossa hissikori ja sen lattialla seisova Anna ovat juuri lähteneet kiihtyen alaspäin (ks. Liite 2). Lisäksi taulukoiden välissä on huomautuksia, jotka selventävät koodauksen tulkintaa.

TAULUKKO 4-6. Oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden laatuluokat, niiden perusteet, tarkennukset luokkaan hyväksynnälle sekä esimerkit eri laatuluokissa.

Koodi	Erinomainen	Hyvä	Heikko tai puutteellinen
Perusteet	<p>Kaikki vuorovaikuttavat kappaleet on tunnistettu.</p> <p>On käytetty vuorovaikutusviivaa tai kaksisuuntaista nuolta.</p> <p>Vuorovaikutustyyppi (kosketus K tai etä E) on merkitty tai selitetty sanallisesti.</p>	<p>Kaikki vuorovaikuttavat kappaleet on tunnistettu.</p> <p>On käytetty vuorovaikutusviivaa tai kaksisuuntaista nuolta.</p> <p>Ei ole merkitty vuorovaikutustyyppiä eikä myöskään esitetty vuorovaikutusta sanallisesti.</p>	<p>Ainakin yksi vuorovaikutus puuttuu tai on esitetty ylimääräisiä vuorovaikutuksia.</p> <p>tai</p> <p>On käytetty tunnistamisessa voimia vuorovaikutusten sijaan.</p> <p>tai</p> <p>Kaaviosta puuttuvat sen oleelliset ominaisuudet.</p>
Huomautukset	<p>Sanallinen selitys hyväksyty, jos se on vain tarkasteltavan kappaleen päässä.</p> <p>Ilman vuorovaikutus levossa olevaan kappaleeseen on otettu ylimääräisenä, koska nosteen suunta oli väärä.</p>	<p>Ilman vuorovaikutuksen puuttumista ei ole huomioitu, jos se ei ole merkittävä (laatikko, lumilautailija, kelkka).</p>	<p>Maan vetovoima ja pinnan tukivoima on hyväksytty vuorovaikutuksena, mutta kitka tulkittu voimaksi, koska siinä ei näy, minkä vuorovaikutuksesta on kyse.</p>
Esimerkit			 

TAULUKKO 4-7. Oppilaiden konstruoiden voimakuvioiden laatuluokat, niiden perusteet, tarkennukset luokkaan hyväksynnälle sekä esimerkit eri laatuluokissa.

Koodi	Erinomainen	Hyvä	Heikko tai puutteellinen
Perusteet	<p>Voimat on tunnistettu oikein.</p> <p>Voimat on esitetty vektoreina.</p> <p>Voimat on nimetty tai niille on merkitty tyyppilliset tunnuksat.</p> <p>Vektorien suuruserot on esitetty oikein. Vektorien summassa sallitaan korkeintaan 2mm virhe.</p>	<p>Voimat on tunnistettu oikein.</p> <p>Voimat on esitetty vektoreina.</p> <p>Voimien nimet ja tunnuksat puuttuvat.</p> <p>tai</p> <p>Vektorien suuruserot ovat epäselvät tai väärin, eli vektorien summassa virhe, joka on suurempi kuin 2mm.</p>	<p>Ainakin yksi voima puuttuu tai on esitetty ylimääräisiä voimia.</p> <p>tai</p> <p>Vektorien suunnat ovat väärinpäin.</p> <p>tai</p> <p>Voimat on tunnistettu, mutta ei ole käytetty vektoreita vaan viivoja tai sanallista esitystä.</p> <p>tai</p> <p>Voimakuvio on muutoin epäselvä.</p>
Huomautukset	<p>Voimavektorin ei tarvitse välttämättä kohdistua kappaleeseen, vaan se voi olla alla tai sivulla.</p> <p>Kiekon lyönnissä ei ole huomioitu kitkan puuttumista.</p>	<p>Vektorien suuntaa ei ole huomioitu täsmällisesti. Vektoreissa sallittiin pienet kallistukset.</p>	<p>Nimeämättömissä tapauksissa vektori voi esittää myös vastavoimaa.</p>
Esimerkki			
	<p>e) Mikä on Annaan kohdistuvien voimien suuruusjärjestys nähdessä? Perustele. Nimeä voimat.</p> <p><i>hissin lattian tukivoima ja maan voimat ovat yhtä suuret, muuten Anna ei liikkuisi pohjan läpi. liikesuunta alaspäin tulee siitä kun maan vetovoima on hiessit suuremmalla voimalla kuin teräs hiessit ylöspäin.</i></p>		

Tulosten tarkastelussa tutkitaan, kuinka oppilaat osasivat tunnistaa voimat voimakuvioissa tai vuorovaikutukset vuorovaikutuskaaviossa. Samoin tutkitaan, miten oppilaat osasivat piirtää voimavektorit siten, että kokonaisvoima on N2. lain mukaan oikein. Taulukoiden 4 - 6 ja 4 - 7 luokitteluiden mukaan on tehty kuvion 4 - 3 mukaiset tulkinnat ja niiden määrittelyt.

- Vuorovaikutuskaaviossa on vuorovaikutukset tunnistettu oikein, jos vuorovaikutuskaavio on hyvä tai erinomainen.
- Voimat on tunnistettu voimakuviossa oikein, jos voimakuvio on hyvä tai erinomainen.
- Voimakuvio on konstruoitu oikein eli kokonaisvoima vastaa tarkasteltavan kappaleen liiketilaa, jos voimakuvio on erinomainen. Tämä edellyttää oppilaalta N2. lain osaamista.

KUVIO 4-3. Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden laatuluokitteluista tehdyt tulkinnat ja niiden määrittelyt.

Tässä tutkimuksessa kiinnitetään huomio voimien tunnistamiseen, vektorien suuntiin ja niiden suhteellisiin pituuksiin. Sitä mihin kohtaan voimavektori on piirretty, ei huomioida, jos voima on kuitenkin tunnistettu, nimetty oikein ja vektori on tunnistettavissa kappaleeseen kohdistuvaksi.

Vuorovaikutuskaavioissa esiintyi ilman vuorovaikutus levossa olevaan kappaleeseen, kuten kirja pöydällä. Tämä on tietenkin aivan oikein, jos ilman vuorovaikutus ymmärretään nosteenä. Kun tarkasteltiin vastaavia voimakuvioita, niin kaikissa niissä ilman vuorovaikutus oli tulkittu kappaletta ylhäältä päin painavana voimana. Saman havainnon ovat tehneet myös Hestenes ym. (1992) silloisessa FCI-testissään, jossa vain hyvin harva oli valinnut monivalintatehtävässä ylöspäin vaikuttavaa nostetta painovoiman ja tukivoiman lisäksi. Tällainen vuorovaikutuskaavio, jossa ilma oli vuorovaikuttavana kappaleena, koodattiin heikoksi. Oikeiksi hyväksyttiin ne vuorovaikutuskaaviot, joissa kirjaan kohdistui maan vetovuorovaikutus ja pinnan tukivuorovaikutus. Samaa tulkintaa käyttivät myös Hestenes ym. (1992) voimien tunnistamistehtävässään. Tätä esiintyi kuitenkin harvoin, enimmäkseen transferkoulussa T2, koska ilman vaikutuksesta oli puhuttu opetuksen aikana, mutta nostevaikutus jäi opetuksessa vähäiselle huomiolle. Tästä esitetään myöhemmin luvussa 7.2.3 esimerkki oppitunnilla käydystä keskustelusta.

Opetusjakson FY1 testeissä myös jääkiekon lyöntitehtävässä (ks. Liite 2) tehtiin vuorovaikutuskaavioiden ja voimavektoreiden koodauksessa tulkinta, jossa jään kitkavuorovaikutuksen tai jään ja kiekon välisen kitkavoiman puuttumista kiekon lyöntihetkellä ei pidetty virheenä. Vain hyvin harva oppilas (0 - 3) oli huomannut kitkavuorovaikutuksen, eikä kitkavoimaakaan ollut osattu ottaa voimakuvioissa oikein huomioon. Tähän vaikutti ehkä toisaalta se, että vuorovaikutuskaaviossa ei osattu merkitä jään ja jään pinnan kahtalaista vuorovaikutusta (jään tukivuorovaikutus ja pinnan kitkavuorovaikutus) erikseen.



Toisaalta siihen saattoi vaikuttaa myös fysiikalle tyypillinen idealisointi kyseisessä tilanteessa, jossa kitkaa ei voimakuviota konstruoida aina huomioida.

Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden koodauksien luotettavuus tarkistettiin toisen tutkijan, Savinainen, A., avulla. Kustakin koulusta valittiin arpomalla kolmen oppilaan testivastaukset, joten tarkistuskoodauksessa oli mukana kaikkiaan 15 oppilaan testivastaukset. Nämä testivastaukset vastaavat koulua kohden noin 10 – 20 % osuutta kaikista koulun oppilaiden testivastauspapereista. Toiselle tutkijalle selvitettiin laatuluokittelussa käytetyt kriteerit, ja niiden soveltamista harjoiteltiin muutamilla esimerkeillä, jotka eivät olleet arvottujen testivastauksien joukossa. Kahden koodaajan välisen koodauksen yhtenevyys tarkistettiin Cohenin *Kapan* avulla.

FCI<sub>28</sub>:n sanalliset monivalintatehtävät, joista vain yksi vaihtoehdoista oli oikein, koodattiin oikeaksi (1) tai vääräksi (0).

### **N3. lain testitehtävien analysointi**

N3. lain testitehtävät koostuivat monivalintatehtävistä eri representaatioissa ja voima- ja vastavoimaparin tunnistus- ja nimeämistehtävistä. Kaikkien tehtävien vastaukset koodattiin asteikolla 0 – 1. Voima- ja vastavoimaparin nimeämistehtävissä koodauksen kriteerinä pidettiin molempien voimien, sekä voiman että vastavoiman, oikeaa nimeämistä. Jos tehtävässä oli 3 voimaparia, niin kustakin oikeasta voimaparista sai 1/3 pistettä. Testin 2 voima- ja vastavoimaparin nimeämistehtävän vastausten koodaus tarkistettiin kahden tutkijan, Nieminen, P. ja Nurkka, N., avulla. Vertailuun valittiin satunnaisesti 15 oppilaan vastaukset eri kouluista, eikä niiden koodauksessa havaittu eroja.

#### **4.3.2 Opetusjaksojen videomateriaalin analysointi**

Transferopettajien opetuksen analysoinnissa käytettiin apuna videoituja oppitunteja. Videoiden analysointiin perehtynyt ja kokenut tutkija Niina Nurkka analysoi transferopettajien opetuksen molemmissa opetusjaksoissa FY1 ja FY4. Analysoinnissa käytettiin apuna Atlas.ti ja Excel-ohjelmia. Opetuksen videomateriaalista analysoitiin eri aihealueisiin käytettyä opetusaikaa, minkä avulla voitiin verrata transferopettajille annetun kirjallisen suunnitelman ohjeistusta siihen, miten transferopettajat opetuksessaan toteuttivat suunnitelmaa sen sisällön ja ajankäytön osalta. Koodaajan kanssa sovittiin koodauksen kriteerit. Lisäksi opetuksesta analysoitiin mm. kohdat, joissa opettaja oli käyttänyt vuorovaikutuskaaviota N3. lain tai voimakuvion konstruoinnin opetuksen yhteydessä. Olen tarkistanut koodatut videositaatit ja todennut niiden, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, vastaavan laadittuja kriteerejä. Yhden muutoksen tein voimakuvion opetuksen osalta, jossa koodaajalla oli eri näkemys kriteerin tulkinnasta.

Opetuksen toteutuksesta saatiin tietoa myös kaikille opettajille suoritettun kirjallisen kyselyn avulla, jonka opettaja palautti opetusjakson päättyessä (ks. Liite 3 ja Liite 7).

## 4.4 Tilastolliset menetelmät

### 4.4.1 Tilastollisen merkitsevyyden riippuvuustestit

Kategoristen muuttujien, kuten oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden, riippuvuuden tutkimiseen käytin khiin neliö ( $\chi^2$ ) -testiä (Nummenmaa, 2010). Khiin neliötä laskettaessa havaitut luvut ovat aina frekvenssejä. Oletuksena on, että muuttujat ovat toisistaan riippumattomia. (Metsämuuronen, 2009; Nummenmaa, 2010.)

N3. lain testikysymykset ovat vähintään järjestysasteikollisia ja toinen muuttuja, koulu, luokittelee havainnot vähintään kahteen ryhmään, jotka ovat toisistaan riippumattomia. Ryhmien välisen eron tutkimiseen käytettiin riippumattomien muuttujien keskiarvojen vertailua. Koska jakaumat eivät välttämättä noudattaneet normaalijakaumaa, on syytä käyttää epäparametristä Mann-Whitneyn U-testiä kahden muuttujan ja Kruskal-Wallis testin testin kahden muuttujan välisen riippuvuuden tutkimiseen. (Metsämuuronen, 2009.)

Tilastollisessa päättelyssä käytettyyn  $p$ -arvoon eli merkitsevyytasoon liittyy se hankaluus, että se on voimakkaasti riippuvainen otoskoosta. Suuremmalla otoskolla on helpompi saada tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välille. Tästä syystä tieteellisissä julkaisuissa on tullut standardiksi julkaista  $p$ -arvon yhteydessä myös efektikoko. (Metsämuuronen, 2009, s. 468.) Yleisten suositusten (Coe, 2002) mukaan tässä tutkimuksessa lasketaan aina efektikoot, vaikka on esitetty myös ns. kaksitasoista tarkastelua, jossa tutkija selvittää ensin havaittujen tulosten tilastollisen todennäköisyyden ( $p$ -arvo), ja vain jos on epäilyksiä merkitsevyydestä, niin sitten määritetään efektikoon suuruus (Robinson & Levin, 1997).

Efektikoko kertoo, kuinka suuri yhteys, selitys tai ero ryhmien välillä on (Metsämuuronen, 2009; Coe, 2002). Efektikoossa koeryhmän ja kontrolliryhmän keskiarvojen erotus suhteutetaan vertailtavien ryhmien keskihajontaan (Coe, 2002). Sitä laskettaessa tutkitaan, kuinka paljon nämä kaksi jakaumaa ovat päällekkäin (Metsämuuronen, 2009; Coe, 2002). Efektikoko mahdollistaa kokeen tuloksen vertailun toiseen tunnettuun suorituskykytestiin (Coe, 2002; Robinson & Levin, 1997; Gall, Gall & Borg, 2007). Tutkimuksessa tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin  $p < 0,05$ , ja  $p$ -arvon lisäksi laskettiin aina myös efektikoot. Efektikoon arvon suuruus vaikuttaa tilastollisen päättelyyn merkitsevyytasoon ( $p < 0,05$  vai  $p < 0,01$ ) siten, että suurempi havaittu ero (efektikoko) tuottaa pienemmän  $p$ -arvon. Toisaalta otoksen koko vaikuttaa efektikoon arvon suuruuteen siten, että pienempi otoskoko riittää oikeaan päättelyyn kahden ryhmän välillä olevasta suuresta efektikoosta. Vastaavasti, jos kahden populaation välillä ajatellaan olevan pieni ero, niin siihen tarvitaan paljon suurempi otoskoko. (Gall ym., 2007, s.144.)

Efektikoko Cramerin  $V$  on suosittu  $\chi^2$ -perustainen riippuvuusluku, jota käytetään kahden luokitteluasteikollisen muuttujan riippuvuuden tarkastelussa. Se lasketaan kaavalla:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(q-1)}}$$

jossa  $N$  on havaintojen lukumäärä ja  $q$  on minimi sarakkeiden ja rivien lukumäärästä. Cramerin  $V$  saa arvoja välillä 0 ... 1, jolloin arvo 0 viittaa muuttujien välisen yhteyden puuttumiseen ja arvo 1 viittaa siihen, että yhteys on täydellinen. Cramerin  $V$  arvioidaan seuraavasti:

$$\begin{aligned} V \geq 0,1 &= \text{pieni,} \\ V \geq 0,3 &= \text{keskisuuri,} \\ V \geq 0,5 &= \text{suuri (Clark-Carter, 2010).} \end{aligned}$$

Efektikoko-korrelaatio  $r$  sopii muuttujille, jotka eivät noudata normaalijakaumaa. Efektikoko-korrelaatio  $r$  lasketaan kaavalla (Clark-Carter, 2010, s. 456; Metsämuuronen, 2009, s. 485):

$$r = \frac{z}{\sqrt{N_{total}}}$$

jossa  $z$  on keskimääräisen  $z$ -pisteen (= ryhmien  $p$ -arvoja vastaavien  $z$ -pisteiden arvo  $z = \frac{\sum z_i}{\sqrt{\text{ryhmien lukumäärä}}}$ ) itseisarvo (Metsämuuronen, 2009, s. 485). SPSS-ohjelma laskee  $z$ -arvon Mann-Whitneyn ja Wilcoxonin testin yhteydessä (Clark-Carter, 2010, s. 456). Efektikoko  $r$ :lle on määritetty rajat seuraavasti (McGrath & Meyer, 2006; Metsämuuronen, 2009, s. 478):

$$\begin{aligned} r \geq 0,1 &= \text{pieni,} \\ r \geq 0,24 &= \text{keskisuuri,} \\ r \geq 0,37 &= \text{suuri.} \end{aligned}$$

Luottamusvälin laskemisella selvennetään ensisijaisesti tutkimustulosten tilastollista merkitsevyyttä ja siksi niiden raportoimista suositellaan. Luottamusväli määrittelee otoksen tilastollisten arvojen ala ja ylärajan, jotka todennäköisesti sisältävät populaation parametrit. Raja-arvojen avulla tutkija voi otoksen statistikasta tehdä päätelmiä koko populaatioon. (Gall ym., 2007, s. 147.)

#### 4.4.2 Haken normeerattu kasvutekijä

Oppimisen kehitystä mekaniikan käsitteellisessä ymmärtämisessä on yleisesti mitattu FCI-testin yhteydessä Haken (1998a, 2002) normeeratun kasvutekijän (average normalized gain)  $G$  avulla.

$$G = \frac{\text{lopputesti \%} - \text{alkutesti \%}}{100 - \text{alkutesti \%}}$$

Alkutestin ja lopputestin prosentit ovat ryhmän keskiarvoja.

Hake (1998a) on määritellyt laajan, yli 6000 opiskelijan, tutkimuksensa pohjalta kasvutekijän avulla oppimisen tasot kurssilla. Kurssilla on korkea kasvutekijä, jos  $G \geq 0.7$ ; keskikokoinen kasvutekijä, jos  $0.3 \leq G < 0.7$  ja matala kasvutekijä, jos  $G < 0.3$ . Haken (1998a) tutkimuksessa lukio-oppilaiden alkutestien oikeiden vastausten keskiarvo oli 28 % ja kasvutekijöiden keskiarvo oli 0,55 vuorovaikutteisen opetuksen kursseilla, kun perinteisessä opetuksessa kaikkien opiskelijöiden kasvutekijöiden keskiarvo oli 0,23.

Kasvutekijä  $g_{ave}$  voidaan laskea myös yksittäisen oppilaan normeerattujen kasvutekijöiden keskiarvona (Hake, 2002).

$$g_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(post_i - pre_i)}{(100\% - pre_i)}$$

Haken (2002) mukaan oppilasmäärän ollessa suurempi kuin 20  $g_{ave}$  on tavallisesti 5 %:n rajoissa G:sta. Oppilaskohtaista kasvutekijää, joka on yli 60 %, pidetään jo suurena ja alle 20 %:n arvoa vastaavasti pienenä kasvutekijänä. Perinteisen opetuksen jälkeen keskimääräiset kasvutekijät ovat olleet 25 %:n tuntumassa (Hestenes & Halloun, 1995).

Kurssien onnistumisen tilastolliseen vertailuun ja meta-analyysiin sopii Haken (2002) mielestä paremmin  $G$  kuin  $g_{ave}$ , koska  $g_{ave}$ :n laskennassa täytyy poistaa oppilaat, joiden alkutestin tulos on 100 %, ja jos oppilaan alkutestin tulos on lähellä 100 % sekä lopputestissä sitä vähemmän, voivat niiden  $g_{ave}$ :t olla suuria ja negatiivisia.

Normeeratun kasvutekijän ohella suositellaan julkaistavaksi efektikoko, sillä kasvutekijät eivät kerro identtistä informaatiota käytännön merkitsevyydestä, koska Haken kasvutekijä ei huomioi otannan keskihajontaa, kun taas efektikoko riippuu keskihajonnasta (Hake, 2002).

#### 4.4.3 Reliabiliteetin tilastollinen laskeminen

Cronbachin *alfa* on yleisesti käytössä oleva objektiivinen luotettavuuden (reliabiliteetin) mitta, jolla voidaan tarkastella testikysymysten sisäistä yhtenäisyyttä. *Alfa* ilmoittaa reliabiliteetille 0 ja 1 välissä olevan kertoimen (Cohen, Manion & Morrison, 2007). Cronbachin *alfa* antaa tehtävien sisäisen korrelaatiokertoimen eli jokaisen tehtävän korrelaation kaikkien muiden tehtävien summan kanssa. Cronbachin *alfa* lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$alfa = \frac{nr_{ii}}{1 + (n - 1)r_{ii}} ,$$

jossa  $n$  = testissä olleiden tehtävien määrä ja  $r_{ii}$  = keskiarvo kaikista yksittäisten tehtävien korrelaatioista (Cohen ym., 2007, s. 506.) George ja Mallery (2003, s. 231) ovat esittäneet Cronbachin *alfalle* seuraavia luotettavuuden tasoja:

$\geq 0,90$	= Erinomainen,
0,80 - 0,89	= Hyvä,
0,70 - 0,79	= Hyväksyttävä,
0,60 - 0,69	= Kyseenalainen,
0,50 - 0,59	= Heikko
$< 0,50$	= ei-hyväksyttävä yhteensopivuus.

Cohen ym. (2007) määrittelevät luokat samaan tapaan, mutta alimmaksi luokaksi ( $< 0,6$ ) on määritelty lisäksi poikkeuksellisen pieni luotettavuus.

Cohenin *Kappaa*  $\kappa$  käytetään kahden toisistaan riippumattoman koodaajan välisen yhtenäisyyden mittana sille, kuinka yhtenäisesti he ovat onnistuneet toteuttamaan koodauksen muuttujalle määriteltyihin kategorioihin (Landis & Koch, 1977). *Kappaa* määrittelee yksimielisyyden osuuden verrattuna sattumalta saatuun yksimielisyyteen seuraavasti (Sim & Wright, 2005):

$$\kappa = \frac{\text{havaittu yksimielisyys} - \text{sattumalta saatu yksimielisyys}}{1 - \text{sattumalta saatu yksimielisyys}}$$

*Kapan* arvot vaihtelevat yleensä 0 ja 1 välillä, vaikka negatiiviset arvotkin -1 saakka ovat mahdollisia. Mitä suurempi arvo on, sitä parempi on arvioijien vastaavuus luokittelussa. 1 edustaa täydellistä yksimielisyyttä, kun taas 0 merkitsee samaa, kuin koodaajat olisivat sattumalta "arvanneet" jokaisen koodin (Sim & Wright, 2005).

Landis ja Koch (1977) ovat esittäneet *Kapan* ilmoittamalle yksimielisyyden vahvuudelle seuraavat standardit (Sim & Wright, 2005):

$\leq 0$	= heikko,
0,01- 0,20	= vähäinen,
0,21 - 0,40	= kohtalainen,
0,41 - 0,60	= keskinkertainen, maltillinen,
0,61 - 0,80	= huomattava, suuri,
0,81 - 1	= lähes täydellinen yksimielisyys.

Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden koodauksen yhtenevyys - analyysi suoritettiin arpomalla kaikkien oppilaiden vastauspapereista kolmen oppilaan vastaukset kustakin koulusta eli yhteensä 15 oppilaan vastaukset. Tämä vastaa noin 12 % kaikkien oppilaiden konstruoinnista vuorovaikutuskaavioista ja voimakuvioista.

## 5 OPETUSJAKSOJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

### 5.1 Kurssien FY1 ja FY4 sisältö opetussuunnitelmassa

Fysiikan valtakunnallinen opetussuunnitelma määrittelee fysiikan opetuksen pakolliset ja syventävät kurssit (OPH, 2003). Kurseista ensimmäinen, Fysiikka luonnontieteenä (FY1), on kaikkien lukiolaisten suoritettava ns. pakollinen kurssi, ja muut kurssit ovat valtakunnallisia tai koulukohtaisia vapaasti valittavia kursseja. Pakollisen kurssin tavoitteissa korostuu yleissivistyksellinen puoli, mutta myös jatko-opintoihin kannustetaan (Maol ry, 2003). Kurssin yleisenä tavoitteena on, että opiskelija saa tyydytystä tiedon ja ymmärtämisen tarpeelleen sekä saa vaikutteita, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta fysiikkaa kohtaan (OPH, 2003). FY1 kurssin keskeiset sisällöt ovat (OPH, 2003):

- fysiikan merkitys historian eri vaiheissa ja nykyaikana
- aineen ja maailmankaikkeuden rakenteet ja perusvuorovaikutukset
- energian, erityisesti säteilyn, sitoutuminen ja vapautuminen luonnon ja ihmisen aikaansaamissa prosesseissa
- kokeellisuus ja mallintaminen perustana fysikaalisen tiedon rakentumisessa, mittaaminen, tulosten esittäminen ja niiden luotettavuuden arviointi
- voima liikkeen muutoksen aiheuttajana
- liikkeen kuvaamisessa tarvittavat peruskäsitteet ja liikkeen graafinen esitys.

Voimakäsite ja Newtonin lait opetetaan jo tässä vaiheessa kaikille oppilaille. Liikkeen peruskäsitteet ja sen kuvaaminen graafisen esityksen avulla kuuluvat myös oppisisältöön. (OPH, 2003.)

Fysiikan valtakunnallisista kursseista mekaniikkaa esiintyy jossakin muodossa kaikissa oppilaille vapaasti valittavissa valtakunnallisissa syventävissä kursseissa 2 - 8. Varsinainen mekaniikan opetus on jaettu kahteen kurssiin Liikkeen lait (FY4) ja Pyöriminen ja gravitaatio (FY5). Kurssi FY4 käsittelee yksiulotteista liikettä, jossa tavoitteena on, että opiskelija ymmärtää liikkeeseen liittyviä ilmiöitä ja käsittelee niitä selittäviä malleja, tutkii etenemisliikkeeseen liittyviä

ilmiöitä kokeellisesti ja perehtyy niiden avulla Newtonin lakeihin sekä ymmärtää säilymlakien merkityksen fysiikassa (OPH, 2003).

Liikkeen lait (FY4) syventää aiempien kurssien tarkastelutapaa voimista ja liikkeestä. Sen keskeiset sisällöt ovat (OPH, 2003):

- liikkeen mallit ja Newtonin lait
- etä- ja kosketusvoimat, erityisesti liikettä vastustavat voimat, noste
- liikemäärän säilyminen ja impulssiperiaate
- liike- ja potentiaalienergia sekä työperiaate
- värähdysliikkeen energia.

Tutkimuksen jälkeen suoritettavassa kurssissa FY5 oppilas syventää ja laajentaa osaamistaan mekaniikassa sekä kehittää matemaattisia taitojaan statiikkaan ja pyörimiseen liittyvien ilmiöiden laskennallisessa hallinnassa (OPH, 2003).

## 5.2 Erilaiset representaatiot opetuksen suunnittelussa

Tutkimuksen opetusjaksoissa käytettiin voimakäsitteen ja Newtonin lakien opettamisessa apuna erilaisia representaatioita: fysikaalisen tilanteen hahmottamisessa käytettiin apuna kuvallista representaatiota, vuorovaikutuskaavion avulla havainnollistettiin vuorovaikutukset diagrammisena representaationa ja voimat esitettiin voimakuviossa vektorirepresentaationa. Lisäksi käytettiin matemaattista representaatiota N2. lain sanallisissa ongelmatehtävissä ja graafista representaatiota, kun havainnollistettiin mm. jalkapallon ja lähes kitkattomasti liikkuvan vaunun nopeutta ajan funktiona. Ja kuten oppitunneilla yleensä oppikirjan teksti ja opettajan puhe edustavat verbaalista representaatiota. Tarkastellaan lyhyesti sitä, miten eri representaatiot ja niistä varsinkin vuorovaikutuskaavio sijoittuvat edellä esitettyihin Ainsworthin (1999, 2008) kolmeen pääfunktion: täydentävä, rajoittava ja syvällisemmän ymmärryksen funktio.

On ilmeistä, että jokaisella representaatiolla pyritään selventämään tiettyä tarkoitusta opetuksessa. Eri representaatioilla on siten toisiaan täydentävä funktio. Luvussa 2.3 esiteltyjen useiden tutkimusten mukaan pelkkä teksti tai puhe ei näytä riittävän siihen, että oppilas ymmärtäisi N3. lain oikein tai osaisi täsmällisesti tunnistaa ja nimetä kappaleeseen kohdistuvat voimat. Opetusjaksojen keskeinen käsite oli vuorovaikutus, joka muodostaa perustan voimakäsitteen tieteelliselle ymmärtämiselle. Jos vuorovaikutuskäsite esitetään pelkästään verbaalisessa muodossa, on olemassa vaara, että sana vuorovaikutus jää oppilaalle vain sanaksi, joka on jostakin syystä yhdistetty voiman opetukseen. Hän ei välttämättä tule ymmärtäneeksi, mitä merkitystä vuorovaikutuksella on voimakäsitteen yhteydessä. Tällöin näiden kahden käsitteen välinen suhde ei selkene oppilaalle, vaan aiheuttaa pikemmin sekaannusta. Tällaisesta oli havaintoja myös tämän tutkimustyön aikana, kun pari opettajaa, jotka eivät olleet transfer- tai vertailuopettajia, totesivat vuorovaikutuskäsitteen vain sekoittavan



voimakäsitteen opetusta ja siksi he mielellään ohittavat sen omassa opetuksessaan.

Abstraktin vuorovaikutuskäsitteen esittämiseksi vuorovaikutuskaavion visuaalinen representaatio on siis enemmän kuin tervetullut täydentämään verbaalista representaatiota, sillä sen visuaalisuus auttaa oppilasta näkemään ja tätä myös paremmin ymmärtämään abstraktin vuorovaikutuksen olemassaolon kappaleiden välillä. Se muodostaa lisäksi syyn ja yhteyden N3. lain käsitteelliseen ymmärtämiseen ja voimakuviossa esitettyjen voimien olemassaoloon. Lisäksi siirtyminen kuvallisesta representaatiosta suoraan voimakuvioon voi olla oppilaalle vaikeasti ymmärrettävän käsitteen, kuten voiman yhteydessä, liian pitkä siirtymä. Myöhemmin esitettävässä tutkimustulosten pohdinnassa selvenee tarkemmin, miten vuorovaikutuskaavio täydentää N3. lain verbaalista representaatiota ja voimakuvion vektorirepresentaatiota, ja edistää oppilaan ymmärrystä voimakäsitteestä. Opetusmonisteessa esitetyllä graafisella representaatiolla voitiin oppilasta auttaa näkemään N2. lain sisältö tasaisessa ja kiihtyvässä liikkeessä ja ymmärtämään niiden ero ja yhteys matemaattiseen representaatioon  $\sum \bar{F} = m\bar{a}$ . Kun lähes kitkattomasti liikkuva vaunu tönäistiin liikkeelle (kappaleeseen kohdistui kosketusvuorovaikutuksen aikana työntävä voima), niin vaunun nopeus muuttui, eli se oli kiihtyvässä liikkeessä. Kun vaunu sitten liikkui työnnön jälkeen (ei vaikuta enää työntävää voimaa, koska ei ole kosketusvuorovaikutusta) samalla nopeudella, niin graafisella representaatiolla voitiin oppilaalle selvästi havainnollistaa N2. lain matemaattisen representaation merkitys.

Toinen funktio liittyi representaatioiden väliseen rajoittavaan rooliin. Voimakuviossa esitetty vektorirepresentaatio on oppilaille oudompi kuin verbaalinen tai diagramminen representaatio (Meltzer, 2005). On todettu (Luku 2.3.4), että oppilaat eivät tunnista kaikkia kappaleeseen vaikuttavia voimia. Vektorit saatetaan piirtää väärinpäin tai vektorien suhteelliset pituudet määräytyvät liikkeen mukaan siten, että tasaisen liikkeen suunnassa on virheellisesti pidempi voimavektori kuin vastakkaisessa suunnassa. Koska voimakuvion konstruointi sisältää rajoituksia, jotka aiheuttavat oppilaille vaikeuksia ymmärtää voimakuvion merkitystä, niin vuorovaikutuskaavio kenties helpompana representaationa voi auttaa voimakuvion konstruoinnissa ja tulkinnassa ainakin kahden ensimmäisen vaikeuden osalta. Toisaalta vuorovaikutuskaavio sinänsä sisältää jo ajatuksen kappaleeseen kohdistuvista voimista, jolloin voidaan kysyä, onko voimakuvio sitten enää tarpeellinen, kuten Jimenez & Perales (2001) pohitivat artikkelissaan. Voimakuvion roolia puoltavat kuitenkin ainakin kaksi seikkaa. Toisaalta kun verbaalisessa muodossa esitetyssä ongelmaratkaisutehtävässä tarkastellaan yleensä systeemin tiettyä kappaletta, niin tälle konstruoitu voimakuvio täydentää matemaattista representaatiota ja toisaalta rajoittaa juuri tiettyyn kappaleeseen kohdistuvien ylimääräisten voimien olemassaoloa sekä havainnollistaa niiden vaikutussuuntia ja suuruuksia. Jos voimat tunnistetaan pelkästään vuorovaikutuskaaviosta, saattaa oppilas ottaa voimakuvioon ja liikeyhtälöihin mukaan myös vastavoimia, jotka kohdistuvatkin eri kappaleeseen. Tässä mielessä voimakuvio toimii myös rajoittamassa vuorovaikutuskaavion

virheellistä tulkintaa. Edellä mainittu graafisen representaation käyttö opetuksessa voi myös rajoittaa voimavektorien suhteellisten pituuksien piirtämistä virheellisesti voimakuviossa ja siten myös vähentää oppilaan vaikeutta käyttää matemaattista representaatiota liikeyhtälöä muodostettaessa.

Kolmas funktio liittyy käsitteellisyyteen ja syvällisemmän ymmärryksen aikaansaamiseen voimakäsitteestä ja Newtonin laeista. Monet tutkimukset mm. (Brown, 1989; Hellingman, 1992; Reif, 1995; Jimenez & Perales, 2001) esittävät, että voiman opettaminen vuorovaikutuksista syntyneenä olisi hyödyllinen voimakäsitteen ymmärtämisessä. Siksi on mielekästä tutkia, miten vuorovaikutusten korostaminen opetuksessa visuaalisella vuorovaikutuskaaviolla ja verbaalisella puheella ja tekstillä vaikuttavat oppimistuloksiin. Hypoteesina esitetään, että vuorovaikutuskaavio lisää oppilaan käsitteellistä ymmärrystä voimasta ja vaikuttaa positiivisesti oppimistuloksiin. Syitä tähän ovat nimenomaan vuorovaikutuskäsitteen korostaminen voimakäsitteen tieteellisenä perustana ja eri representaatioiden suhteet ja eroavaisuudet toisiinsa nähden. Lisäksi opetuksessa onnistuminen edellyttää, että opetuksessa on osattu huomioida edellä esiteltyt kymmenen erilaista representaatioiden käytön etua ja niiden erilaisia rooleja fysiikan opetukseen (ks. luku 2.2.3). Visuaalisen representaation merkityksestä voimakäsitteen syvällisempään ymmärtämiseen N3. lain ja voimien tunnistamisen osalta palataan vielä myöhemmin luvussa 7.

## 5.3 Ensimmäinen opetusjakso FY1

### 5.3.1 Opetusjakson FY1 suunnitelma

Kaikilla tutkimukseen osallistuvilla opettajilla ja oppilailla oli molemmissa opetusjaksoissa käytössä sama oppikirja, *Physica 1 ja 4* (Hatakka ym., 2004, 2005). Näissä oppikirjoissa on esitelty vuorovaikutuskaavion käyttöidea ja annettu esimerkkejä vuorovaikutuskaavion käytöstä voimakäsitteen ja Newtonin lakien opetuksen yhteydessä. Oppikirjassa otetaan huomioon myös oppilaiden virheelliset käsitykset, mikä näkyy selvästi opetusmateriaalin eri osa-alueiden alkutestitehtävistä, oppikirjan tekstiosasta ja harjoitustehtävistä. *Physica* on suomalaisista lukion oppikirjoista ainoa, joka esittelee ja käyttää vuorovaikutuskaaviota vuorovaikutuskäsitteen opetuksessa. Oppikirjassa opetetaan alussa vuorovaikutuskaavio, jonka jälkeen on N3. laki, sitten voimakuvio, N1. ja N2. laki. N3. lain opetus heti alussa ennen muita Newtonin lakeja ei ole oppikirjoissa myöskään yleinen opetusjärjestys (Stocklmayer ym., 2012).

Opetusjakson FY1 suunnitelma noudattelee sisällöltään oppikirjan *Physica 1* (Hatakka ym., 2004) kappaletta 5: Voima ja vuorovaikutus. Opetusjakson sisältö opetusaiheittain ja opetusharjoitusten osalta oli pääpiirteissään seuraava:

- 1. Oppitunti: Opetetaan vuorovaikutuskaavion (VVK) käyttöidea esimerkin avulla, jonka jälkeen oppilaat työskentelevät ryhmissä ja tunnistavat koske-

tusvuorovaikutukset ja etävuorovaikutukset konstruoidessaan VVK:t kolmessa eri tilanteessa.

- 2. Oppitunti: Opetetaan voiman esitys voimavektorin muodossa ja voimakuvion (VK) konstruointi saman edellä olevan esimerkin avulla. Samalla korostetaan kahden eri representaation, VVK ja VK, eroja ja yhtäläisyyksiä toistensa kanssa.
- Opetetaan N3. laki ennen N1. ja N2. lakia. VVK avulla tunnistetaan voima ja vastavoima vuorovaikutuksesta syntyneenä. N3. lain voimien symmetriaa havainnollistetaan demonstraatiolla.
- Oppilaat konstruivat kotitehtävinä heille jaettuun opetusmonisteeseen voimakuviot vastaavissa kolmessa eri tilanteissa, joissa he konstruivat aikaisemmin vuorovaikutuskaaviot.
- 3. Oppitunti: Opetusmonisteen avulla oppilaat johdatellaan N1. ja N2. lakiin. Alussa oppilaat määrittelevät vielä kahden esimerkin avulla omin sanoin N3. lain, jonka jälkeen he hahmottelevat  $(t, v)$  kuvaajan jalkapallolle sen eri vaiheissa (potku, vieriminen nurmella ja pysähtyminen). Lisäksi he konstruovat jalkapallolle VVK:t ja VK:t näissä eri tilanteissa. N1. ja N2. laki määritellään sen jälkeen, kun on todettu vastaava  $(t, v)$  kuvaaja myös kitkattomalla pinnalla liikkuvalla vaunulle.
- 4. Oppitunti: Opetetaan N1. ja N2. laki. Tarkastellaan N1. ja N2. lain merkitystä myös aikaisemmin konstruoiduissa voimakuvioissa.
- 5. Oppitunti: Lopussa harjoitellaan kvantitatiivisia N2. lain mukaisia ongelmanratkaisutaitoja, joissa lähtökohtana on tyypillisesti voimakuvion konstruointi.

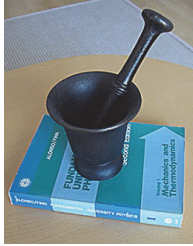
Opetusjakson tarkempi rakenne on esitetty liitteessä 1. Taulukossa 5 - 1 esitetään esimerkkinä opetusjakson FY1 suunnitelmasta ensimmäinen opetettava oppitunti, jossa opetettiin vuorovaikutuskaavion konstruointi ja sen käyttö. Suunnitelman ensimmäinen oppitunti kului enimmäkseen FCI<sub>28</sub>-alkutestin tekemiseen. Suunnitelmassa esitetään oppitunneille aikataulusuositus, opetettava asiasisältö sekä opetuksen toteutusehdotus. Lisäksi on esitetty tunnilla suoritettavat harjoitustehtävät ja kotitehtävät (KT) oppikirjasta. Muiden oppituntien suunnitelmat on esitetty liitteessä 1.

Oppikirjassa on opetusjakson sisältämään teorian tekstiosaan ja tehtäviin käytetty 19 sivua, ja opetukseen käytettävä aikataulusuositus on 4 oppituntia (45 min). Teoriaosa ja tehtävät ovat enimmäkseen käsitteellisellä tasolla. Lopussa viimeisellä oppitunnilla on hiukan N2. lain soveltamista laskutehtävien muodossa.

Opetusjakson sisältö suunniteltiin vastaamaan oppikirjan esitysjärjestystä, jolloin opetusjakson suunnitelma ja oppikirja tukevat näin toisiaan ja selkeyttävät oppilaan ajattelua opittavasta sisällöstä. Kotitehtävinä käytettiin oppikirjan tehtäviä. Vuorovaikutuskaavion opetus ja harjoittelu oli suunnitelmassa keskeisessä osassa ja toistui opetusjakson aikana. Laadittujen harjoitus- ja opetusmonisteiden tarkoituksena oli tuoda esiin oppilaiden tyypillisiä virheellisiä kä-

sityksiä voimakäsitteestä ja Newtonin laeista, ja niiden tavoitteena oli lisätä ja tukea oppilaiden käsitteellistä ymmärtämistä.

TAULUKKO 5-1. Opetusjakson FY1 ensimmäisen opetettavan oppitunnin suunnitelma.

Aika	Tehtävä	Kommentit
5 min	Kotitehtävien tarkistus	
15 min	<p>Pöydällä on kirja, jonka päällä kirjaa massiivisempi "punnus". Tarkastellaan kirjaan kohdistuvia vuorovaikutuksia. Piirretään vuorovaikutuskaavio kirjalle.</p>  <p>Tässä on hyvä pohtia myös kirjan ja punnuksen välisen vuorovaikutuksen aiheuttamien voimien suuruuseroa (N3 laki)</p>	<p>Opettajan johdolla taululle Vuorovaikutus on</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kahden kappaleen välinen</li> <li>• kaksisuuntainen</li> <li>• puoleensa vetävä (veto) tai työntävä (työntö)</li> <li>• etävuorovaikutus (E): (gravitaatio-, sähkö- tai magneettinen vuorovaikutus) tai kosketusvuorovaikutus (K)</li> <li>• Vuorovaikutuksen suuruutta kuvaa voima</li> </ul>
15 min	Harjoitusmoniste, jossa on <ol style="list-style-type: none"> <li>1) elefantti riippusillalla</li> <li>2) curling-kiekko liukuu jäällä tasaisesti hidastuen</li> <li>3) sangon nosto kaivosta vakionopeudella</li> </ol>	<p>Oppilaat tekevät parityöskentelynä. Lopuksi tehtävät tarkistetaan siten, että eri ryhmät esittävät taululle oman esityksensä. Harjoitellaan luokittelemaan etävuorovaikutukset (E) ja kosketusvuorovaikutukset (K).</p>
10 min	Tehtävät 1 ja 2 oppikirjasta.	
KT	Tehtävät 3 ja 4	

Oppilaat työskentelivät opetus- ja harjoitusmonisteiden aikana ryhmissä ja keskustelivat ongelmista keskenään. Lisäksi kysymykset käsiteltiin yhdessä opettajan johdolla, jolloin oli mahdollista havaita miten hyvin oppilaiden käsitykset opittavista asioista olivat vahvistuneet tai muuttuneet virheellisistä käsityksistä tieteellisiksi. Kumpaankin opetusjaksoon oli laadittu yksi opetusmoniste, jossa käsiteltiin opetettavan asiasisällön ydinkohdat. Opetusjakson FY1 opetusmonisteessa vuorovaikutus ja voima (ks. Liite 5) kerrattiin N3. laki, harjoiteltiin voimakuvion muodostamista vuorovaikutuskaavion avulla ja johdateltiin kokeellisesti N2. lakiin. Oppitunneille oli laadittu harjoitusmonisteita vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion muodostamiseen (ks. Liite 4), N1. ja N3. lain opettami-

seen ja kokonaisvoiman määrittämiseen. Opetuksen suunnitelma käsitti seitsemän 45 minuutin oppituntia mukaan luettuna testit. Jos suunnitelmasta poistetaan testien viemä aika, jää tehokkaaksi opetusajaksi viisi oppituntia, mikä on yhden oppitunnin enemmän kuin kirjan aikataulusuositus.

Suunnitelma oli laadittu riittävän yksinkertaiseksi siten, että sitä on helppo seurata opetuksen aikana. Lisäksi opettajalle jää opetuksessa liikkumavaraa tunnin aikana siten, että hän voi toteuttaa omia opetustavoitteitaan sekä joustaa oppitunneilla opetuksen ja oppilaiden, joskus aikaa vaativien kyselyjen suhteen. Lukiossa opettajalla on ylioppilastutkinnon asettamat paineet saada opetettua oppilaille vaadittavat asiat, ja siksi ei ole välttämättä helppo saada myöskään opettajia mukaan tutkimukseen, jos toteutettava opetus määritellään liian tiukasti.

Molemmat suunnitellut opetusjaksot tutkija opetti ensin pilottina suunnitelman pohjalta omassa lukiossaan. Opetus myös videoitiin, ja oppilaat tekivät suunnitellut testit samaan tapaan kuin tutkimuksessakin. Tällöin voitiin arvioida opetuksen suunnitelman mukaisen opetuksen ja laadittujen testikysymysten onnistumista tai niiden puutteita. Pilottiopetuksessa myös haastateltiin muutamia oppilaita, jolla pyrittiin selvittämään heidän oppimistaan ja oppimisen vaikeuksia. Haastattelujen antaman tiedon ja opettajan pilottiopetuksesta saaman oman kokemuksen avulla opetuksen suunnitelmaa, opetuksessa käytettyjä opetus- ja harjoitusmonisteita ja testejä muokattiin havaittujen puutteiden osalta. Tehdyillä korjauksilla suunnitelmaa pyrittiin yksinkertaistamaan niin aikataulun kuin opetuksellisen selkeyden parantamiseksi. Opetusmonisteissa oli aluksi liikaa asiaa, ja sitä piti fokusoida. Esimerkit vaihdettiin sellaisiksi, jotka olivat selkeämmät, sisälsivät vähemmän idealisointia ja kohdistuivat oppilaiden tyypillisiin virheellisiin käsityksiin. Testeissä täsmennettiin myös muutamissa kohdissa kysymysten muotoa siten, että ne olisivat selkeät ja yksikäsitteiset. Testikysymyksiä tarkennettiin siten, että ne vastaavat tasoltaan opetusvaihetta, ja tarvittaessa kysymys vaihdettiin, ellei näin ollut. Tämän jälkeen kehitettyjen opetusjaksojen suunnitelmat olivat valmiina siirrettäväksi transferopettajien opetettaviksi. Vain transferopettajat toteuttivat opetuksensa suunnitelman pohjalta. Suunnitelman sisältävät opetus- ja harjoitusmonisteet annettiin transferopettajille valmiiksi monistettuina.

Opetuksen toteutuksesta kaikille opettajille annettiin suppea ohjeistus kirjallisesti. Ohjeistuksessa mainittiin testien suoritusajankohdasta ja -tavasta. Opettajaa pyydettiin kannustamaan oppilaita vastamaan kaikkiin testikysymyksiin sen mukaan, mitä olivat oppineet. Jos opetuksessa käytettiin testikysymysten kaltaisia esimerkkejä, pyydettiin opettajalta ilmoitusta tutkijalle. Näitä ilmoituksia ei tutkimuksen aikana tullut, eikä näitä esiintynyt myöskään transferopettajien opetuksen videomateriaalissa. Lopussa annettiin ohjeet oppilailta kerättävästä opetusmateriaalista ja testikysymyksistä.

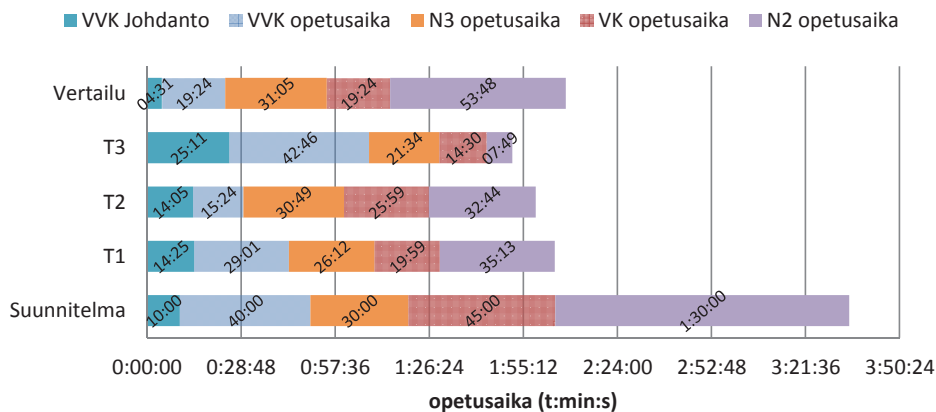
### 5.3.2 Opetusjakson FY1 toteutus

Opetuksen toteutusta voidaan tarkastella pääasiassa vain transferkoulujen osalta, koska vertailukoulujen opetuksesta on vain vähän tietoa. Vertailuopettajilta

pyydettiin jälkepäin arviota heidän eri aihealueiden opetukseen käyttämässään opetusajasta.

Tutkimukseen osallistuneet opettajat olivat kaikki kokeneita lukion fysiikan opettajia. Kaikilla oli käytössä sama oppikirja, joka esittelee vuorovaikutuskaavion käyttöidean. Opettajat olivat käyttäneet oppikirjaa ja myös vuorovaikutuskaaviota opetuksessaan ennen tutkimusajankohtaa jo 2-5 vuoden ajan, joten vuorovaikutuskaavion käyttö oli siten kaikille jo tullut tutuksi.

Videoitujen oppituntien analyysistä saatiin selville transferopettajien käyttämät kokonaisajat eri aihealueiden opetuksessa. Kuviossa 5 - 1 on esitetty näiden aikojen lisäksi vertailukoulujen vasta opetuksen jälkeen arvioimien opetusajojen keskiarvot. Koska vertailuopettajien ilmoittamat opetusajat eri aihealueissa olivat arvioita, laskettiin niistä keskiarvot. Transferopettajien toteutunutta opetusaikaa voidaan karkeasti arvioiden verrata suunnitelmassa arvioitujen eri aihealueiden opetukseen suunniteltuun ajankäyttöön. Suunnitelman ajankäyttö käsittää kokonaisajan, joka arvioidaan kuluvan eri aihealueiden opetuksessa. Se sisältää sekä opettajan opetuksen että oppilaiden ryhmätyöskentelyn tai itsenäisen työskentelyn viemän ajan. Transferopettajien analysoitu opetusaika ja vertailuopettajien arvioima opetusaika sisältävät vain opettajan opetukseensa käyttämän ajan eikä näin ollen sisällä oppilaiden itsenäiseen työskentelyyn käyttämää aikaa. Täten opetusajojen täsmällinen vertaaminen kuvion 5 - 1 esittämään suunniteltuun opetusaikaan ei ole mahdollista. Transferkoulun T2 opetusajoista puuttuu yhden oppitunnin (75 min) opetukseen käytetty aika, koska sen oppitunnin taltiointi ei onnistunut. Opettaja kertoi kuitenkin noudattaneensa opetuksen suunnitelmaa tuolla oppitunnilla, joten sen perusteella vuorovaikutuskaavioiden, N3 lain ja voimakuvion opetukseen tulee lisää opetusaikaa.



KUVIO 5-1. Opetusjaksolle FY1 suunniteltu ajankäyttö ja transferopettajien T1, T2 ja T3 opetukseen käyttämä aika eri aihealueissa. Suunniteltu aikataulu sisältää koko opetusajan, kun taas transferopettajien opetusaika sisältää vain opettajan esitysjajan. Vertailukoulujen opetusajat ovat opettajilta jälkepäin kysytyjä arvioita ajankäytölle.



Kuviosta nähdään, että vuorovaikutuskaavioiden opetukseen käytettiin eniten aikaa transferkoulussa T1. Ero on kuitenkin vain 4 min ja vuorovaikutuskaavio-opetukseen käytetty aika on transferkouluissa samaa suurusluokkaa, noin 25 min, jos koulun T2 opetuksen lisäajaksi arvioidaan 10 min.

N3. lain ja voimakuvioiden opetukseen käytettiin eniten aikaa transferkoulussa T2, arviolta 10 - 20 min enemmän kuin muissa transferkouluissa, kun arvioidaan koulun T2 opetuksen lisäajaksi 10 min.

N2. lain opetukseen käytettiin transferkoulussa T3 vähemmän aikaa (noin 25 min) kuin muissa transferkouluissa.

Transferkoulut noudattivat suunnitelmaa opetusaikojen osalta vaihtelevasti. Videoanalyysin perusteella voidaan arvioida, että transferkoulussa T1 pyrittiin seuraamaan suunnitelmaa parhaiten ja transferkoulussa T3 heikoiten. Transferkoulun T1 opetusajat ovat suhteessa suunnitelman aikoihin kaikissa muissa aihealueissa paitsi voimakuvioissa. Syy tuohon on ymmärrettävä, sillä T1 opettaja käytti suunniteltua enemmän aikaa opetusmonisteen käsittelyyn ja joutui loppuosassa tiukentamaan aikatauluaan. Transferopettaja T3 toteutti omaa opetustapaansa ja opetuksen suunnitelmaa rinnakkain. Alussa hän käytti suunniteltua enemmän aikaa vuorovaikutusten johdantoon, josta aiheutui se, että muiden aiheiden opetukseen jäi vähemmän aikaa. Varsinkin N2. lain opetus jäi selvästi muita transferkouluja ja suunniteltua vähäisemmäksi. Transferkoulussa T2 oli käytössä 75 min oppitunnit. Opettaja kertoi suunnitelman toteuttamisen olevan osittain tästä johtuen vaikeaa, sillä hän joutui sopeuttamaan 45 min oppitunnin suunnitelmat 75 min oppitunneille.

Vertailuopettaja K1 kertoi opettaneensa opetusjakson FY1 eri järjestyksessä kuin oppikirjassa. Ensin opetettiin N2. laki suoritettuna kokeellisen mittauksen (kaksi vaunua törmäävät ilmatyynyradalla) avulla. Sen jälkeen oli luontevaa opettaa N3. laki, ja vasta sen jälkeen opetettiin vuorovaikutuskaavio. Opettaja käytti vuorovaikutuskaaviota pääasiassa voimien tunnistamiseen eikä N3. lain yhteydessä. Vertailukoulun opettajat kertoivat käyttäneensä vuorovaikutuskaaviota satunnaisesti tai vain ongelmatapauksissa (oppilaille vaikeissa tehtävissä). He esittelivät oppitunnilla vuorovaikutuskaavion, ja sen käyttöä opetettiin yhden esimerkin avulla. Myöhemmin sitä käytettiin 2 - 3 tehtävän yhteydessä. Transferopettajat käyttivät täten vuorovaikutuskaaviota opetuksessaan useammin kuin vertailuopettajat, sillä opetuksen suunnitelma jo sisälsi seitsemän vuorovaikutuskaavion konstruointia ja oppikirjassa oli lisäksi yksi tehtävä vuorovaikutuskaavion konstruoinnista. Opetuksessaan transferopettaja T1 käytti vuorovaikutuskaaviota aina voimakuvia muodostettaessa ja koki sen erittäin tarpeelliseksi sekä voimien että N3 lain voimaparin tunnistamisessa. Vertailuopettaja K1 arvioi, etteivät oppilaat käytä vuorovaikutuskaaviota ilman opettajan pyyntöä.

Transferkoulut käyttivät opettajille tehdyn kyselyn mukaan keskimäärin yhden (45 min) oppitunnin enemmän aikaa opetusjakson FY1 opetukseen kuin vertailukoulut. Vertailuopettajat ilmoittivat käyttäneensä opetusjaksoon 4 - 5 oppituntia, joka on lähes sama kuin oppikirjan suositus ajankäytölle (4 oppituntia). Toisaalta on ilmeistä, että transferopettajien käyttämä opetusaika pitääkin



olla hiukan suurempi, koska he myös painottivat enemmän vuorovaikutuskaavion käyttöä kuin vertailuopettajat. Näin ollen transferkoulujen käyttämä ylimääräinen opetusaike on kohtuullinen vertailukouluihin nähden.

Tutkimuksessa ei tarkastella opettajien puhetta, mutta olemme aikaisemmassa julkaisussa Nurkka ym. (2011) tutkineet transferopettajien opetuksessaan käyttämää puhetta. Heidän on todettu käyttävän opetusjaksossa FY1 eri puheen muotoja eri tavalla. Puheen muodot luokiteltiin kuuteen luokkaan: opettajan esitys, opettajan ohjaama autoritaarinen keskustelu, opettajan ohjaama dialoginen keskustelu, peer-keskustelu (Savinainen, 2001) ja oppilaan aloite sekä muut. Transferopettaja T1 käytti vaihtelevammin puheen eri muotoja kuin muut transferopettajat. Arvioimme, että transferopettajan T1 vaihtelevan puheen käyttö saattaa tukea parempaa vuorovaikutuskaavion ja N3. lain oppimista. Toinen johtopäätös oli, että opetettavan osan sisällön tuttuus saattaa vaikuttaa puhetyyppien vaihtelevaan käyttöön. Transferopettajat käyttivät puhetyyppejä tutussa N3. lain opetuksessa vaihtelevammin kuin heille ehkä oudomman vuorovaikutuskaavion opetuksessa (Nurkka ym., 2011).

Opetuksen suunnitelmassa kiinnitettiin huomiota myös oppilaiden keskinäiseen vuorovaikutukseen sekä opetuksen aikana että ryhmätyövaiheessa. Transferopettajat teettivät oppilailla suunnittelemani opetusmonisteet ja harjoitusmonisteet ryhmätyönä.

Opetusjakson suunnitelmassa oli ehdotettu myös kokeellisia työtapoja. Transferopettaja T1 toteutti suunnitelmaa tältä osin selvästi muita enemmän, jopa enemmän kuin suunnitelmassa oli ehdotettu. Tällaisista pienistä yksinkertaisista, mutta havainnollistavista opettajan omista demonstraatioista on esimerkinä opetuskeskustelu vuorovaikutusten ominaisuuksien opetuksesta.

*Ope: "Otatte yhden sormen esille.*

*Ei haittaa mikä sormi, vaikkapa etusormi.*

*Onks kaikilla vielä nenä tallella?*

*Kosketa sormella nenää. Osuuko se sormi sinne nenään?*

*Mistä te tiedätte, että se osuu sinne?*

*Opp: Nenässä tuntuu, että se sormi koskettaa sinne.*

*Ope: No entäs sormessa?*

*Opp: Joo.*

*Ope: Eli tuntuuko molemmissa yhtä aikaa?*

*Ope: Eli toisin sanoen teillä oli sormi ja nenä nyt vuorovaikutuksessa. Ja sitten kun se vuorovaikutus syntyi, niin tunsitte sen molemmissa sekä sormessa että nenässä sen vuorovaikutuksen. Toisin sanoen, kun vuorovaikutus syntyy, se on aina kahden kappaleen välinen, ja nämä vaikutukset havaitaan molemmissa kappaleissa yhtä aikaa, kuten havaittiin kosketuksessa. Sitten nämä vuorovaikutukset ovat sellaisia, että ne voivat muuttaa kappaleen muotoa ja myös kappaleen liikettä."*

Kummastakin esitettiin tämän jälkeen oma demonstraatio: muodonmuutoksesta poskeen painaminen ja liiketilan muutoksesta paperipallon pudotus ja lyönti siihen toisella kädellä.

## 5.4 Toinen opetusjakso FY4

### 5.4.1 Opetusjakson FY4 suunnitelma


Toisen opetusjakson FY4 suunnitelmassa on käsitelty oppikirjan Physica 4 (Hatakka ym., 2005) kappaleita 3 (Newtonin lait) ja 4 (Vastusvoimia ja noste), joiden teoriaosaan ja tehtäviin on kirjasta käytetty 41 sivua, ja opetuksen aikataulusuositus on 8 oppituntia (45 min). Opetusjakso sisälsi vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion opetuksen, erityyppisten voimien luokittelun ja Newtonin lakien opetuksen suoraviivaisessa liikkeessä. Voimatyypeistä käsiteltiin kitka, väliaineen vastus ja noste. Kurssi FY4 (OPH, 2003) oli oppilaille valinnainen kurssi, jonka valitsevat yleensä kaikki ne, jotka aikovat lukea lukion fysiikan koko oppimäärän.

Myös opetusjaksoon FY4 laadittiin käsitteellistä oppimista tukeva opetusmoniste (Liite 10), joka käsitteli kahden erimassaisen kappaleen työntöä vaakasuoraa lattian pintaa pitkin vakionopeudella. Lisätehtävänä oli vastaavan kiihtyvän liikkeen tarkastelu, mutta sen käsittelemiseen ei kaikilla opettajilla jäänyt aikaa. Opetusmonisteessa oppilaat joutuivat pohtimaan käsitteellisiä kysymyksiä N3. ja N2. laista ja tavoitteena oli myös näyttää heille, miten vuorovaikutuskaavio, voimakuvio ja Newtonin lait liittyivät toisiinsa. Ensimmäinen harjoitusmoniste käsitteli vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion muodostamista ja N3. lain voiman ja vastavoiman tunnistamista ja yhtäsuuruutta vuorokiipeilijän tapauksessa (Liite 9). Lisäksi suunnitelmassa oli neljä laskennallista harjoitusmonistetta N2. lakiin liittyen.

Opetusjakson FY4 suunnitelma koostui kaikkiaan kymmenestä 45 min oppitunnista, jossa on mukana myös testeihin käytetty aika. Kun otetaan huomioon testien viemä aika noin 3 oppituntia, ei suunniteltu tehokas opetusaika (7 oppituntia) juurikaan poikkea ajallisesti kirjan suosittlemasta 8 oppitunnista. Suunnitelmassa oli myös esitetty testien suoritusajankohdat ja niiden tekemiseen arvioitu aika. Testien tekemiseen käytettyä aikaa ei kuitenkaan rajoitettu, vaan opettaja sai itse päättää tarvittavan ajan. Vuorovaikutuskaavion opetus ei ollut enää niin keskeisessä osassa kuin ensimmäisellä opetusjaksolla, koska sen pitäisi olla jo kaikille tuttu. Näin ollen vuorovaikutuskaavion käyttö riippui tässä opetusjaksossa sekä opettajasta että oppilaasta sen mukaan, miten he kokivat sen eri tilanteissa tarpeelliseksi.

Taulukossa 5 - 2 on esimerkkinä esitetty opetusjakson ensimmäisen opettavan oppitunnin suunnitelma. 1. oppitunti oli varattu tutkimuksen ja kuvauksien esittelyyn ja alkutestin tekemiseen. 2. Oppitunnin (taulukko 5 - 2) tavoitteena oli kerrata ja opettaa vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion käyttö sekä opettaa N3. laki.

TAULUKKO 5-2. Opetusjakson FY4 1. opetettavan oppitunnin suunnitelma. (Vuorikiipeilijä: <http://physics.wku.edu/phys201/Information/ProblemSolving/ForceDiagrams.html>).

Aika	Tehtävä	Kommentit
5 min	Kotitehtävien tarkistus	
5 min	Kerrataan vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio kirjan esimerkin 2 avulla. (Katso moniste)	Korosta voimakuviota. Siihen piirretään <u>vain laivaan</u> kohdistuvat voimat, jotka tunnustetaan vuorovaikutuskaaviosta.
20 min	Harjoitusmoniste: palautetaan mieleen vuorovaikutukset, voimakuvio ja N3. laki. Oppilaat piirtävät <b>vuorovaikutuskaavio</b> n vuorikiipeilijälle. Pohditaan <b>N3. lakia</b> seuraavissa vuorovaikutuksissa: kiipeilijä – naru jalka – kallio (Kiinnitetään huomio pinnan vuorovaikutuksesta syntyvään tukivoimaan $N$ ja kitkaan $F_{\mu}$ ) ks. <i>moniste</i> . kiipeilijä – maa <i>ei kannata piirtää vastavoimia, vaan tunnustaa ne vuorovaikutuskaaviosta.</i> Piirretään vuorikiipeilijälle <b>voimakuvio</b> . Kiinnitetään erityistä huomiota, että kuviossa on vain kiipeilijään kohdistuvat voimat. Selvitetään voimakuvion yhteys ja <b>ero</b> vuorovaikutuskaavioon.	Oppilaat pohtivat ensin ryhmässä kunkin tehtävän. Lopussa opettajan johdolla tarkistetaan kalvolta.  Vuorovaikutus kahden kappaleen välinen kaksisuuntainen puoleensa vetävä (veto) tai työntävä (työntö) etävuorovaikutus (E): (gravitaatio-, sähkö- tai magneettinen vuorovaikutus) tai kosketusvuorovaikutus (K) <b>Vuorovaikutuksen suuruutta kuvaa voima.</b>
10 min	Yhteenvedossa todetaan vuorovaikutukset, voimakuvio ja N3. laki.	<b>Huom!</b> Jos pinnan vuorovaikutusta ei huomioi erikseen koko kallion tukivuorovaikutuksesta, vuorovaikutusviivojen lukumäärä ei vastaa voimavektoreiden lukumäärää (kitkavoima ja tukivoima).
5 min	Esitellään lyhyesti perusvuorovaikutukset, jossa todetaan kosketusvuorovaikutuksen kuuluvan sm-vuorovaikutukseen (monisteenä).	
KT	Tehtäviä kirjasta Tehtävät 1, 4 (myös voimakuviot) ja 6.	

Koko opetusjakson FY4 suunnitelman sisältö opetettavien aiheiden ja opetusmonisteiden käytön osalta oli pääpiirteissään seuraavanlainen:

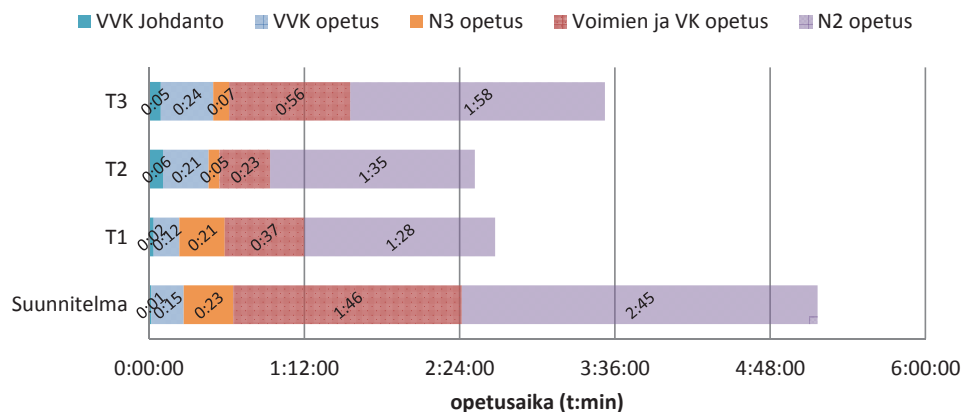
- 1. Oppitunti: Opetetaan vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion konstruointi esimerkin avulla, ja samalla korostetaan niiden eroja ja yhtäläisyyksiä. Oppilaat harjoittelevat näitä taitoja ryhmissä harjoitusmonisteen avulla. Samalla opetetaan N3 laki. Lopuksi tehtävät tarkistetaan yhdessä.
- 2. Oppitunti: N1. lain opetus esimerkin avulla. N2. lain liikeyhtälön määrittäminen ja sen merkityksen opetus. Liikeyhtälön harjoittelua esimerkkien avulla
- 3. Oppitunti: Kokonaisvoiman määrittäminen tapauksissa, joissa voimat ovat yhdensuuntaiset tai erisuuntaiset tai kappale on kaltevalla tasolla. Oppilaille jaetussa monisteessa olivat esimerkit kullekin tapaukselle.
- 4. ja 5. Oppitunti: Opetettiin erilaiset kitkavuorovaikutukset: lepo-, lähtö- ja liikekitka mittaustulosten avulla. Määritettiin kitkavoima ja korostettiin tukivoiman muuttumista (eri kuin G) kaltevalla tasolla. Laskuharjoitusesimerkki. Oppilaat laskevat monisteen harjoitusesimerkit, joissa tarkastellaan Newtonin lakeja.
- 6. Oppitunti: Oppilaat työskentelevät ryhmissä opetusmonisteen parissa. Lopussa käydään osa I yhdessä läpi, ja oppilaat esittävät ajatuksensa oppien samalla puhumaan fysiikan kieltä. Osa II jää kotitehtäväksi.
- 7. Oppitunti: Oppilaat tutkivat kokeellisesti gravitaation ja ilman vastuksen vaikutusta samankokoiseen ilmapalloon, joista toisessa on hiukan vettä sisällä. Lisäksi tutkitaan samankokoisten ja samalta korkeudelta pudotettujen tennis- ja pesäpallon liikettä pudotuksessa. Opetetaan nesteeseen viskositeettiä ja ilmanvastus sekä sen riippuvuus nopeudesta.
- 8. Oppitunti: Oppilaat tutkivat punnukseen kohdistuvaa langan jännitysvoimaa ilmassa ja upottaessa se veteen. Opetetaan ja määritetään nostevoima ja lasketaan harjoitusesimerkki.

Edellä mainittujen oppituntien aikana suoritettiin testit 5 – 8, joiden arvioitu kesto oli yhteensä 55 min eli yli yhden oppitunnin (45 min) verran. Molempien opetusjaksojen suunnitelmien rakenne oli samantyyppinen, kuten taulukoista 5 - 1 ja 5 - 2 nähdään. Suunnitellun opetusjakson sisältö noudatteli oppikirjan sisältöä, joten opettajan ja oppilaan oli helppo yhdistää suunnitelma ja oppikirja toisiinsa, koska ne tukivat näin toisiaan. Opetusjaksoon oli suunniteltu myös harjoitusesimerkit, jotka oli valmiiksi kirjoitettu oppilaille ja opettajille jaettuun monisteeseen. Lisäksi oppilaat tekivät käsitteellisiä kysymyksiä sisältävät opetus- ja harjoitusmonisteet (Liite 10 ja 9) ryhmätyönä, koska tavoitteena oli saada heidät yhdessä pohtimaan annettuja tehtäviä. Tällöin saattaisi oppilaille ja opettajalle paljastua oppilailla kenties vielä esiintyviä virheellisiä käsityksiä. Toisaalta opetus- ja harjoitusmonisteiden tavoitteena oli, että oppilaat osaisivat itse

konstruoida vuorovaikutuskaaviot ja voimakuviot, nähdä niiden erot ja yhtäläisyydet ja oivaltaa vuorovaikutuskaavion hyödyt voimien tunnistamisessa ja N3-lain ymmärtämisessä. Opetuksen suunnitelmassa pyrittiin myös tukemaan kokeellisuutta, jolla lisäksi havainnollistetaan opetettavia käsitteitä.

#### 5.4.2 Opetusjakson FY4 toteutus

Opetusjakson FY4 toteuttivat samat opettajat kuin edellisenkin opetusjakson FY1 kaikissa muissa kouluissa paitsi vertailukoulussa K2. Vertailukoulussa K2 virkaa hoitavalla opettajalla oli tuolloin sijainen. Tutkimukseen osallistuneissa kouluissa, transferkoulua T2 lukuun ottamatta, sama opettaja on opettanut koulun muutkin FY1 kurssit. Kuitenkin myös toinen transferkoulun T2 fysiikan opettajista on kertonut käyttävänsä vuorovaikutuskaaviota opetuksessaan. Täten voimme olettaa, kuten transferopettaja T1 palautteessaan kertoo, että näissä kouluissa opetusjakson FY4 oppilaat, jotka eivät kaikki olleet samoja kuin opetusjaksossa FY1, ovat saaneet samansisältöisen opetuksen kuin opetusjaksolle FY1 osallistuneet oppilaat. Näin ollen on mahdollista, että kaikille opetusjakson FY4 oppilaille on vuorovaikutuskaavion käyttö opetettu likipitään samalla tavalla jo kurssilla FY1.



KUVIO 5-2. Opetusjaksolle FY4 suunniteltu ajankäyttö ja transferopettajien T1, T2 ja T3 eri aihealueiden opetukseen käyttämä aika. Suunniteltu aikataulu sisältää koko opetusajan, kun taas transferopettajien opetusaika sisältää vain opettajan esitysajan.

Kuviossa 5 - 2 on esitetty opetusjakson FY4 opetuksen suunnitelman sisältämä kokonaisaika eri aihealueissa. Se sisältää opettajan opetukseen käyttämän ajan lisäksi myös tehtävien tekemiseen tai ryhmätöiden tekemiseen kuluvan ajan. Nämä ajat ovat tutkijan antamia ohjeellisia aikoja. Kuviossa 5 - 2 on lisäksi transferopettajien opetukseen käyttämä aika eri aihealueissa. Nuo ajat eivät sisällä oppilaiden itsenäiseen työskentelyyn kulunutta aikaa. Täten opetusaikojen täsmällinen vertaaminen suunnitelmassa arvioituihin aikoihin ei ole mahdollista. Tässäkin opetusjaksossa oli videoinnin osalta epäonnea, sillä nyt puolestaan transferkoulun T1 yhden oppitunnin videointi ei onnistunut videokameran

teknisistä ongelmista johtuen. Opettajan mukaan he palauttivat tuolla oppitunnilla mieleen vuorovaikutuskaavion käytön ja sen merkityksen voimakuvion konstruoinnissa. Ensimmäisen oppitunnin opetusajoista arvioitiin siten vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion ja N3. lain opetusajoista puuttuvan seuraavasti: VVK 10 min, VK 10 min ja N3. laki 5 min. Näitä arvioituja aikoja ei ole kuviossa 5 - 2 otettu huomioon.

Vuorovaikutuskaavioiden opetus aika (12 - 24 min) jäi tässä opetusjaksossa vähäisemmälle huomiolle muiden aihealueiden opetus aikoihin verrattuna, kuten oli suunnitelmassakin arvioitu. Kun huomioidaan koulun T1 puuttuva aika, niin transferkoulut käyttivät lähes saman ajan (n. 20 min) vuorovaikutuskaavion opetukseen.

N3. lain opetusta oli transferkoulussa T1 paljon enemmän (> 21 min) kuin muissa transferkouluissa (5 - 7 min). Transferkoulun T1 käyttämä aika oli lähellä suunnitelmassa arvioitua opetus aikaa.

Koska opetusjaksossa FY4 käsiteltiin eri voiman lajeja, niiden ominaisuuksia ja suuruuteen vaikuttavia tekijöitä, laskettiin suunnitelmasta mukaan sekä voimien että voimakuvioiden opetukseen suunnitellun ajan pituus. Videoanalyysissä on kuitenkin huomioitu vain opettajien voimakuvioiden opetukseen käyttämä aika. Tästäkin johtuen voimien ja voimakuvioiden opetukseen suunnitellut ajat ovat huomattavasti suuremmat kuin toteutuneet ajat. Transferkoulussa T2 voimakuvioiden opetus aika (23 min) jäi noin puoleen siitä, mitä se oli muissa transferkouluissa (40 - 56 min).

Opetusjakson FY4 pääpaino oli N2. lain opetuksessa, ja se näkyy näin olleen opetusajoissa, jotka ovat noin 1,5 - 2 h. Transferkoulussa T3 N2. lain opetusta annettiin eniten (n. 2 h).

Transferkoulujen opetusajat ovat suunniteltuihin kokonaisaikoihin nähden samassa suhteessa muissa aihealueissa paitsi N3. lain opetuksessa ja lievästi myös voimien ja voimakuvion opetuksessa, joissa molemmissa transferkoulun T2 opetus jäi muita vähäisemmäksi.

### **Opetusjaksojen FY1 ja FY4 suunnitelmista saatu palaute**

Opettajat antoivat kirjallisessa kyselyssä palautetta opetusjaksojen FY1 ja FY4 opetuksesta ja niiden suunnitelmista mm. seuraavista asioista:

- Ensimmäisen opetusjakson FY1 toteutus saattoi olla harjoitusta toiseen opetusjaksoon ainakin transferkoulussa T3, jossa suunnitelmaa noudatettiin paremmin jälkimmäisessä opetusjaksossa FY4. Myös transferopettaja T2 arvioi palautteessaan, ettei osannut riittävän hyvin soveltaa suunnitelmaa omaan opetukseensa ensimmäisessä opetusjaksossa FY1.
- Suunnitelman (FY4) toteutus vei enemmän aikaa, kuin opettaja itse olisi tietyn aiheen opetukseen käyttänyt. Opetuksen suunnitelmat oli laadittu 45 min pituisille oppitunneille, ja siksi asiasisältöjen sovittaminen 75 min oppitunteihin tuotti opettajalle T2 vaikeuksia. Testejä oli paljon, tehtävät koettiin liian pitkiksi ja ne veivät enemmän aikaa, kuin suunnitelmassa oli

ehdotettu. Lisäksi niiden ajoitus opetuksen kanssa tuotti hankaluuksia. Koska asiaa oli ehkä liikaa, opettaja (T2) kertoi joutuvansa hieman oikomaan ja tiivistämään suunnitelmaa selvittääkseen opetuksesta viidessä oppitunnissa (75 min). Opettajan T1 mielestä suunnitelma oli mielekäs, joustava ja toimiva, mutta aikataulu oli liian tiukka. Testien purkamiseen, johon opetusjakson suunnitelmissa ei ollut varattukaan aikaa, olisi siirtopettaja T2 kaivannut enemmän aikaa.

- Vuorovaikutuskaavion käyttö saattoi opettajilla olla erilaista, sillä vertailukoulujen opetuksesta ei tutkimuksessa ollut riittävästi kerätty tietoa. Opettaja T2 halusi pitää vuorovaikutuskaavion käsittekartan tyyppisenä apuvälineenä voimien hahmottamiseksi. Hän perusteli käyttöä sillä, että oppilaat samaistavat vuorovaikutuskaavion helposti voimakuvioon eivätkä tunne niiden eroa. Siksi hänen mielestään on parempi esittää vuorovaikutuskaavio yksinkertaisena (ilman verbaalista nimeämistä). Lisäksi oppitunnista säästyy tällöin aikaa muuhun opetukseen. Opettajan K2 mielestä on vaara, että vuorovaikutuskaavio sotkee oppilaiden käsitystä kappaleeseen vaikuttavista voimista. Jos kysyttiin vedettävään pulkkaan vaikuttavia voimia, monet piirsivät niille vastavoimatkin. Lisäksi voimakuvion tilalle piirrettiin joskus vuorovaikutuskaavio. Vuorovaikutuskaavio on hänen mielestään vain väline, joka auttaa toisia oppilaita ymmärtämään voimia paremmin. Oppilaat kysyivät FY4 opetuksessa: ”Pitääkö aina lähteä vuorovaikutuskaaviosta, kun halutaan piirtää voimakuvio”. Osa oppilaista ei pohdi riittävästi tarkasteltavan kappaleen vuorovaikutuksia, vaan he luottavat enemmän ulkoa opittuihin ratkaisumalleihin. Tämä näkyy opettajan T1 mukaan puutteellisina perusteluina. Hänen (T1) mukaansa oppilaat pohtivat vuorovaikutuskaavion konstruoinnissa myös sellaisia vuorovaikutuksia, jotka ovat tarkasteltavan ilmiön kannalta merkityksettömiä.
- Lahjakkaat opiskelijat (T2) saattavat olla myös ”ongelma”, sillä he saattavat kysyä oppitunnilla hankaliakin asioita, jotka ovat opetuksen kannalta aikaa vieviä ja ovat osaksi oppimisen kannalta epäoleellisia. Esimerkiksi ilman vuorovaikutus pöydällä olevaan kirjaan, tai miksi lepokitkaa ei merkitä levossa olevaan kirjaan tai milloin ilmanvastus on otettava huomioon. ”Pikkutarkkuus” saattaa sekoittaa joidenkin oppilaiden työskentelyä.
- Ryhmätyöskentely harjoitusmonisteiden ja opetusmonisteiden parissa oli suurimmalle osalle oppilaista eduksi oppimisen kannalta. Ryhmässä oli helppo keskustella ja kysyä omista tuotoksistaan. Opettaja T1 aikoo käyttää jatkossa osaa monisteista kertaavina tai täydentävinä tehtävinä, joita oppilaat voivat tehdä kotona.
- Opetusjakson (FY4) toteutus oli mielenkiintoista. Opettajan T2 mukaan testit ja esimerkit olivat erittäin hyviä sekä opetusmonisteet olivat selkeitä.



Opetusjakson FY1 opetusmoniste oli opettajan T1 mielestä mielenkiintoinen ja hyödyllinen. Kun vaunua työnnettiin liikkeelle matalakitkaradalla, ja vaunun nopeus esitettiin graafisesti, kaikille tuli selväksi, että liikkeen ylläpitämiseksi ei tarvita voimaa. Lisäksi ymmärrettiin, että liikkeen muuttamiseksi tarvitaan aina jokin vuorovaikutus eli sormen työntövoima. Transferoppilaat T1 olivat olleet myös tyytyväisiä opetusjaksoon.

Palautteiden mukaan opetusjakson suunnitelma sai transferopettajilta positiivista palautetta käsitteellistä oppimista tukevista opetusmonisteista ja harjoitusmonisteista. Transferopettajat kokivat suunnitelman toteuttamisen liian kiihkeisenä eli opetuksen sisällössä ja aikataulun yhteen sovittamisessa jäi vielä kehitettävää. Opetusjakson FY4 toteutus onnistui transferopettajilta paremmin kuin opetusjaksossa FY1, koska he olivat jo ennemmin toteuttaneet opetusjakson FY1 vastaavan tyyppisellä suunnitelmalla.

## 6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimuksen tulokset käsitellään luvussa 6.2 samassa järjestyksessä kuin luvussa 3 esitetyt viisi tutkimuskysymystä. Luvuissa 6.1 ja 6.3 on esitetty transferkoulussa alku- ja lopputestinä pidettyjen FCI-testien tulokset. Näiden tulosten tarkastelu ei kuulu varsinaisten tutkimuskysymysten piiriin, mutta ne antavat tietoa siitä, millainen on transferoppilaiden lähtötaso ja miten he ovat opetusjaksojen aikana oppineet Newtonin lait ja voimien tunnistamisen aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna.

### 6.1 Alkutestin tulokset transferkouluissa

Ensimmäisen opetusjakson FY1 alussa kaikki transferoppilaat vastasivat FCI<sub>28</sub>-testiin. FCI<sub>28</sub>-testillä voitiin tarkistaa transferoppilaiden oppimisen lähtötaso voimien tunnistamisessa ja Newtonin laeissa eri transferkouluissa. Taulukossa 6 - 1 on esitetty transferoppilaiden mekaniikan osaaminen yleisellä tasolla FCI<sub>28</sub>-testissä ja erikseen taulukon 4 -2 mukaisten eri dimensioiden: N2. lain, N3. lain ja voimien tunnistamisen osaaminen FCI<sub>28</sub>-tehtävissä ennen opetusjaksoa.

TAULUKKO 6-1. Alkutestin FCI<sub>28</sub> tulokset kokonaisuudessaan ja erikseen eri dimensioissa transferkouluissa. Tulokset sisältävät oikeiden vastausten suhteellisten frekvenssien keskiarvot ja suluissa olevan keskihajonnan (*sd*).

Transferkoulu	<i>N</i>	Alkutesti % ( <i>sd</i> )	N2 laki, $\sum \bar{F} = \bar{0}$ , % ( <i>sd</i> )	N2 laki, $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$ , % ( <i>sd</i> )	N3 laki % ( <i>sd</i> )	Voimien tunnistus % ( <i>sd</i> )
T1	25	30 (13)	21 (25)	28 (22)	26 (27)	27 (20)
T2	26	36 (14)	27 (19)	33 (26)	25 (31)	30 (18)
T3	23	24 (11)	21 (25)	30 (25)	25 (25)	19 (12)
Yhteensä	74	30 (13)	23 (23)	30 (24)	25 (28)	25 (18)

Transferkoulujen välisten tilastollisten erojen tutkimiseen käytin kolmen riippumattoman muuttujan epäparametrinen Kruskal-Wallis (KW) testiä ja pareittain vertailussa Mann-Whitney testiä, koska aineisto ei noudattanut eri dimensioissa normaalijakaumaa (Kolmogorov-Smirnov: mm N2  $\sum \bar{F} = \bar{0}$ :  $z = 2,13$ ,  $p < 0,001$  ja N3:  $z = 1,95$ ,  $p = 0,001$ ).

FCI<sub>28</sub>-alkutestin kokonaistuloksissa oli koulujen välillä tilastollisesti merkitsevä ero (KW:  $\chi^2(2) = 9,14$ ,  $p = 0,010$ ). Pareittain vertailussa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero vain koulujen T2 ja T3 välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 150,5$ ,  $z = 2,99$ ,  $p = 0,003$ ;  $r = 0,43$ , 95 % CI [0,17, 0,63]). Täten transferkoulun T3 oppilaiden mekaniikan osaamisen lähtötaso oli heikompi kuin transferkoulussa T2. Muiden transferkoulujen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (T1-T3:  $U = 203,5$ ,  $z = 1,74$ ,  $p = 0,081$ ;  $r = 0,25$ , 95 % CI [-0,035, 0,50] ja T1-T2:  $U = 255,5$ ,  $z = 1,32$ ,  $p = 0,188$ ;  $r = 0,18$ , 95 % CI [-0,096, 0,44]). Vaikka koulujen T2 ja T3 välillä löytyi mekaniikan osaamisessa eroa ennen opetusta, on mekaniikan osaamisen lähtötaso niissä molemmissa alhainen. Transferoppilaiden osaamisen lähtötaso tutkimuksen eri aihealueissa on kuitenkin lähes samaa tasoa, sillä N2. lain  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  ja  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$ , N3. lain ja voimien tunnistamisessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja transferkoulujen välillä (KW: N2  $\sum \bar{F} = \bar{0}$ :  $\chi^2(2) = 2,66$ ,  $p = 0,265$ ; N2  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$ :  $\chi^2(2) = 0,45$ ,  $p = 0,797$ ; N3:  $\chi^2(2) = 0,16$ ,  $p = 0,923$  ja voimien tunnistus:  $\chi^2(2) = 5,54$ ,  $p = 0,063$ ).

Vertailukoulun oppilaat eivät tehneet FCI<sub>28</sub>-testiä, koska heidän opetuksesta testeihin kuluvaan ajan osuutta haluttiin pitää maltillisena ja välttää oppilaiden liiallista testaamista. Tämä ei kuitenkaan estä koulutyyppeiden välistä osaamisen vertailua, sillä kuten luvussa 4.2.1 todettiin, että lähtötason osaamisen on todettu tutkimuksen aihealueissa olevan yleisesti heikko, eikä osaamisessa ennen opetusta ole havaittu suuria eroja. Haken (1998a) laajassa tutkimuksessa oli mukana lukiolaisia ( $N = 1113$ ), jotka saivat FCI-alkutestissä 28 % vastauksista oikein. Myös aikaisemmat tutkimukset suomalaisista lukiolaisista tukevat edellä esitettyä oppilaiden yleistä osaamistasoa, sillä opetusjaksoa FY1 vastaavassa alkutestissä 131 oppilasta osasi keskimäärin 29 %  $\pm$  1 % FCI-tehtävistä oikein, vaikka osa oppilaista oli keskitasoa parempia IB-oppilaita (Nieminen, Savinainen & Viiri, 2012). Koska myös tässä tutkimuksessa transferoppilaiden osoittama alkutestin tulos on samaa alhaista osaamisen tasoa kuin muissa tutkimuksissa on saatu, on helppo yhtyä Hestenesin ym. (1992) käsitykseen: ”Uudet alkutestit ovat todella tarpeettomia. Suurin puute matalille loppu-testien tuloksille on ennemmin opetuksessa kuin oppilaiden heikossa lähtötasossa.”

## 6.2 Oppimistulokset transfer- ja vertailukouluissa

Seuraavaksi esitetään tutkimuksen tulokset, joilla saadaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. Tulosten esittämisjärjestys on sama kuin viiden tutkimuskysymyksen. Vuorovaikutuskaavioiden käyttöä on tarkasteltu vain opetusjakson

FY1 osalta, koska opetusjaksossa FY4 vuorovaikutuskaavioiden oppimisen testaus jäi vain yhden vuorovaikutuskaavion varaan opetuksen pääpainon ollessa voimakuvioissa ja N2. lain soveltamisessa. Opetusjaksossa FY4 oppilaiden yhdessä tehtävässä konstruoiden vuorovaikutuskaavioiden jakautuminen laatuluokkiin on esitetty liitteessä 11.

Tutkimuksen päähuomio on osaamisen eroissa koulutyyppeiden välillä, joten tutkimuksessa ei tarkastella kaikkien yksittäisten koulujen välisiä eroja eri aihealueiden osaamisessa. Joidenkin koulujen väliset erot tulevat kuitenkin osittain esille luvussa 7.3.4 käsiteltävässä luotettavuustarkastelussa ja luvun 6.2.5 opetusajkojen ja oppimistulosten vertailussa.

### 6.2.1 Vuorovaikutuskaavioiden käyttö opetusjaksossa FY1

Oppilaat eivät vastanneet säännöllisesti kaikkiin testien kysymyksiin, eivätkä myöskään kaikkiin vuorovaikutuskaavioihin. Kun tilastoyksiköksi valittiin oppilaan konstruoima vuorovaikutuskaavio, saatiin mukaan kattavampi otos vuorovaikutuskaavioiden laadullisista eroista koulutyyppeiden, transfer- ja vertailukoulujen välillä, kuin tarkastelemalla kaikkien kahdeksan vuorovaikutuskaavion summamuuttujaa.

Oppilaita pyydettiin konstruoimaan lopputesteissä 1 - 3 kahdeksan vuorovaikutuskaaviota ja voimakuvioita samassa fysikaalisessa tilanteessa. Taulukossa 6 - 2 on esitetty transfer- ja vertailuoppilaiden konstruoiden vuorovaikutuskaavioiden suhteellinen jakautuminen kolmeen laatuluokkaan: erinomaiseen, hyvään ja heikkoon. Laskennassa ovat mukana ne oppilaiden konstruoimat vuorovaikutuskaaviot, joille oppilas oli esittänyt parina myös voimakuvion.

TAULUKKO 6-2. Opetusjakson FY1 oppilaiden konstruoiden vuorovaikutuskaavioiden frekvenssien ja suhteellisten frekvenssien jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa. Tilastoyksikkönä on vuorovaikutuskaavio.  $N$  on oppilaiden lukumäärä, jotka olivat konstruineet ainakin yhden vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio parin.

Vuorovaikutuskaavion laatu	Transferkoulut ( $N = 71$ )		Vertailukoulut ( $N = 54$ )	
	$f$	$f\%$	$f$	$f\%$
Erinomainen	313	57	106	26
Hyvä	147	27	127	31
Heikko	93	17	179	43

Koska aineiston rajaaminen jättää pienen osan vuorovaikutuskaavioista laskennan ulkopuolelle, on syytä varmistaa, miten se vaikuttaa tuloksiin. Transferkouluissa suhteellinen frekvenssi poikkesi erinomaisten vuorovaikutuskaavioiden osalta eniten, ja oli 0,4 prosenttiyksikköä suurempi kuin kaikilla oppilaiden konstruoiden vuorovaikutuskaavioilla laskettaessa. Transferkouluissa taulukossa 6 - 2 esitetyt vuorovaikutuskaavioiden eri laatuluokkien suhteelliset frekvenssit poikkeavat vastaavista kaikkien vuorovaikutuskaavioiden suhteellisista frekvensseistä seuraavasti: erinomainen +0,4, hyvä -0,3 ja heikko -0,1 prosenttiyksikköä ja vertailuryhmässä vastaavasti -0,1, 0 ja 0 prosenttiyksikköä. Koska rajatun aineiston ja oppilaiden kaikkien konstruoiden vuorovaikutuskaavioi-

den laatuluokkien suhteellisten frekvenssien väliset erot olivat tulosten laskentatarkkuuden rajoissa mitättömän pienet, on rajauksen valinta tutkimusongelman sekä tulosten luotettavuuden kannalta perusteltua.

Vuorovaikutuskaavioiden koodauksen luotettavuus tarkistettiin toisen tutkijan kanssa. Koodausten yhteensopivuus oli erinomainen, sillä  $Kappa = 0,958$  ( $p < 0,001$ ).

Cronbachin *alfalla* mitattiin vuorovaikutuskaavioiden sisäistä yhtenäisyyttä, eli miten hyvin kysymykset mittaavat samaa käsitettä. Vuorovaikutuskaaviotehtävien välinen sisäinen yhtenäisyys oli hyvä, sillä *alfaksi* saatiin 0,845 kaikkiin tehtäviin vastanneiden ( $N = 97$ ) kesken.

Koulutyypin välisiä eroja vuorovaikutuskaavioissa tarkasteltiin kategorisille muuttujille soveltuvalla tilastollisella khiin neliö ( $\chi^2$ )-testillä. Efektikoon laskemiseen käytettiin Cramerin *V*:tä, koska kyseessä on järjestysasteikollinen muuttuja (Clark-Carter, 2010).

Oppilaiden konstruomien vuorovaikutuskaavioiden laatuluokissa oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyypin välillä, ja efektikoko oli keskiuuri ( $\chi^2(2) = 112,7$ ,  $p < 0,001$ ;  $V = 0,34$ ). Transferkouluissa oppilaat olivat konstruineet laadullisesti parempia vuorovaikutuskaavioita, sillä yli puolet (57 %) transferoppilaiden vuorovaikutuskaavioista olivat erinomaisia, kun vertailukouluissa vain noin neljäsosa (26 %) vuorovaikutuskaavioista luokiteltiin erinomaisiksi.

Kappaleeseen kohdistuvien vuorovaikutusten tunnistamisen edellytyksenä oli, että vuorovaikutuskaavio oli laadultaan erinomainen tai hyvä. Transferoppilaat olivat tunnistaneet vuorovaikutukset oikein 83 %:ssa vuorovaikutuskaaviosta, kun vastaavasti vertailukouluissa oli vuorovaikutukset tunnistettu oikein 57 %:ssa vuorovaikutuskaavioista. Laskin lisäksi erinomaisen tai hyvän ja heikon vuorovaikutuskaavion frekvenssien välistä tilastollista eroa koulutyypin välillä. Vuorovaikutusten tunnistamisessa transferoppilaat olivat vertailuoppilaita parempia, ja ero oli myös tilastollisesti merkitsevä koulutyypin välillä ( $\chi^2(1) = 82,7$ ,  $p < 0,001$ ;  $V = 0,29$ ). Efektikoko oli nyt pieni, juuri keskiuuren alapuolella.

### 6.2.2 Newtonin 3. lain oppiminen opetusjaksossa FY1

N3. lain osaamista mitattiin alkutestissä  $FCl_{28}$  neljällä verbaalisella monivalinta-tehtävällä, testissä 2 kahdella verbaalisella monivalintatehtävällä ja yhdellä voimaparin nimeämistehtävällä ja testissä 3 yhdellä vektorimuodossa olevalla monivalintatehtävällä. Taulukossa 6 - 3 on esitetty N3. lain osaamista alkutestissä, lopputestien eri representaatioissa olevissa tehtävissä sekä kaikissa N3. lain tehtävissä yhteensä. Tulokset on laskettu kaikilta niiltä oppilailta, jotka vastasivat kaikkiin kahdeksaan vuorovaikutuskaaviotehtävään sekä kaikkiin neljään lopputestien 2 ja 3 N3. lain tehtäviin. Oppilaiden N3. lain vastauksien rajoitus tässä muodossa oli välttämätön, jotta oppilaan N3. lain osaamisen ja oppilaan konstruoman vuorovaikutuskaavion laadun yhteyttä voidaan verrata toisiinsa. Luvun lopussa tarkastellaan erikseen rajoituksen vaikutusta N3. lain tulosten luotettavuuteen.

N3. lain testikysymysten luotettavuutta voidaan pitää kolmen monivalintakysymysten osalta hyväksyttävänä, sillä Cronbachin  $\alpha = 0,714$ . Kaikkien neljän N3. lain tehtävän välinen Cronbachin  $\alpha$  oli  $0,649$ , mikä luokitellaan kyseenalaiseksi. Tämä johtunee tehtävien määrän vähyydestä ja toisaalta heikosti osatusta eri representaatioissa esitetystä voimaparieren nimeämistehtävästä (Tavakol & Dennick, 2011). Koska sekä vuorovaikutuskaaviot että N3. laki liittyvät molemmat vuorovaikutuskäsitteen ymmärtämiseen, niin on perusteltua tarkastella myös näiden tehtävien luotettavuutta yhdessä. Tällöin molempien tehtävätyyppien sisäiseksi yhtenäisyydeksi saadaan hyvä, sillä Cronbachin  $\alpha = 0,829$ .

TAULUKKO 6-3. Opetusjaksossa FY1 N3. lain alku- ja lopputestien kysymysten oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit transfer- ja vertailukouluissa.  $N$  ilmoittaa vastanneiden oppilaiden lukumäärän. Yksi oppilas koulusta T2 ei vastannut FCI-alkutestin N3. lain kaikkiin kysymyksiin. Suluissa oleva keskihajonta ( $sd$ ) on laskettu prosentteina.

Koulutyyppi	$N$	Alkutesti	Lopputestit 1 -3			
		FCI N3 (4) %	Verbaalinen (2) %	Vektori %	Voimaparin nimeäminen %	Kaikki N3 tehtävät %
Transfer	51	28 (27)	93 (17)	94 (24)	64 (46)	86 (16)
Vertailu	24	-	56 (50)	71 (46)	23 (42)	52 (34)

Alkutestissä transferoppilaiden oikeiden vastausten keskiarvo oli neljässä verbaalisessa monivalintatehtävässä 28 % (keskihajonta = 27 %). Näin ollen N3. lain osaaminen transferkouluissa oli heikko, vain hiukan parempi kuin arvaamalla saatu tulos, sillä monivalintatehtävän viidestä vaihtoehdosta saa satunnaisella arvaamisellakin 20 % oikein.

Koska vertailuoppilaat eivät suorittaneet FCI<sub>28</sub>-alkutestiä, voidaan tietysti kysyä, oliko vertailuoppilaiden N3. lain osaaminen jo ennen opetusta erilaista kuin transferoppilaiden. On tutkittu, että N3. lain osaaminen on yleisesti heikkoa ilman erityistä opetuksen uudistamista. On myös havaittu, ettei oppilaiden osaaminen riipu opettajasta, sillä eri opettajat erilaisella opettajakokemuksella saavat samanlaiset heikot oppimistulokset (ks. luku 4.2.1). Lisäksi alkutestin neljän N3. lain tehtävän summa ei korreloinut lopputestin kaikkien N3. lain tehtävien summan kanssa (Spearmanin  $\rho = 0,20$ ,  $p = 0,171$ ) eikä myöskään kahdeksan vuorovaikutuskaavion summan kanssa (Spearmanin  $\rho = 0,10$ ,  $p = 0,476$ ). Näin ollen ei tutkimuksen luotettavuuden kannalta ollut välttämätöntä tehdä alkutestiä molemmille ryhmille.

Koulutyyppien välisten tilastollisten erojen tutkimiseen käytin Mann-Whitneyn testiä ja efektikoko-korrelaatiota  $r$ . Efektikoko-korrelaatio  $r$  sopii muuttujille, jotka eivät noudata normaalijakaumaa, ja nyt kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa transfer- ja vertailukoulujen jakaumat eivät noudattaneet normaalijakaumaa (Kolmogorov-Smirnov:  $z = 2,45$ ,  $p < 0,001$ ).

N3. lain verbaalisissa tehtävissä oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 336,5$ ,  $z = 4,04$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,47$ , 95 % CI [0,27, 0,63]). Samoin N3. lain vektoritehtävässä oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli keskisuuri ( $U = 469,5$ ,  $z = 2,75$ ,  $p = 0,006$ ;  $r = 0,32$ , 95 % CI [0,097, 0,51]). Voimaparin nimeämistehtävässä oli tilas-

tollisesti merkitsevä ero koulutyypin välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 342,5$ ,  $z = 3,41$ ,  $p = 0,001$ ;  $r = 0,39$ , 95 % CI [0,18, 0,57]). Kaikkien N3. lain tehtävistä koostuvassa kokoelmassa oli näin ollen myös tilastollisesti merkitsevä ero koulutyypin välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 230,5$ ,  $z = 4,54$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,52$ , 95 % CI [0,34, 0,67]).

Transferokouluissa oli nähtävissä lopputestin N3. lain osaamisessa selvää parannusta alkutestin tuloksiin nähden. Siksi laskettiin myös Haken normeeratun kasvutekijän arvo alkutestin neljän ja lopputestin kahden verbaalisen monivalintatehtävän välillä. Koska FCI-testi on yleisesti käytössä ja kaikille alan tutkijoille tuttu, antaa se luotettavan vertailupohjan oppilaiden voimakäsityksen käsitteellisen ymmärryksen tutkimiseen tutkimuksen aihealueissa. Vaikka testin tehtävät eivät olleet täsmälleen samoja kuin alkutestissä, sillä ne oli esitetty eri tilanteissa, mutta ne olivat kuitenkin samantyyppisiä verbaalisia monivalintatehtäviä ja antavat siten perusteen kasvutekijän käytölle. Transferoppilaat osasivat N3. lain voimaparin yhtäsuuruuden oikein 28 %:ssa alkutestin tehtävistä, kun lopputestissä he osasivat vastata 93 %:ssa tehtävistä oikein. Oppimisen kehitys N3. lain verbaalisessa representaatioissa on ollut merkittävän suuri, sillä Haken normeeratuksi kasvutekijäksi saatiin  $G = 0,90$ . Se vastaa Haken luokittelussa korkeaa  $G$  arvoa ( $> 0,7$ ). Lisäksi efektikoko-korrelaatio on suuri (Wilcoxon:  $N = 56$ ,  $z = 6,28$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,84$ ).

Transferoppilaat osasivat N3. lain (86 % oikein) paremmin kuin vertailuoppilaat (52 % oikein) kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa. Transferoppilaat oppivat myös N3. lain lopputestien kaikissa eri representaatioissa olevissa tehtävissä paremmin kuin vertailuoppilaat.

Voimaparin tunnistamisen oppilaat osasivat heikoiten ja samalla tässä tehtävässä koulutyypin välinen ero oikeiden vastausten prosentuaalisessa osuudessa oli suurin. Transferoppilaat tunnistivat voiman ja vastavoiman paremmin (64 % voimapareista oli oikein) kuin vertailuoppilaat (23 % voimapareista oli oikein). Tämä antaa ehkä viitteitä siitä, että vuorovaikutuskaavion käytöllä on voimaparin tunnistamisessa erityinen rooli.

Verbaalisissa tehtävissä osaaminen oli laskentatavasta riippumatta hyvin samanlaista: transferoppilaat osasivat voiman ja vastavoiman yhtäsuuruuden eri konteksteissa (erisuuriset nopeudet tai erisuuret massat kiihtyvässä liikkeessä) paremmin (93 % oikein) kuin vertailuoppilaat (56 % oikein). Transferokouluissa lasketut N3. lain oppimisen kasvutekijät verbaalisessa representaatioissa osoittavat transferoppilaiden oppineen voiman ja vastavoiman yhtäsuuruuden erittäin hyvin ja myös samantasoisesti kaikissa transferokouluissa, sillä kaikki saavuttivat korkean tason ( $G > 0,7$ ) N3. lain verbaalisen representaation oppimisessa, ja efektikoko oli suuri.

Vektorirepresentaatioissa voiman ja vastavoiman yhtäsuuruus kontekstissa, jossa erimassaiset pojat törmäävät toisiinsa, osattiin parhaiten. Myös koulutyypin välinen ero oikeiden vastausten osuudessa oli pienin (transferokoulut: 94 % oikein ja vertailukoulut: 71 % oikein). Tämä on yllättävä tulos, koska vektorikäsite on oppilaille vaikea (Meltzer, 2005). Toisaalta N3. lain voimaparin symmetriassa massalla on virheellisen käsityksen aiheuttajana vahva asema



(Luku 2.3.2). Monivalintatehtävän oikean valinnan lisäksi pyysin oppilasta vielä sanallisesti varmentamaan, miksi hän valitsi kyseisen vaihtoehdon. Koska testi-tehtävän voimavektoriesitys oli erilainen, mitä oppikirjassa oli esitetty, hyväksyin oikeaksi vaihtoehdoksi myös: ei mikään, jos oppilas oli sanallisessa osassa kuitenkin perustellut voiman ja vastavoiman yhtäsuuruuden oikein. Näin tapahtui vain kolmella transferoppilaalla ja yhdellä vertailuoppilaalla. Transferoppilaista 6 % ja vertailuoppilaista 4 % vastasivat monivalintaosaan oikein ja selitysosaan väärin. Vastaavasti transferoppilaista 0 % ja vertailuoppilaista 4 % vastasivat monivalintaosaan väärin ja selitysosaan oikein (mukana eivät ole ne oppilaat, joiden vastaus hyväksyttiin oikeaksi edellä mainitulla syyllä). Näin ollen oppilaat ovat käsittäneet vektoriesityksen merkityksen N3. lain osalta hyvin.

### **Newtonin 3. lain vastausten rajauksen luotettavuustarkastelua**

Koska osa oppilaista ei ollut vastannut kaikkiin N3. lain tehtäviin ja kaikkiin vuorovaikutuskaaviotehtäviin, heidät rajattiin edellä olleiden tulosten laskennasta pois. Siksi on aiheellista tutkia, vaikuttaako tuo rajaus N3. lain osaamisen tuloksiin. Oppilaiden vastaamattomuus aiheutti sen, että rajauksessa jäi laskennan ulkopuolelle ainakin yhteen N3. lain tehtävään vastanneista keskimäärin 14 transferoppilasta ja 24 vertailuoppilasta. Oppilaiden N3. lain vastausten oikeiden vastausten prosenttiosuuksissa eri representaatioissa ja niiden kokoelmassa oli kouluissa pieniä eroja siten, että rajatulla oppilasjoukolla saatiin molemmissa koulutyypeissä hiukan suuremmat oikeiden vastausten prosenttiosuudet. Tulos on ymmärrettävä, sillä joidenkin tehtävien vastaamattomuus voi johtua epävarmuudesta oppilaan osaamisessa. Vaikka oppilaiden vastauksia jouduttiin rajauksessa jättämään laskennan ulkopuolelle, se ei vaikuttanut koulutyyp-  
pien väliseen eroon N3. lain osaamisessa. Muutokset olivat samansuuntaisia siten, että rajoitetussa joukossa oikeiden vastausten osuus oli suurempi kuin kaikkiin N3. lain tehtäviin vastanneiden vastausten osuus. Suurimmillaankin N3. lain osaamisessa oli vain 1,4 prosenttiyksikön ero koulutyyp-  
pien välillä, sillä transferkouluissa N3. lain vektorirepresentaation osaamisessa oli 5,1 prosenttiyksikön ero rajoitetun joukon ja kaikkiin tehtävään vastanneiden vastausten välillä, ja vertailukouluissa vastaava ero oli 6,5 prosenttiyksikköä. Koulutyyp-  
pien välillä oli edelleen tilastollisesti merkitsevät erot kaikissa N3. lain tehtävien osa-alueissa ( $p \leq 0,001$ ), ja efektikoko oli verbaalisissa tehtävissä suuri, vektoritehtävissä keskisuuri ja voimaparin nimeämisessä suuri ( $r = 0,49; 0,30; 0,44$ ). Kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyp-  
pien välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 253,0, z = 5,07, p < 0,001; r = 0,56, 95 \% CI [-0,22, 0,22]$ ). Näin ollen koulutyyp-  
pien väliset erot N3. lain osaamisessa ovat luotettavat myös rajoitetussa joukossa.

### Newtonin 3. lain oppiminen opetusjaksossa FY4

Toisessa opetusjaksossa N3. lain osaamista testattiin alkutestissä yhdellä tunnistustehtävällä ja kahdella verbaalisella monivalintatehtävällä voimaparin yhtäsuuruudesta. Opetuksen jälkeisissä lopputesteissä kysyttiin yksi voimaparin nimeämistehtävä ja voimaparin yhtäsuuruus yhdessä fysikaalisessa tilanteessa neljässä eri representaatioissa ja yhdessä verbaalisessa monivalintatehtävässä. Lisäksi transferoppilaat vastasivat opetusjakson jälkeen FCI<sub>28</sub>-testiin, joka sisältää neljä N3. lain verbaalista monivalintatehtävää. Taulukossa 6 - 4 on esitetty N3. lain testitehtävien oikeiden vastausten osuudet transfer- ja vertailukouluissa. Alkutestissä tulokset on laskettu niiden oppilaiden mukaan, jotka ovat vastanneet kaikkiin N3. lain tehtäviin (transferoppilaita 44 ja vertailuoppilaita 21). Lopputesteissä tulokset on laskettu kaikkiin kyseisiin representaatiotehtäviin vastanneiden mukaan. Tästä johtuen lopputesteissä vastanneiden oppilaiden lukumäärä *N* vaihtelee. Eri representaatioissa olleisiin tehtäviin vastasi transferoppilaita 43 - 48 ja vertailuoppilaita 26 - 28.

TAULUKKO 6-4. Opetusjakson FY4 Newtonin 3 lain alku- ja lopputestien kysymysten oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit transfer- ja vertailukouluissa. Suluissa oleva keskihajonta (*sd*) on laskettu vastaavasti prosentteina. Tilastoyksikkönä on oppilas. *N* ilmoittaa vastanneiden oppilaiden lukumäärän.

<i>N</i>	Alkutesti 4		Lopputestit 5-8				
	44/21					45/23	
Koulu- tyyppi	Verbaalinen (2) %	Voimaparin nimeäminen %	Verbaalinen (2) %	Vektori/Diagr./Graaf. %	Voimaparin nimeäminen %	<i>N</i>	Kaikki N3 tehtävät %
Transfer	78 (35)	40 (46)	72 (33)	74 (44)	49 (33)	45	69 (29)
Vertailu	57 (36)	17(37)	38 (41)	47 (49)	10 (28)	23	42 (37)

Alkutestin tulosten laskennasta jäi oppilaiden N3. lain tehtäviin vastaamattomuuden takia pois 8 vertailukoulun oppilasta ja 3 transferkoulun oppilasta. Transferoppilaita 4 ja vertailuoppilaita 9 ei ollut vastannut lopputestin kaikkiin N3. lain tehtäviin. Kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmasta jätin pois N3. lain graafisen representaatiotehtävän, koska nuo sivut eivät olleet kopioituneet koulun T3 tehtävien monistuksessa, ja siksi oppilaat eivät voineet vastata kyseisiin tehtäviin. Eri representaatiotehtävissä (vektori, diagrammi ja graafinen) kysytyt voimaparin yhtäsuuruuden vastaukset ovat laskennassa mukana.

Alkutestin osalta tehtävien sisäinen yhtenäisyys ei ollut luotettavuudeltaan hyväksyttävä mittamaan N3. lain osaamista, sillä Cronbachin *alfa* = 0,408. Ilman voimaparin nimeämistehtävää Cronbachin *alfa* = 0,50 viittaa heikkoon luotettavuuteen. *Alfan* pientä arvoa selittänee tehtävien pieni määrä (2 monivalintatehtävää ja 1 voimaparin nimeämistehtävä) ja toisaalta myös opetusjakson FY1 N3. lain tehtävissä, joiden joukossa olivat samat tehtävät, havaittiin myös kyseenalainen luotettavuus. Lopputestissä sen sijaan kaikkien N3. lain tehtäviin vastanneiden oppilaiden (*N* = 63) vastausten mukaan luotettavuus oli hyvä,

sillä Cronbachin  $\alpha = 0,865$ . Luotettavuus olisi ollut erinomainen (0,918) ilman kädellä kiihtyvään liikkeeseen saatetun vaunun N3. lain tehtävää.

Tarkastellaan ensin N3. lain osaamista eri representaatioissa ja lopuksi kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa.

N3. lain verbaalisissa tehtävissä oli tilastollisesti merkitsevät erot koulutyypin välillä sekä alkutestissä ( $U = 308, z = 2,43, p = 0,015; r = 0,30, 95 \% CI [0,062, 0,51]$ ) että lopputestissä ( $U = 332, z = 3,34, p = 0,001; r = 0,39, 95 \% CI [0,18, 0,57]$ ). Efektikoko oli alkutestissä keskiuuri ja lopputestissä suuri koulutyypin välillä. Lopputestien N3. lain verbaalisten monivalintatehtävien osaamisessa oli yksi erikoinen piirre, sillä osaaminen oli alkutestiin nähden heikentynyt molemmissa koulutyypeissä. Transferkouluissa osaaminen oikeiden vastausten osuudessa oli lievästi heikentynyt 78 %:sta 72 %:iin mutta vertailukouluissa osaaminen oli heikentynyt huomattavasti enemmän 57 %:sta 38 %:iin. Transferoppilaiden N3. lain verbaalisten tehtävien osaamisessa FCI<sub>28</sub>-lopputestissä näkyy kuitenkin jo selvää parannusta, sillä 92 % vastauksista oli oikein ja  $sd = 16 \%$  (taulukko 6 - 14).

Opetuksen aikana suoritettuja N3. lain testien tuloksia on hyvä verrata FCI<sub>28</sub>-testin N3. lain tuloksiin. Tämä antaa luotettavuutta saaduille tuloksille, sillä tulokset saattavat vaihdella testin suorituspäivästä riippuen tai ennen testiä annetusta opetuksesta (Heckler & Sayre, 2010). Hecklerin ja Sayren (2010) mukaan tiedon unohtamista tapahtuu kaikkina opetusvaiheiden aikoina, mutta eniten unohtamista tapahtuu juuri opetuksen jälkeen. Kun luokahuoneessa on opetuksen aikana opetettu paljon uutta tietoa fysiikasta, on mahdollista, että se unohdetaan lähituntien tai päivien aikana opetuksen jälkeen.

FCI<sub>28</sub>-lopputestissä on N3. lain osaaminen laskettu kaikkiin neljään N3. lain tehtävään vastanneiden transferoppilaiden mukaan. Niissä tehtävissä transferoppilaat ( $N = 45$ ) saavuttivat N3. lain osaamisessa korkean oppimistason, eikä transferkoulujen välillä ollut eroja (K-W:  $\chi^2 = 3,66, p = 0,160$ ). Transferoppilaiden N3. lain osaamisen kehittymistä tarkasteltiin myös alkutestin kahden verbaalisen monivalintatehtävän ja FCI<sub>28</sub>:n neljän vastaavanlaisen verbaalisen tehtävän välille lasketulla Haken normeeratulla kasvutekijällä. Niissä tehtävissä transferoppilaille laskettu normeerattu kasvutekijä  $G = 0,63$  sijoittuu Haken mukaisessa luokittelussa keskitasolle ( $0,3 < G < 0,7$ ). Lisäksi efektikoko on suuri (Wilcoxon:  $z = 2,59, p = 0,010; r = 0,39, 95 \% CI [0,10, 0,61]$ ). Samoin myös yksittäisissä transferkouluissa saavutettiin keskitasolle yltävä normeerattu kasvutekijä. Oppimista voidaan pitää edelleen hyvänä, vaikka jo ensimmäisen opetusjakson FY1 aikana tapahtui N3. lain oppimisessa merkittävä oppimistason nousu. Jos osaaminen on jo alussa korkealla tasolla, on opetuksessa vaikea saavuttaa suurta normeerattua kasvutekijää  $G$ .

Lopputestin N3. lain muissa representaatioissa eli vektori, diagrammi ja graafisessa representaatioissa olevissa voimaparin yhtäsuuruutta testaavissa tehtävissä osasivat sekä transferoppilaat (74 % vastauksista oikein) että vertailuoppilaat (47 % oikein) N3. lain hiukan paremmin kuin verbaalisissa tehtävissä. Näissä muissa representaatiotehtävissä oli myös tilastollisesti merkitsevä ero

koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli keskisuuri ( $U = 390,5$ ,  $z = 2,47$ ,  $p = 0,014$ ;  $r = 0,30$ , 95 % CI [0,0649, 0,50]).

N3. lain voimaparin nimeämistehtävässä oli alkutestissä tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli keskisuuri ( $U = 340$ ,  $z = 2,01$ ,  $p = 0,045$ ;  $r = 0,25$ , 95 % CI [0,0053, 0,46]). Lopputestin voimaparin tunnistustehtävän osaamisessa oli myös tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 233$ ,  $z = 5,01$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,57$ , 95 % CI [0,40, 0,71]). Voimaparien tunnistamisessa oli transferoppilailta tapahtunut lievää parannusta, sillä oikeiden vastausten osuus oli noussut 40 %:sta 49 %:iin, kun taas vertailukouluissa osaamisessa oli tapahtunut taantumista, oikeiden vastausten osuuden laskiessa 17 %:sta 10 %:iin. Näyttää siltä, että voima- ja vastavoimaparien tunnistaminen ja nimeäminen oli täten N3. lain tehtävistä oppilaille vaikein oppia.

Lopputestien kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa transferoppilaat olivat parempia (69 % oikein) kuin vertailuoppilaat (42 % oikein). Ero transfer- ja vertailukoulujen välillä oli tilastollisesti merkitsevä ( $U = 254$ ,  $z = 3,45$ ,  $p = 0,001$ ;  $r = 0,42$ , 95 % CI [0,20, 0,60]). Alkutestin kaikkien tehtävien kokoelmassa transferoppilaat olivat osanneet vastata oikein 66 %:ssa ( $sd = 29$  %) N3. lain tehtävistä ja vastaavasti vertailukouluissa 44 % ( $sd = 27$  %) oli oikein. Koulutyyppien välinen ero N3. lain osaamisessa oli jo ennen opetusta tilastollisesti merkitsevä, ja efektikoko oli suuri ( $U = 270$ ,  $z = 2,81$ ,  $p = 0,005$ ;  $r = 0,35$ , 95 % CI [0,11, 0,55]). Tämä ero saattaa olla peräisin jo opetusjakson FY1 opetuksesta, sillä osaamisen ero koulutyyppien välillä oli jo silloin tilastollisesti merkitsevä.

### 6.2.3 Voimien tunnistaminen opetusjaksossa FY1

Oppilaita pyydettiin testeissä 1 - 3 konstruimaan 8 voimakuviota erilaisissa fysikaalisissa tilanteissa. Tarkastellaan ensin oppilaiden kykyä tunnistaa voimat ja seuraavassa osassa tarkastellaan oppilaiden kykyä soveltaa N2. lakia oikein konstruomisissaan voimakuvioissa. Oppilas on osannut tunnistaa voimat oikein, jos voimakuvio on laatuluokaltaan hyvä tai erinomainen. Näissä molemmissa kategorioissa vaatimuksena oli, että kaikki voimat tunnistettiin oikein ja vektorit käytettiin voiman esittämiseksi oikein. Tulosten laskennassa otettiin huomioon ne voimakuviot, joille oppilas oli esittänyt myös vastaavan vuorovaikutuskaavion. Samaa rajoitusta käytettiin myös edellä vuorovaikutuskaavion käyttöä tarkasteltaessa. Taulukossa 6 - 5 on esitetty oppilaiden konstruomien voimakuvioiden suhteellinen jakautuminen kategorioihin transfer- ja vertailukouluissa.

Voimakuvioiden koodauksen luotettavuus tutkittiin samalla tavalla kuten edellä käsiteltyjen vuorovaikutuskaavioidenkin yhteydessä. Toinen tutkija koodasi lisäksi arpomalla valittujen oppilaiden voimakuvioista 12 % (212/1766) kaikista oppilaiden konstruomista voimakuvioista eri testeissä molemmissa opetusjaksoissa. Koodauksen luotettavuudeksi saatiin erinomainen yhteensopivuus, sillä  $Kappa = 0,873$  ( $p < 0,001$ ).

Voimakuviotehtävien sisäinen yhtenäisyys oli hyväksyttävä, sillä Cronbachin  $alfa = 0,696$ . Koska vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio mittaavat oppi-

laan kykyä tunnistaa ensin vuorovaikutukset ja sen jälkeen kappaleeseen kohdistuvat vuorovaikutuksista syntyneet voimat, niin on perusteltua tarkastella näiden molempien tehtävien luotettavuutta yhdessä. Luotettavuus saavutti näiden tehtävien osalta hyvän rajan, sillä Cronbachin  $\alpha = 0,841$ .

TAULUKKO 6-5. Opetusjakson FY1 oppilaiden konstruoimien voimakuvioiden jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluissa.  $N$  on niiden oppilaiden lukumäärä, jotka olivat konstruoineet ainakin yhden vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparin.

Voimakuvion laatu	Transferkoulut ( $N = 71$ )		Vertailukoulut ( $N = 54$ )	
	$f$	$f\%$	$f$	$f\%$
Erinomainen	236	43	114	28
Hyvä	168	30	95	23
Erinomainen tai hyvä	404	73	209	51
Heikko	149	27	203	49

Transferoppilaat tunnistivat voimat (voimakuvio erinomainen tai hyvä) voimakuvioista paremmin kuin vertailuoppilaat. Transferoppilaista 73 % tunnsti voimat oikein, kun vertailuoppilaista vain 51 % osasi tunnistaa ja piirtää tarkasteltavalle kohteelle oikeat voimat voimakuvioissa. Koulutyypin välinen ero voimien tunnistamisessa oli tilastollisesti merkitsevä, ja efektikoko oli pieni ( $\chi^2(1)=50,8, p < 0,001; V= 0,23$ ).

FCI<sub>28</sub>-alkutestin voimien tunnistamista mittaavista seitsemästä tehtävästä transferoppilaat osasivat 25 % oikein (taulukko 6-1), joten heidän osaamisensa voimien tunnistamisessa ennen opetusta oli heikko. Koska vertailuoppilaat eivät tehneet FCI<sub>28</sub>-testiä, niin heidän osaamisestaan voimien tunnistamisessa ennen opetusta ei ollut täsmällistä tietoa, joten laskin lisäksi transferoppilaiden alkutestin verbaalisen voiman tunnistustehtävien (7) ja lopputestin voimakuvioiden (8) summien välisen korrelaatiokertoimen. Näiden muuttujien välillä ei ollut korrelaatiota (Spearmanin  $Rho = 0,135, p = 0,313$ ). Laskennassa olivat mukana oppilaat, jotka olivat vastanneet kaikkiin alkutestin voiman tunnistustehtäviin ja lopputestin voimakuvioihin. Lisäksi aikaisemmin todettiin, että FCI-testissä osaaminen on yleisesti heikkoa. Näin ollen lähtötasojen transfer- ja vertailukouluissa voidaan olettaa olleen osaamiseltaan samaa tasoa myös voimien tunnistamisessa.

Voimien tunnistusta tutkittiin lopputesteissä oppilaiden konstruoimista voimakuvioista, mikä on oppilaalle vaativampi representaatio (Meltzer, 2005), jo voimavektoriesityksenkin puolesta kuin FCI<sub>28</sub>-alkutestin verbaalinen monivalintatehtävä. Tästä huolimatta transferoppilailla voimien tunnistamisen osaaminen oli merkittävästi parantunut 26 %:n suhteellisesta osuudesta 73 %:n osuuteen. Alkutestin osaaminen on nyt 1 %-yksikön suurempi kuin taulukossa 6 - 1, koska alkutestin kaikkiin voiman tunnistustehtäviin ja lopputestien voimakuvioihin vastanneita oppilaita oli nyt yhtä oppilasta vähemmän ( $N = 58$ ). Lisäksi laskettiin Haken normeerattu kasvutekijä ja efektikoko. Transferoppilaille saatiin normeeratuksi kasvutekijäksi voimien tunnistamisessa  $G = 0,63$ , joten heidän osaaminen oli voimien tunnistamisessa selvästi parantunut, sillä osaamisen kehittyminen opetusjaksossa oli Haken luokittelun mukaan kes-

kisuuri. Lisäksi efektikoko oli suuri (Wilcoxon:  $N = 58$ ,  $z = 6,54$ ,  $p < 0,001$ ;  $r = 0,86$ ).

Vertailukouluissa oppilaat osasivat tunnistaa voimat oikein vain noin puolessa voimakuvioista. Oppilailla esiintyneitä ongelmia olivat mm. taipumus piirtää voimakuvioihin vastavoimia liiketilasta riippumatta tai liikevoimia nopeusvektorin suunnassa tasaisessa ja hidastuvassa liikkeessä tai muita ylimääräisiä voimia. Voimakuvioista (esim. jääkiekko jäällä) saattoi myös puuttua voimia, kuten pinnan tukivoima. Lisäksi tutkittiin voimakuviot, joissa oppilaat olivat piirtäneet yhden tai useamman ylimääräisen voiman tai vastaavasti puuttui yksi tai useampi voima. Nämä tapaukset sisältävät myös voimakuviot, joissa oli piirretty vastavoimia. Transferkouluissa 22 %:ssa ja vertailukouluissa 45 %:ssa voimakuvioista oli sellaisia, joissa esiintyi ylimääräisiä tai puuttuvia voimia. Liikevoiman tulkinta voimakuviosta ei ollut tasaisen liikkeen tai kiihtyvän liikkeen tapauksissa selvää, koska liikkeen suunnassa joka tapauksessa vaikutti jokin todellinen voima. Ylimääräinen voima voitiin tulkita liikevoimaksi vain jäällä hidastuvassa liikkeessä olevalle kiekolle. Transferkouluissa 9 %:ssa ja vertailukouluissa 10 %:ssa kaikista näistä kiekon voimakuvioista esiintyi liikevoimaksi tunnistettava voima. Transferoppilaat olivat piirtäneet mukaan vastavoimia 4,7 %:ssa taulukon 6 - 5 voimakuvioista ja vertailukouluissa vastaava osuus oli 9,2 %. Kaikkiaan transferkouluissa 27 % ja vertailukouluissa 49 % voimakuvioista oli heikkoja tai muuten puutteellisia.

Transferkouluissa oppilaat osasivat siis tunnistaa voimat oikein selvästi paremmin kuin vertailukouluissa. Koska voimien tunnistamisessa ero oli tilastollisesti merkitsevä koulutyyppien välillä, on syntyneille eroille haettava selitystä erilaisesta opetuksesta. Tätä tarkastellaan myöhemmin luvussa 7.2.2.

### Voimien tunnistaminen opetusjaksossa FY4

Toisen opetusjakson FY4 alussa pidetyssä alkutestissä 4 oppilaat konstruivat kolme vuorovaikutuskaaviota ja voimakuviota samoissa fysikaalisissa tilanteissa kuin opetusjakson FY1 testissä 2. Taulukossa 6 - 6 on näiden voimakuvioiden frekvenssien ja suhteellisten frekvenssien jakautuminen eri kategorioihin. Laskennassa ovat mukana kaikki ne voimakuviot, joille oli konstruoitu vastaava vuorovaikutuskaavio.

TAULUKKO 6-6. Oppilaiden konstruomien voimakuvioiden jakautuminen kolmeen laatu-luokkaan transfer- ja vertailukouluissa opetusjakson FY4 alkutestissä 4.  $N$  on niiden oppilaiden lukumäärä, jotka olivat konstruineet ainakin yhden vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparin.

Voimakuvion laatu	Transferkoulut ( $N = 46$ )		Vertailukoulut ( $N = 26$ )	
	$f$	$f\%$	$f$	$f\%$
Erinomainen	80	59	25	34
Hyvä	34	25	21	28
Erinomainen tai hyvä	104	84	46	62
Heikko	22	16	28	38



Oppilaat olivat tunnistaneeet alkutestin 4 voimakuvioissa voimat hiukan paremmin sekä transferkouluiissa (84 % oikein) että vertailukouluiissa (62 % oikein) kuin ensimmäisen opetusjakson FY1 lopussa (transferkouluiissa 73 % ja vertailukouluiissa 51 % voimakuvioiden voimista oli tunnistettu oikein). Alkutestin voimien tunnistamisessa transferoppilaat olivat parempia kuin vertailuoppilaat, sillä ero koulutyyppeien välillä oli tilastollisesti merkitsevä, ja efektikoko oli pieni ( $\chi^2(1)=10,3$ ,  $p = 0,001$ ;  $V= 0,23$ ). Ero oli efektikooltaan sama myös opetusjakson FY1 lopputestissä.

Lopputesteissä 5 – 8 oppilaat konstruoivat seitsemän voimakuviota erilaisissa konteksteissa. Taulukossa 6 - 7 on esitetty näiden voimakuvioiden jakautuminen kolmeen laatuluokkaan. Laskennassa olivat mukana kaikki oppilaiden konstruoimat voimakuviot, joten tilastoyksikkönä on voimakuvio. Oppilaiden määrä vaihtelee tehtävän mukaan siten, että transferkouluiissa oli laskennassa mukana 37 - 48 ja vertailukouluiissa 26 - 30 oppilasta.

TAULUKKO 6-7. Oppilaiden konstruoimien voimakuvioiden (7) jakautuminen kolmeen laatuluokkaan transfer- ja vertailukouluiissa opetusjakson FY4 lopputesteissä 5 - 8.

Voimakuvion laatu	Transferkoulut		Vertailukoulut	
	<i>f</i>	<i>f</i> %	<i>f</i>	<i>f</i> %
Erinomainen	112	36	49	25
Hyvä	59	19	37	18
Erinomainen tai hyvä	171	55	86	43
Heikko	140	45	112	57

Voimakuviotehtävien sisäinen yhtenäisyys jäi kyseenalaiseksi, sillä kaikkiin voimakuviotehtäviin vastanneiden osalta Cronbachin *alfa* oli 0,665 alkutestin ja 0,642 lopputestin voimakuvioissa.

Opetusjakson FY4 voimakuviot olivat tasoltaan vaikeampia kuin opetusjaksossa FY1, joten voimakuvioiden laatuluokkien suhteellisten osuuksien vertaaminen alkutestiin ei ole mielekäästä. Transferoppilaat ovat tunnistaneeet voimat hiukan paremmin kuin vertailuoppilaat. Vertailuoppilaista alle puolet (43 %) tunnisti voimat oikein voimakuvioista, kun taas transferkouluiissa osatiin suurimmassa osassa voimakuvioista tunnistaa voimat oikein (55 %). Huomattavan suuri osa, noin puolet, kaikista oppilaista epäonnistui voimien tunnistamisessa. Edellä esiteltyjen aikaisempien tutkimustenkin mukaan voimien tunnistaminen on oppilaille haastava tehtävä voimakuvion konstruoinnissa. Edellä, opetusjaksossa FY1, pohdittiin jo syitä voimien heikkoon tunnistamiseen. Vaikeutta lisäävät vaativammat kontekstit, joissa esiintyy useampia vuorovaikutuksia ja voimia. Selvitin lisäksi, että vastavoimia esiintyi 1,0 %:ssa transferoppilaiden ja 4,8 %:ssa vertailukoulun oppilaiden konstruoimissa voimakuvioissa. Vastaavasti liikevoima esiintyi 19,8 %:ssa transferoppilaiden ja 32,1 %:ssa vertailuoppilaiden konstruoimissa voimakuvioissa. Liikevoima voitiin tunnistaa vain testeissä olleilla neljällä hidastuvassa liikkeessä olevalla kappaleella, koska muissa liikelajeissa liikkeen suunnassa vaikutti jo jokin todellinen voima.



Tilastollisten erojen analyysissä havaittiin lopputesteissä voimien tunnistamisessa tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli pieni ( $\chi^2(1) = 6,46$ ,  $p = 0,011$ ;  $V = 0,11$ ). Koulutyyppien välinen ero alkutestiin nähden on kaventunut. Tämä voi osaltaan johtua myös siitä, että voimakuviot ovat olleet oppilaille haastavampia ja altistaneet heidät väriin tulkintoihin kappaleeseen vaikuttavista voimista. Toinen mahdollinen syy on, että vaikka opetuksessa ja oppikirjoissa käytetään vuorovaikutuskaavioesitystä voimakuvion konstruoinnin tukena, niin testeissä sitä ei vaadittu eivätkä oppilaat sitä vapaaehtoisestikaan tehneet. Täten oppilaat eivät ole osanneet hyödyntää vuorovaikutuskaavion etuja parhaalla mahdollisella tavalla voimien tunnistamisessa konstruoidessaan voimakuviota.

Opetusjakson FY4 lopussa pidetyssä FCI<sub>28</sub>-testissä transferoppilaat ovat kuitenkin osanneet tunnistaa voimat hyvin seitsemässä verbaalisessa monivaihtotehtävässä, sillä 72 % ( $sd = 24$  %) voiman tunnistustehtävistä oli oikein. Ensimmäisen jakson alussa transferoppilaat osasivat näistä voimista tunnistaa vain 25 % ( $sd = 18$  %) oikein. On huomattava, että kaikki opetusjaksoissa olleet transferoppilaat eivät kuitenkaan olleet samoja, mutta heille kaikille on kuitenkin opetettu vuorovaikutuskaavion käyttö jo opetusjaksossa FY1, sillä kaksi kolmesta transferopettajasta on opettanut kouluissaan myös muut opetusryhmät ja myös kolmannessa transferkoulussa toinen fysiikan opettajista, joka ei ollut tutkimuksessa mukana, käytti vuorovaikutuskaaviota opetuksessaan.

#### 6.2.4 Oikean voimakuvion konstruointi

Oppilaiden N2. lain soveltamistaitoa voimakuvioissa tutkittiin vertaamalla niissä kokonaisvoiman vastaavuutta N2. lakiin. Voimakuvion vektorien pituuksien vertailussa on käytetty 2 mm erottelutarkkuutta, sillä sen arvioitiin olevan juuri silmällä erotettavissa. Useimmat oppilaat kuitenkin piirtävät voimakuviot vapaalla kädellä, käyttämättä viivoittimen mitta-asteikkoa hyväksi. Voimakuvio määritellään oikeaksi, kun voimakuviossa on voimat tunnistettu oikein ja kokonaisvoima vastaa tarkasteltavan kappaleen liiketilaa. Tämä toteutuu voimakuvioiden kategorioissa silloin, kun voimakuvio on luokiteltu erinomaiseksi. Oikeiden voimakuvioiden tilastollisten erojen analyysissä koulutyyppien välillä käytettiin khiin neliön  $\chi^2$  tilalla Mann-Whitneyn testiä ja korrelaatioefektikerrointa  $r$ , koska frekvenssit jäivät opetusjaksossa FY4 liian pieniksi täyttääkseen  $\chi^2$ :n ehdot.

#### Oikean voimakuvion konstruointi opetusjaksossa FY1

Taulukossa 6 - 8 on esitetty oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet eri liiketiloissa transfer- ja vertailukouluissa. Viimeisessä sarakkeessa on kaikkien loppustien oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet.

TAULUKKO 6-8. Opetusjakson FY1 lopputesteissä oikeiden voimakuvioiden suhteelliset frekvenssit eri liiketiloissa. *N* on niiden oppilaiden lukumäärä, jotka olivat konstruoineet ainakin yhden vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparin. Tilastoyksikkönä on voimakuvioiden lukumäärä (*n*).

Koulutyyppi	<i>N</i>	Lopputestien 1 - 3 voimakuviot						Kaikista VK erinomaisia %
		<i>n</i>	Lepo (3) %	<i>n</i>	Tasainen (2) %	<i>n</i>	Kiihtyvä (3) %	
Transfer	71	211	59	138	29	204	35	43
Vertailu	54	160	43	104	15	148	20	28

Transferoppilaat olivat osanneet kokonaisvoiman kaikissa voimakuvioissa paremmin (43 % voimakuvioista oikein) kuin vertailuoppilaat (28 % voimakuvioista oikein). Taulukossa 6 - 5 esitettyjen voimakuvioiden kolmessa laatuluokassa oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli pieni, kylläkin sen ylärajalla ( $\chi^2(2) = 51,57, p < 0,001; V = 0,23$ ).

Transferoppilaat olivat osanneet myös kaikissa sen eri liiketiloissa kokonaisvoiman useammin oikein kuin vertailuoppilaat. Lepotilassa oikeiden voimakuvioiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä ( $U = 14020, z = 3,15, p = 0,002; r = 0,16, 95 \% CI [0,063, 0,26]$ ). Samoin tasaisessa liikkeessä ( $U = 6140, z = 2,51, p = 0,012; r = 0,16; 95 \% CI [0,036, 0,28]$ ) ja kiihtyvässä liikkeessä ( $U = 12739, z = 4,79, p = 0,002; r = 0,17, 95 \% CI [0,061, 0,27]$ ) oikeiden voimakuvioiden välillä oli tilastollisesti merkitsevät erot koulutyyppien välillä. Efektikoko oli kaikissa liiketiloissa pieni. Kaikkien oikeiden voimakuvioiden osaamisessa liiketilasta riippumatta oli siten myös tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli pieni ( $U = 96823, z = 4,79, p < 0,001; r = 0,15, 95 \% CI [0,092, 0,22]$ ).

Kaikki oppilaat ovat osanneet kokonaisvoiman oikein levossa oleville kappaleille useammin kuin tasaisessa tai kiihtyvässä liikkeessä oleville kappaleille. Syynä tähän voi olla myös sen fysikaalisen tilanteen yksinkertaisuus, jossa tarkasteltavalla kappaleella on vähemmän vuorovaikutuksia. Tasaisessa liikkeessä olevalle kappaleelle oppilaat osasivat piirtää oikeita voimakuvioita heikoimmin molemmissa koulutyypeissä. Tämä saattaa johtua vahvasta virheellisestä käsityksestä (impetusperiaate), että tasaisessa liikkeessä olevaan kappaleeseen vaikuttaisi nopeuden suunnassa kokonaisvoima. Hidastuvassa liikkeessä olevan kappaleen oikean voimakuvion konstruointi saattoi sisältää seuraavia vaikeuksia: Oppilaat olivat piirtäneet ylimääräisen "liikevoiman" liukuvalla kiekolle, kuten edellä todettiin. Lisäksi Anna hississä oli kahden kappaleen tilanteena oppilaille vaativampi. Ensiksikin Annaan saattoi vaikuttaa ylimääräisiä voimia, kuten hissikorin vajerin vetovoima tai ilmanvastus. Toisaalta Annan ajateltiin olevan hissikorin suhteen levossa, joten kokonaisvoiman oletettiin olevan näin ollen nolla. Lisäksi tarkasteltiin sitä, kuinka paljon oli kussakin liikelajissa oikeiden voimakuvioiden osuus, jos voimat oli tunnistettu oikein voimakuvioissa. Transferkouluissa ja vertailukouluissa lepotilassa 71 % ja 64 %, tasaisessa liikkeessä 38 % ja 30 % sekä kiihtyvässä liikkeessä 59 % ja 61 % voimakuvioista oli oikein, kun voimat oli tunnistettu oikein. Kaikissa voimakuvioissa liikelajista riippumatta transferkouluissa oli 48 % voimakuvioista oikein ja

vertailukouluissa oli vastaavasti 46 % oikein, jos voimat oli oikein tunnistettu. Useimmat oppilaat eivät olleet osanneet soveltaa N2. lakia oikein tasaisessa liikkeessä olleiden kappaleiden voimakuvioissa, vaikka olivat tunnistaneetkin kappaleeseen kohdistuvat voimat oikein. Tämä voi osaksi johtua myös siitä, kuinka opettaja opetuksessaan korostaa voimavektoreiden suhteellisia pituuseroja voimakuvioita konstruoidessa.

### Oikean voimakuvion konstruointi opetusjaksossa FY4

Alkutestissä oli kustakin liikelajista yhden voimakuvion konstruointi. Taulukossa 6 - 9 on esitetty alkutestin oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet eri liikelajeissa transfer- ja vertailukouluissa. Laskennassa olivat mukana ne voimakuviot, joille oli konstruoitu myös vuorovaikutuskaavio samassa fysikaalisessa tilanteessa. Transferkouluissa osattiin kaikissa liikelajeissa konstruoida oikeita voimakuvioita paremmin kuin vertailukouluissa. Kaikissa kouluissa voimakuvio osattiin konstruoida oikein selvästi paremmin lepotilassa kuin tasaisessa ja kiihtyvässä liikkeessä. Heikointa voimavektorien suhteellisten suuruuksien osaaminen oli kiihtyvässä liikkeessä olevalle kappaleelle.

TAULUKKO 6-9. N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet eri liikelajeissa opetusjakson FY4 alkutestissä. *n* edustaa nyt sekä vastanneiden oppilaiden lukumäärää että voimakuvioiden lukumäärää.

Koulutyyppi	Alkutestin 4 oikeat voimakuviot					
	<i>n</i>	Lepo %	<i>n</i>	Tasainen %	<i>n</i>	Kiihtyvä %
Transfer	46	85	46	48	44	43
Vertailu	26	50	25	28	23	22

Konstruoitujen voimakuvioiden jakautuminen lopputesteissä 5 - 8 kolmeen kategoriaan on esitetty edellä olevassa taulukossa 6 - 7. Transferoppilaat osasivat soveltaa N2. lakia voimakuvioissa oikein (36 % oikeita voimakuvioita) paremmin kuin vertailuoppilaat (25 % oikeita voimakuvioita). Voimakuvioiden kategorioihin jakautumisessa oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä, ja efektikoko oli pieni ( $\chi^2(2) = 8,12, p = 0,017; V = 0,13$ ).

Lopputesteissä oppilaat konstruivat seitsemän voimakuvioita, joista yhdessä kappale oli lepotilassa ja yhdessä tasaisessa liikkeessä. Viidessä voimakuviossa kappale oli kiihtyvässä liiketilassa. Taulukossa 6 - 10 on esitetty oikeiden voimakuvioiden suhteelliset osuudet eri liiketilassa. Laskennassa olivat mukana kaikki oppilaiden konstruoidut voimakuviot. Oppilaat eivät olleet vastanneet kaikkiin kysytyihin testitehtäviin, joten ottamalla mukaan kaikki konstruoidut voimakuviot saatiin tutkittavien määrä suuremmaksi. Transferoppilaat ovat osanneet konstruoida oikeita voimakuvioita eri liiketilassa noin 10 % yksikköä paremmin kuin vertailuoppilaat. Tasaisen liikkeen oikeissa voimakuvioissa efektikoko oli pieni, vaikka ero koulutyyppien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $U = 588, z = 1,94, p = 0,053; r = 0,22, 95 \% CI [-0,033, 0,40]$ ). Kiihtyvän liikkeen oikeissa voimakuvioissa ( $U = 13190, z = 2,37, p = 0,018; r = 0,13, 95 \% CI [0,021, 0,23]$ ) ja kaikissa oikeissa voimakuvioissa liikelajista riip-

pumatta ( $U = 27320$ ,  $z = 2,66$ ,  $p = 0,008$ ;  $r = 0,12$ , 95 % CI [0,031, 0,20]) oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyypin välillä, ja efektikoko oli pieni.

TAULUKKO 6-10. Opetusjakson FY4 lopputesteissä N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden suhteelliset frekvenssit eri liiketiloissa.  $N$  ilmoittaa vastanneiden oppilaiden vaihteluvälin ja  $n$  voimakuvioiden lukumäärän.

Koulu- tyyppi	$N$	Lopputestien 5 - 8 oikeat voimakuviot						Kaikista VK erinomaisia %
		$n$	Lepo (1) %	$n$	Tasainen (1) %	$n$	Kiihtyvä (5) %	
Transfer	37-48	48	38	48	13	215	41	36
Vertailu	26-30	30	30	28	0	140	29	25

Sekä transferoppilaat että vertailuoppilaat osasivat lähes yhtä hyvin konstruoida oikeita voimakuvioita kiihtyvässä liikkeessä ja lepotilassa oleville kappaleille. Tasaisen liikkeen voimakuviossa vertailukoulun oppilaista kukaan ei kosnut sitä N2. lain mukaan oikein, ja myös transferkouluissa osaaminen jäi hyvin vähäiseksi (13 % oikein).

Kuten ensimmäisessäkin opetusjaksossa FY1 selvitin lisäksi, miten oppilaat osasivat esittää voimavektorit N2. lain mukaisesti oikein eli konstruoida oikean voimakuvion, jos he olivat ensin tunnistaneeet voimat oikein voimakuvioissa. Transferkouluissa ja vertailukouluissa kokonaisvoima oli N2. lain mukaisesti oikein niissä voimakuvioissa, joissa voimat oli kuitenkin oikein tunnistettu, seuraavasti: lepotilassa 53 % ja 41 %, tasaisessa liikkeessä 19 % ja 0 % ja kiihtyvässä liikkeessä 83 % ja 77 %. Kaikissa voimakuvioissa liikelajista riippumatta transferkouluissa 65 % ja vertailukouluissa 57 % voimakuvioista oli oikein, kun voimat oli tunnistettu oikein. Vaikka voimakuvioissa osattiin heikosti piirtää voimavektoreiden pituudet oikein, niin osaaminen on kuitenkin parantunut ensimmäisestä opetusjaksosta FY1 transferkouluissa 19 %-yksikköä ja vertailukouluissa 11 %-yksikköä niissä tapauksissa, joissa voimat oli oikein tunnistettu. Näin täytyy tietysti tapahtuakin, kun saman asian opetus toistuu. Oppilaat olivat kuitenkin opetusjaksossa FY4 fysiikan kurssin vapaaehtoisesti valinneita, joten voi kysyä: onko osaaminen kuitenkin riittävästi parantunut tällä osalla, tai onko opetuksessa kiinnitetty riittävästi huomiota voimavektoreiden pituuksien suhteellisiin eroihin?

### 6.2.5 Vuorovaikutuskaavioiden käytön vaikutus oppimiseen

Kolmessa seuraavassa luvussa tarkastellaan tuloksia, jotka liittyvät viidenteen tutkimuskysymykseen vuorovaikutuskaavioiden yhteydestä N3. lain oppimiseen, voimien tunnistamiseen ja oikean voimakuvion konstruointiin. Tarkastelu rajoittuu tässä vain opetusjaksoon FY1, koska opetusjakson FY4 testeissä oppilaat eivät konstruoineet kuin yhden vuorovaikutuskaavion yksittäisessä fysiikallisessa tilanteessa.

### Vuorovaikutuskaavioiden ja N3. lain oppimisen yhteys

Edellä olevassa luvussa 6.2.1, jossa tarkasteltiin vuorovaikutuskaavioiden käyttöä transfer- ja vertailukouluissa, vuorovaikutuskaavio oli kytketty saman oppilaan samassa fysikaalisessa tilanteessa konstruoimaan voimakuvioon. N3. lain ja voimakuvioiden yhteyttä tarkasteltaessa otetaan huomioon vain niiden oppilaiden osaaminen, jotka olivat konstruoineet kaikki kahdeksan vuorovaikutuskaaviota ja vastanneet kaikkiin N3. lain testitehtäviin. Koska tämä rajoitus on eri kuin taulukossa 6 - 2, niin näiden oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden suhteellinen jakautuminen eri laatuluokkiin opetusjaksossa FY1 esitetään taulukossa 6 - 11. Taulukossa 6 - 3 on vastaavasti jo esitetty samojen oppilaiden N3. lain tehtävien osaamista.

TAULUKKO 6-11. Oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden suhteellinen jakautuminen eri laatuluokkiin opetusjaksossa FY1. Laskennassa ovat mukana oppilaat, jotka vastasivat kaikkiin vuorovaikutuskaaviotehtäviin ja N3. lain tehtäviin. Tilastoyksikkö on vuorovaikutuskaavio, ja niiden lukumäärää kuvaa  $n$ .

Koulutyyppi	Vuorovaikutuskaavion laatuluokka				
	$N$	$n$	Erinomainen (%)	Hyvä (%)	Heikko (%)
Transfer	51	408	63	23	14
Vertailu	24	192	28	32	40

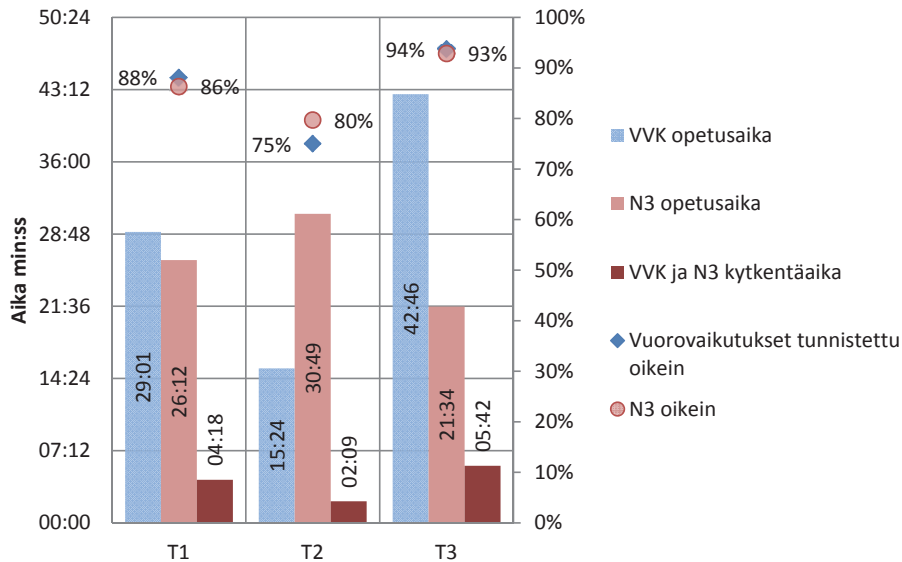
Vuorovaikutuskaavioiden laatuluokkiin jakautumisessa on edelleen samat tilastollisesti merkitsevät erot koulutyyppien välillä. Samoin myös sekä transferkoulujen että vertailukoulujen väleillä tilastollisesti merkitsevät erot ovat pysyneet samoina, kun niitä verrattiin pareittain. Kaikissa vertailuissa erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Efektikokojen suuruusluokka on myös säilynyt koulutyyppien ja koulujen välillä samana, joten rajoitus ei muuta vuorovaikutuskaavioiden tulosten luotettavuutta. Taulukon 6 - 11 vuorovaikutuskaavioiden jakautumassa oli tilastollisesti merkitsevä ero transferkoulujen ja vertailukoulujen välillä, ja efektikoko oli keskisuuri ( $\chi^2(2) = 72,9$ ,  $p < 0,001$ ;  $V = 0,35$ ).

Transferoppilaat konstruoivat siis paremmat vuorovaikutuskaaviot kuin vertailuoppilaat. He osasivat N3. lain voimaparien nimeämisessä ja voimaparien yhtäsuuruuden eri representaatioissa ja kaikkien N3. lain tehtävien kokoelmassa paremmin kuin vertailuoppilaat. Kaikissa muissa N3. lain tehtävyypeissä efektikoot olivat suuret, mutta vektorirepresentaatiotehtävässä efektikoko oli keskisuuri.

Molemmissa koulutyypeissä käytettiin opetuksessa samaa vuorovaikutuskaavioesitystä, ja kaikki oppilaat tekivät samat vuorovaikutuskaaviotehtävät ja N3. lain tehtävät, joten on perusteltua laskea korrelaatio transferkoulujen ja vertailukoulujen yhdistelmälle. Vuorovaikutusten ja N3. lain osaamisen välinen korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä (Spearmanin  $Rho = 0,402$ ,  $p < 0,001$ ), joten kaikkien oppilaiden aineistossa oppilaan käyttämällä vuorovaikutuskaavion laadulla ja N3. lain osaamisella on yhteys. Transferkouluissa ja vertailukou-

luissa erikseen tarkasteltuna ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota.

Erinomaisesta vuorovaikutuskaaviosta olettaisi olevan apua nimenomaan voimaparin nimeämisessä, koska tällöin vuorovaikutusviivan lisäksi suositeltiin vuorovaikutuskaaviossa esittämään lisäksi vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuus verbaalisessa representaatiossa. Testeissä oli tehtävä: kirja pöydällä, jolle oppilaat konstruivat vuorovaikutuskaavion ja nimesivät vielä voimakuvion voimat ja niille vastavoimat. Transferkouluissa oli osattu 60,0 % (21/35) molemmista voimapareista nimetä oikein ja 11,4 % (4/35) oli tapauksia, joissa vain toinen voimapareista oli oikein, jos vastaava vuorovaikutuskaavio oli erinomainen. Vertailukouluissa vastaavasti 25,0 % (2/8) molemmista voimapareista oli nimetty oikein ja 12,5 % (1/8) oli tapauksia, joissa vain toinen voimapareista oli oikein, jos kirjan vuorovaikutuskaavio oli erinomainen. Vertailukouluissa oli erinomaisia vuorovaikutuskaavioita vähän, joten frekvenssit jäivät pieniksi.



KUVIO 6-1. Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), N3. lain ja niiden yhteen kytketyt opetusajat opetusjaksossa FY1 sekä vastaavien testikysymysten oikeiden vastausten suhteelliset osuudet transferkouluissa T1, T2 ja T3.

Tarkastellaan lisäksi opetusajojen ja N3. lain oppimisen välistä yhteyttä transferkouluissa. Kuviossa 6 - 1 on esitetty transferopettajien vuorovaikutuskaavioiden, N3. lain ja niiden yhtäaikaiseen eli kytkennälliseen opetukseen käytetyt opetusajat opetusjaksossa FY1. Kuviossa 6 - 1 on lisäksi esitetty transferoppilaiden vuorovaikutusten tunnistamisen ja N3. lain tehtävien oikeiden vastausten osuudet testeissä. Kuten edelläkin osaaminen on laskettu oppilailta, jotka ovat vastanneet kaikkiin vuorovaikutuskaaviotehtäviin ja N3. lain tehtäviin. Transferkoulussa T3 on opetusjaksossa FY1 opetettu vuorovaikutuskaavioita enemmän (43 min) kuin transferkouluissa T1 (29 min) ja T2 (n. 15 min). Transfe-



ropettajat ovat käyttäneet vuorovaikutuskaavioiden opetusajasta suhteessa lähes yhtä suuren osan (13 - 15 %) vuorovaikutuskaavion ja N3. lain opetuksen toisiinsa kytkemiseen. Nämä käsitteet on useimmin kytketty toisiinsa transferopettajan T3 N3. lain opetuksessa, sillä siellä käytettiin vähiten aikaa N3. lain opetukseen (22 min). Transferkoulussa T1 ja T3 vuorovaikutukset oli tunnistettu hyvin (88 % ja 94 % oikein) ja siten paremmin kuin transferkoulussa T2 (75 % oikein), sillä pareittain vertailuissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero pienellä efektikoolla transferkoulun T2 kanssa (T1-T2:  $V = 0,17$  ja T2-T3:  $V = 0,25$ ). N3. laki oli kaikissa N3. lain tehtävissä osattu parhaiten transferkoulussa T3 (93 % oikein). N3. lain tehtävistä oli osattu transferkoulussa T1 86 % ja T2 80 % oikein. Mielenkiintoinen huomio on se, että vaikka N3. lain opetusaika on transferkoulussa T2 pisin, niin N3. lain oppiminen on kuitenkin heikoin. N3. lain osaamisessa ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä eroja transferkoulujen välillä.

Myös opetusaikojen ja N3. lain kaikkien tehtävien summamuuttujan välille laskettiin korrelaatiot. N3. lain opetusajan ja N3. lain osaamisen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota, mutta erikoista oli se, että korrelaatiokerroin oli negatiivinen (Spearmanin  $Rho = -0,256$ ,  $p = 0,064$ ). Kytkentäajan ja N3. lain osaamisen välillä ei ollut myöskään tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota (Spearmanin  $Rho = 0,256$ ,  $p = 0,064$ ). Vaikka varovasti arvioiden näyttäisi siltä, että vuorovaikutuskaavion opetusajalla ja vuorovaikutuskaavion kytkennällä N3. lain opetukseen olisi positiivinen vaikutus N3. lain oppimiseen, niin tällä aineistolla ei näin voi väittää.

Opetusjaksossa FY4 osattiin N3. laki kaikkien tehtävien kokoelmassa edelleen parhaiten transferkoulussa T3 (84 % oikein). Transferkoulussa T2 ja T1 oli 69 % ja 64 % N3. lain tehtävistä oikein. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Koska transferkoulussa T3 oli mukana vain vähän oppilaita (6), ei ole mielekäästä verrata opetusaikojen yhteyttä N3. lain osaamiseen. Lisäksi on vaikea, jopa mahdotonta, päätellä N3. lain osaamisen erojen syitä opetusjakson FY4 opetuksessa, koska opetusjakson FY1 opetuksen vaikutus oppilaiden N3. lain oppimiseen on jo olemassa ja oppimisen kehittyminen oli hyvin selvää. Mahdottomaksi vertailun tekee lisäksi se, että opetusjakson FY4 oppilaat olivat enimmäkseen eri oppilaita kuin opetusjaksossa FY1.

### **Vuorovaikutuskaavioiden ja voimien tunnistamisen yhteys**

Taulukoissa 6 - 12 ja 6 - 13 on esitetty oppilaiden konstruomien kahdeksan vuorovaikutuskaavion ja kahdeksan voimakuvion suhteellinen jakautuminen eri laatuluokkiin opetusjaksossa FY1. Vuorovaikutuskaaviot ja voimakuviot ovat aina pareittain samoista fysikaalisista tilanteista, joten tilastoyksikkönä käydetään konstruoitujen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparien lukumäärää  $n$ . Transferkoulussa oli kaikkiaan 553 ( $N = 75$ ) ja vertailukoulussa 412 ( $N = 57$ ) vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparia.



TAULUKKO 6-12. Transferkoulujen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparien jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY1. Suluissa oleva luku on parien lukumäärä.

Transfer		Voimakuvio (%)			Vuorovaikutuskaaviot yhteensä
		Heikko	Hyvä	Erinomainen	
Vuorovaikutuskaavio (%)	Heikko	11,4 (63)	2,4 (13)	3,1 (17)	16,8 (93)
	Hyvä	5,1 (28)	11,6 (64)	9,9 (55)	26,6 (147)
	Erinomainen	10,5 (58)	16,5 (91)	29,7 (164)	56,6 (313)
Voimakuviot yhteensä		26,9 (149)	30,4 (168)	42,7 (236)	100 % (553)

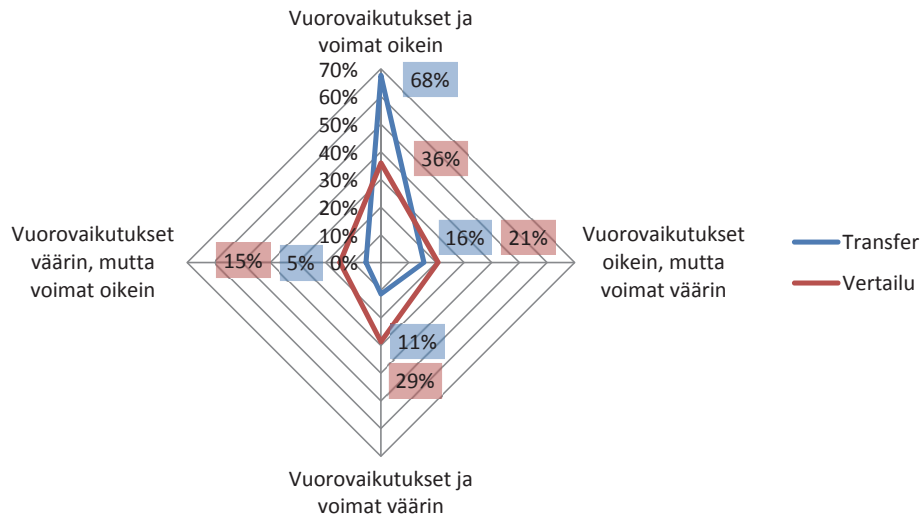
TAULUKKO 6-13. Vertailukoulujen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparien jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY1. Suluissa oleva luku on parien lukumäärä.

Vertailu		Voimakuvio (%)			Vuorovaikutuskaaviot yhteensä
		Heikko	Hyvä	Erinomainen	
Vuorovaikutuskaavio (%)	Heikko	28,6 (118)	6,6 (27)	8,3 (34)	43,4 (179)
	Hyvä	11,2 (46)	7,3 (30)	12,4 (51)	30,8 (127)
	Erinomainen	9,5 (39)	9,2 (38)	7,0 (29)	25,7 (106)
Voimakuviot yhteensä		49,3 (203)	23,1 (95)	27,7 (114)	100 % (412)

Vuorovaikutuskaavion laadulla oli tilastollisesti merkitsevä riippuvuus voimakuvion laatuun molemmissa koulutyypeissä. Transferkouluissa tämä vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion välinen tilastollinen riippuvuus oli efektikooltaan keskisuuri ( $\chi^2(4) = 106,7, p < 0,001; V = 0,31$ ). Vertailukouluissa vastaavasti tämä riippuvuus oli efektikooltaan pieni ( $\chi^2(4) = 42,3, p < 0,001; V = 0,23$ ).

Voimien tunnistamisen kriteerinä voimakuvioissa oli, että se kuuluu laatuluokkaan hyvä tai erinomainen (ks. luku 4.3.1). Vastaavasti vuorovaikutusten tunnistamisen kriteerinä vuorovaikutuskaavioissa oli, että se kuuluu laatuluokkaan hyvä tai erinomainen (ks. luku 4.3.1). Transferkouluissa oli vuorovaikutukset tunnistettu oikein 83,2 %:ssa vuorovaikutuskaavioista ja vertailukouluissa vastaavasti vuorovaikutukset oli 56,3 %:ssa tunnistettu oikein. Voimat oli transferkouluissa tunnistettu oikein 73,1 %:ssa voimakuvioista ja vertailukouluissa vastaavasti voimat oli 50,8 %:ssa tunnistettu oikein.

Kuviossa 6 - 2 on esitetty edellä mainittujen kriteerien mukaiset tulokset vuorovaikutusten ja voimien tunnistamisessa transfer- ja vertailukouluissa kaikkiin konstruoituihin vuorovaikutuskaavioihin ja voimakuvioihin suhteutettuina. Kuvion 6 - 2 ylhäällä näkyy, että transferkouluissa 68 % (374/553) kaikista voimakuvioista oli sellaisia, joissa sekä voimat oli tunnistettu oikein että myös parina olleessa vuorovaikutuskaaviossa oli vuorovaikutukset tunnistettu oikein. Vertailukouluissa vastaavasti 36 %:ssa (148/412) voimakuvioista oli voimat tunnistettu oikein ja myös vuorovaikutukset oli vastaavassa vuorovaikutuskaaviossa tunnistettu oikein. Muut prosenttiluvut saadaan vastaavalla tavalla taulukoiden 6 - 12 ja 6 - 13 avulla.



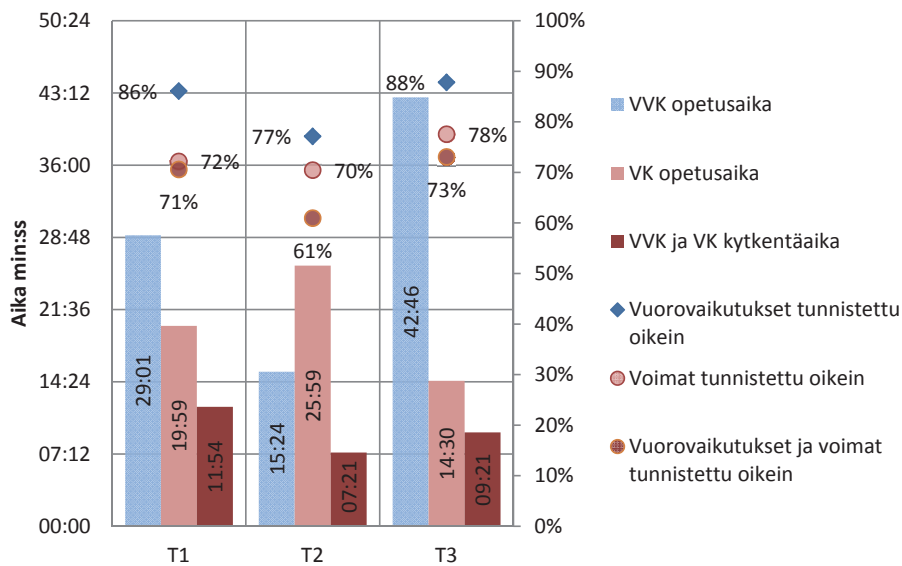
KUVIO 6-2. Vuorovaikutusten ja voimien tunnistaminen vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviopareissa opetusjaksossa FY1. Arvot on laskettu kaikkiin konstruoituihin vuorovaikutuskaavioihin tai voimakuvioihin suhteutettuina.

Kuviossa 6 – 2 on kuvattu, miten usein oppilaat ovat osanneet konstruoida tiettyihin laatuluokkiin kuuluvan vuorovaikutuskaavio- ja voimakuvioparin. Sen muodosta nähdään, että vuorovaikutusten ja voimien yhteys on opittu selvästi paremmin transferkouluihin kuin vertailukouluihin. Transferkouluihin vuorovaikutusten tunnistamisen ja voimien tunnistamisen yhteys suuntautuu enimmäkseen toivottuun suuntaan, mutta vertailukouluihin esiintyy melko tasaisesti erilaisia käsityksiä vuorovaikutusten yhteydestä voimien tunnistamiseen. Vertailukouluihin 21 % (118/412) tapauksista vuorovaikutukset oli saatettu tunnistaa oikein, mutta vastaavissa voimakuvioissa ei ollut osattu tunnistaa voimia oikein. Tämä kertoo osaltaan siitä, että viidesosa vertailuoppilasta ei ollut ymmärtänyt vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion yhteyttä voimien tunnistamisessa.

Tarkastellaan lisäksi mahdollisia tapauksia edellä olevissa taulukoissa. Jos oppilaat olivat tunnistaneet vuorovaikutukset oikein vuorovaikutuskaaviossa, tästä seurasi, että transferoppilaat tunnistivat myös voimat oikein 81,3 %:ssa vastaavista voimakuvioista (374/460) ja vastaavasti vertailuoppilaat tunnistivat voimat oikein 63,5 %:ssa voimakuvioista (148/233). Oli myös mahdollista tunnistaa voimat oikein ilman, että tunnistivat vastaavat vuorovaikutukset oikein (vuorovaikutuskaavio oli heikko). Näin tapahtui 7,4 %:ssa transferoppilaiden (30/404) ja 29,2 %:ssa vertailuoppilaiden (61/209) voimakuvioista, joissa voimat oli tunnistettu oikein, vaikka ei osattu tunnistaa vuorovaikutuksia.

Tarkastellaan, kuten edelläkin, myös opetusaikojen mahdollista vaikutusta voimien tunnistamiseen transferoppilaiden konstruoimissa voimakuvioita

opetusjaksossa FY1. Kuviossa 6 - 3 on esitetty transferopettajien vuorovaikutuskaavioiden, voimakuvioiden ja niiden yhtäaikaiseen eli kytkennälliseen opetukseen käytetyt opetusajat. Kuviossa 6 - 3 on lisäksi esitetty, miten hyvin transferoppilaat osasivat tunnistaa vuorovaikutukset ja voimat testitehtävissä. Osaaminen on laskettu kaikista oppilaiden konstruoimista vuorovaikutus- ja voimakuviopareista. Voimakuvioiden suurin opetusaikea transferkoulussa T2 ei näytä tuottavan parasta osaamista voimakuvion voimien tunnistamisessa. Transferkoulussa T3 oli käytetty selvästi enemmän aikaa vuorovaikutuskaavion opetukseen (43 min) kuin transferkoulussa T2 (n. 15 min), mutta vastaavasti vähemmän aikaa voimakuvion opetukseen (15 min) kuin transferkoulussa T2 (n. 26 min). Silti transferkoulussa T3 oli tunnistettu voimat paremmin (78 % oikein) kuin transferkoulussa T2 (70 % oikein). Transferkoulussa T1 oli tunnistettu voimat (72 % oikein) vain hiukan paremmin kuin transferkoulussa T2. Voimien tunnistamisessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja transferkoulujen välillä, mutta vuorovaikutusten tunnistamisessa transferkoulu T2 oli muita heikompi, jossa ero muihin transferkouluihin oli tilastollisesti merkitsevä, ja efektiivikoko oli pieni (T1-T2:  $V = 0,11$  ja T2-T3:  $V = 0,14$ ).



KUVIO 6-3. Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), voimakuvioiden (VK) ja niiden samanaikaiseen kytkentään käytetyt opetusajat sekä vastaavat oppimistulokset transferkoulussa T1, T2 ja T3 opetusjaksossa FY1.

Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden opetusajat transferkoulussa T1 ovat näiden kahden transferkoulun T2 ja T3 välissä siten, että vuorovaikutuskaavioiden opetusaikea on pienempi (29 min) ja voimakuvioiden opetusaikea suurempi (20 min) kuin transferkoulussa T3. Transferkoulussa T1 on opetuksessa käytetty vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden toisiinsa kytkentään eniten aikaa (12 min), eli 60 % voimakuvioiden opetukseen käytetystä ajasta.

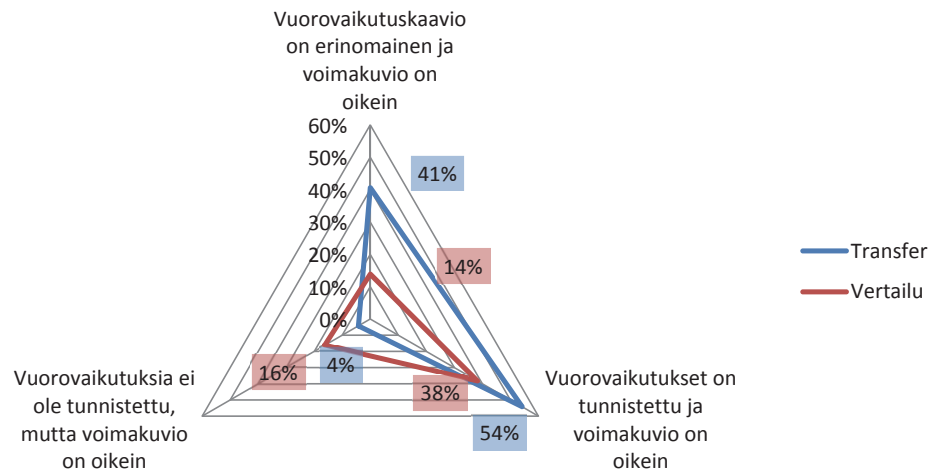
ta. Vastaavasti transferkouluiissa T2 ja T3 on käytetty vuorovaikutusten ja voimien väliseen kytkentään 28 % ja 64 % voimakuvioiden opetukseen käytetystä ajasta. Transferkouluiissa T1 ja T3, joissa kytkentäajan osuus voimakuvion opetusajasta oli selvästi suurempi kuin transferkoulussa T2, oppilas oli osannut tunnistaa samassa fyysisessä tilanteessa sekä vuorovaikutukset että voimat oikein 71 % ja 73 % kaikista voimakuvioista, kun vastaava osuus transferkoulussa T2 oli 61 %.

Opetusaikojen ja kaikissa voimakuvioissa oikein tunnistettujen voimien suhteellisten osuuksien välille laskettiin myös korrelaatio. Voimien tunnistamisen ja voimakuvion opetusajan välillä havaittiin itse asiassa negatiivinen korrelaatiokerroin (Spearmanin  $Rho = -0,110$ ,  $p = 0,407$ ). Voimien tunnistamisen ja kytkentäajan välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota (Spearmanin  $Rho = 0,076$ ,  $p = 0,570$ ). Täten voimakuvioiden opetusajalla eikä myöskään vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden kytkentäajalla näytä aineiston pohjalta arvioituna olevan yhteyttä voimien tunnistamisen oppimiseen. Varovaisesti arvioiden voitaneen päätellä, että pelkästään runsaalla voimakuvion opetusajalla ei saavuteta parasta voimien tunnistamiskykyä.

### **Vuorovaikutuskaavioiden ja oikean voimakuvion yhteys**

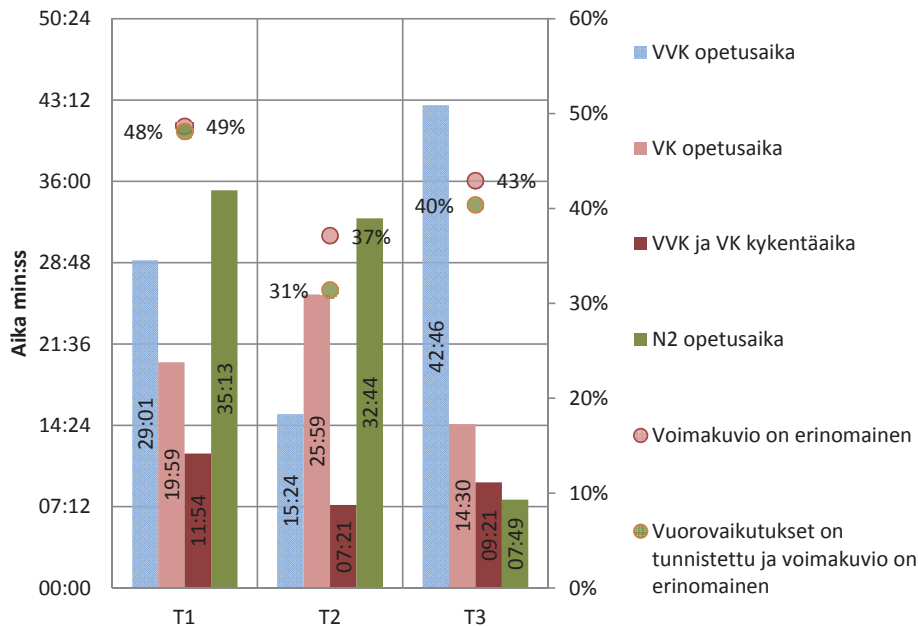
Oikeassa voimakuviossa voimien tunnistamisen lisäksi pitää kokonaisvoiman vastata N2. lain mukaan liiketilaa. Tällöin voimakuvion pitää olla laadultaan erinomainen, jolloin se tulkitaan oikeaksi (ks. luku 4.3.1). Transferoppilaat olivat konstruoineet oikeita voimakuvioita 42,7 % ja vertailuoppilaat vastaavasti 27,7 % kaikista voimakuvioista. Lisäksi transferoppilaat olivat yhdistäneet 92,8 % (219/236) erinomaisista voimakuvioista oikein tunnistettuihin vuorovaikutuksiin, kun vastaavasti vertailukouluiissa 70,2 % (80/114) erinomaisista voimakuvioista liittyi oikein tunnistettuihin vuorovaikutuksiin. Erinomainen vuorovaikutuskaavio ei ollut riittävä ehto oikealle voimakuvionille, sillä vain 52,4 % (164/313) transferoppilaiden ja 27,4 % (29/106) vertailuoppilaiden erinomaisista vuorovaikutuskaavioista johti oikeaan voimakuvioon.

Kuviossa 6 - 4 on lisäksi esitetty vuorovaikutuskaavion laadun ja oppilaiden konstruoimien oikeiden voimakuvioiden suhteelliset frekvenssit eri tapauksissa sillä ehdolla, että voimat on kuitenkin voimakuvioissa tunnistettu ensin oikein (transferkouluiissa 404 ja vertailukouluiissa 209). Tapauksia, joissa oppilaat olivat tunnistaneet vuorovaikutuskaaviossa vuorovaikutukset oikein (hyvä tai erinomainen vuorovaikutuskaavio) ja olivat osanneet konstruoida pariksi myös oikean voimakuvion kaikista niistä voimakuvioista, joissa voimat oli tunnistettu oikein, oli transferkouluiissa 54 % (219/404) ja vertailukouluiissa 38 % (80/209). Ero oli vielä suurempi transferoppilaiden eduksi tilanteissa, joissa vuorovaikutuskaavio oli erinomainen. Silloin transferoppilaat tuottivat oikeita voimakuvioita 41 % (164/404) ja vertailuoppilaat 14 % (29/209) niistä voimakuvioista, joissa voimat oli tunnistettu oikein.



KUVIO 6-4. Vuorovaikutusten tunnistamisen ja oikeiden voimakuvioiden yhteydet eri tapauksissa vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviopareissa opetusjaksossa FY1. Frekvenssit on suhteutettu niihin voimakuvioihin, joissa voimat oli kuitenkin tunnistettu oikein.

Transferkoulujen vuorovaikutuskaavioiden, voimakuvioiden, näiden kytkennän sekä N2. lain opetusaikojen ja N2. lain mukaisten, oikeiden voimakuvioiden oppimistulokset opetusjaksossa FY1 on esitetty kuviossa 6 - 5. N2. lain opetusaika sisältää myös liikeyhtälön avulla ongelmien ratkaisemisen opettamiseen käytettyä aikaa. Tässä tutkitaan pelkästään sitä, onko N2. lakia sovellettu oikein voimakuvioissa, joten opetusajan vaikutuksesta oikean voimakuvion konstruointiin ei voi vetää nyt johtopäätöksiä. Lisäksi laskettiin opetusaikojen ja N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden summan välille korrelaatioita. Voimakuvion opetusajan ja oikean voimakuvion osaamisen välillä ei havaittu yhteyttä (Spearmanin  $Rho = -0,131$ ,  $p = 0,323$ ), kuten ei myöskään vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion opetuksen kytkentäajan ja oikean voimakuvion osaamisen välillä havaittu yhteyttä (Spearmanin  $Rho = 0,227$ ,  $p = 0,084$ ). Eikä N2. lain opetusajan ja oikean voimakuvion osaamisen välillä (Spearmanin  $Rho = 0,161$ ,  $p = 0,223$ ) myöskään havaittu yhteyttä. Erikoista on jälleen se, että voimakuvion opetusajan pituus vaikuttaa negatiivisesti oikean voimakuvion oppimiseen.



KUVIO 6-5. Vuorovaikutuskaavioiden (VVK), voimakuvioiden (VK), niiden samanaikaiseen kytkennän ja N2. lain opetusajat sekä N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden oppimistulokset transferkouluissa opetusjaksossa FY1.

Kuviosta 6 - 3 nähtiin, että transferkoulussa T1 oli tunnistettu vuorovaikutukset oikein 86 %:ssa ja voimat 72 %:ssa vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviopareista. Lisäksi edellä olleesta kuviosta 6 - 3 nähtiin, että transferkoulussa T1 voimien oikea tunnistus liittyi läheisimmin vuorovaikutusten oikeaan tunnistamiseen. Samoin näyttää kuvion 6 - 5 mukaan vuorovaikutusten oikea tunnistaminen liittyvän parhaiten transferkoulussa T1 myös erinomaisen voimakuvion osamiseen (48 %). Sitä, johtuuko oppilaiden oikean voimakuvion konstruointi vuorovaikutuskaavion käytöstä tai voimakuvion ja N2. lain opetusajoista, ei tämän aineiston analyysin perusteella voi arvioida.

### 6.3 Lopputestin tulokset transferkouluissa

Toisen opetusjakson lopussa transferoppilaat vastasivat FCI<sub>28</sub>-testin monivalintatehtäviin. Testi oli sama kuin ensimmäisen opetusjakson alussa. Taulukossa 6 - 14 on esitetty kaikkien FCI<sub>28</sub>-tehtävien ja erikseen N2. lain, N3. lain ja voimien tunnistamiseen liittyvien tehtävien oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit ja keskihajonnat.

TAULUKKO 6-14. Transferoppilaiden FCI lopputestin tulokset kaikissa 28 tehtävässä ja erikseen eri aihealueissa. Tulokset sisältävät oikeiden vastausten suhteellisten frekvenssien keskiarvot ja suluissa olevan keskihajonnan (*sd*).

Transfer- koulu	<i>N</i>	Lopputesti % ( <i>sd</i> )	N2. laki, $\sum \bar{F} = \bar{0}$ , % ( <i>sd</i> )	N2. laki, $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$ , % ( <i>sd</i> )	N3. laki % ( <i>sd</i> )	Voimien tunnistus % ( <i>sd</i> )
T1	14	73 (20)	80 (31)	71 (29)	84 (25)	78(21)
T2	29	74 (16)	91 (16)	61 (31)	96 (10)	73 (25)
T3	6	64 (12)	71 (29)	53 (24)	96 (10)	57 (24)
Yhteensä	49	73 (17)	85 (23)	63 (30)	92 (16)	72 (24)

Vaikka useimmat oppilaat FCI<sub>28</sub>-alku- ja lopputesteissä eivät olleet samoja, niin alkutestin (taulukko 6 - 1) mittaamaa mekaniikan osaamista voidaan pitää oppilaiden yleisenä tasona, kun he aloittavat lukio-opiskelunsa (ks. luku 6.1). Koska FCI-testi on yleisesti tunnettu ja siitä on saatavilla vertailutuloksia, voidaan arvioida opetusjakson onnistumista oppilaiden saavuttaman oppimisen pohjalta. Kaikilla tutkimuksen aihealueilla on tapahtunut selvää oppimisen kehittymistä, ja kaikkien testikysymysten mukainen mekaniikan oppiminen on lisääntynyt, eli lopputestissä oikeiden vastausten oli 73 %, kun se aiemmin oli 30 %. Oppimisen kehitys on ollut voimakkainta N3. lain voimaparin yhtäsuuruuden oppimisessa (kasvu 25 %:sta 92 %:iin) ja toiseksi voimakkainta N2. lain  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  oppimisessa (kasvu 23 %:sta 85 %:iin). N2. lain  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$  oppiminen on jäänyt muihin nähden heikommaksi (kasvu 30 %:sta 63 %:iin).

FCI<sub>28</sub>-testien jakaumat eivät noudattaneet normaalijakaumaa useimmilla osaamisen alueilla (Kolmogorov-Smirnov testi: N2  $\sum \bar{F} = \bar{0}$   $z = 2,587$ ,  $p < 0,01$ ; N3  $z = 3,193$ ,  $p < 0,01$  ja voimien tunnistus  $z = 1,415$ ,  $p = 0,037$ ). Transferkoulujen välisessä vertailussa havaittiin, ettei kaikissa FCI<sub>28</sub>-tehtävissä eikä myöskään N2. lain, N3. lain tai voimien tunnistamisen osaamisessa ollut tilastollisesti merkitseviä eroja transferkoulujen välillä (K-W testi: Lopputesti  $z = 2,64$ ,  $p = 0,267$ ; N2  $\sum \bar{F} = \bar{0}$   $z = 3,42$ ,  $p = 0,181$ ; N2  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$   $z = 2,15$ ,  $p = 0,342$ ; N3  $z = 2,75$ ,  $p = 0,253$  ja voimien tunnistus  $z = 3,64$ ,  $p = 0,162$ ). Transferkouluissa oppiminen kehittyi siis lähes samalle tasolle ja transferoppilaat saavuttivat N2. lain, N3. lain ja voimien tunnistamisen oppimisessa hyvän oppimistason, kun transferoppilaiden osaamista verrataan lähes 400 Suomen lukiolaisen FCI-testin mittaamaan osaamiseen vastaavan kurssin opetuksen jälkeen. Jauhiaisen ym., (2001, 2006) tutkimuksessa käytetylle aineistolle on saatu käyttöluva, ja sen mukaan oppilaat osasivat vastata keskimäärin 58 %:ssa (*sd* = 21 %) FCI-testin 30 kysymyksestä oikein. Vastaavasti oppilaat osasivat eri aihealueissa siten, että N2  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  laissa 61 % (*sd* = 33 %), N2  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$  laissa 53 % (*sd* = 26 %), N3. laissa 60 % (*sd* = 34 %) ja voimien tunnistamisessa 53 % (*sd* = 30 %) tehtävistä oli oikein (Jauhiaisen ym., 2001, 2006).

Molemmissa opetusjaksoissa FY1 ja FY4 oli mukana 16 transferoppilasta. He vastasivat FCI<sub>28</sub>-tehtäviin opetusjakson FY1 alussa ja opetusjakson FY4 loppussa. Taulukossa 6 - 15 on esitetty heidän eri aihealueiden osaamisensa FCI<sub>28</sub>-



alku- ja lopputesteissä sekä normeeratut kasvutekijät eri aihealueita käsittelevissä tehtävissä.

TAULUKKO 6-15. Molemmille opetusjaksoille osallistuneiden transferoppilaiden osaaminen kaikissa FCI<sub>28</sub>-tehtävissä ja sen eri aihealueissa alku- ja lopputestissä. Alku- ja lopputestien väliltä on esitetty myös normeeratut kasvutekijät ja Haken mukainen tulkinta opetuksen onnistumiselle.

Tehtävät	Alkutesti (% oikein)	Lopputesti (% oikein)	Kasvutekijä G	Tulkinta
FCI <sub>28</sub>	35,7	73,2	0,58	keskisuuri
N2 laki, $\sum \bar{F} = \bar{0}$ (4)	29,7	82,8	0,76	suuri
N2 laki, $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$ (5)	43,8	65,0	0,38	keskisuuri
N3 laki (4)	28,1	89,1	0,85	suuri
Voimien tunnistus (7)	26,8	71,4	0,61	keskisuuri

Nämä 16 transferoppilasta osasivat FCI<sub>28</sub>-alkutestissä hiukan paremmin (35,7 % oikein) kuin kaikki transferoppilaat, jotka saivat alkutestissä 30,3 % tehtävistä oikein. Lopputestissä 16 oppilaan osaaminen oli samanlaista kuin kaikkien transferoppilaiden, eli tehtävistä 73 % oli oikein. Täten näiden 16 oppilaan kehittyminen mekaniikan osaamisessa edustaa keskiarvoltaan hiukan pienempää normeerattua kasvutekijää ( $G = 0,58$ ) kuin kaikkien transferoppilaiden kasvutekijä. Kaikkien transferoppilaiden kasvutekijää ei voida laskea, koska kaikki oppilaat eivät olleet alku- ja lopputestissä samoja.

## 7 TUTKIMUSTULOSTEN JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUKSEN POHDINTAA

Seuraavaksi tutkimustuloksista kootaan yhteenveto ja tarkastellaan niitä siitä näkökulmasta, miten ne vastaavat luvussa 3 määriteltyihin viiteen tutkimuskysymykseen ja samalla saatuja tutkimustuloksia verrataan aikaisempiin tutkimuksiin. Luvussa 7.2 tarkastellaan myös tutkimustulosten merkitystä N3. lain, voimien tunnistamisen ja oikean voimakuvion konstruoinnin oppimisen kannalta ja esitellään tutkimuksesta saadut johtopäätökset. Luvussa 7.3 pohditaan tutkimuksen suunnittelun ja toteutuksen onnistumista ja opetuksessa havaittuja ongelmia. Luvussa 7.4 tarkastellaan tutkimuksen luotettavuutta ja uskottavuutta. Kahdessa viimeisessä luvussa pohditaan vuorovaikutuskaavion käytön etuja ja esitellään jatkotutkimusaiheet.

### 7.1 Tutkimustulosten yhteenveto ja vertailu

Tutkimusongelmana oli selvittää, miten vuorovaikutuskaavion käyttö auttaa oppilasta oppimaan voimakäsitteen, jota tarkastellaan Newtonin 3. lain, voimien tunnistamisen ja oikean voimakuvion konstruoinnin näkökulmasta. Tutkimusongelmaa lähestyttiin viiden tutkimuskysymyksen avulla, jotka olivat seuraavat:

- 1. Miten oppilaat oppivat konstruoimaan vuorovaikutuskaavion transfer-kouluissa ja vertailukouluissa ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?**

Vuorovaikutuskaavioiden konstruoinnissa oli koulutyyppeiden välillä eroja sekä kolmen laadullisen kategorian luokittelussa että vuorovaikutusten tunnistamisessa. Vuorovaikutuskaavioiden laadullisessa käytössä oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppeiden välillä ja efektikoko oli keskisuuri. Myös vuorovaiku-

tusten tunnistamisessa oikein oli koulutyyppien välillä tilastollisesti merkitsevä ero efektikoon jäädessä juuri ja juuri pieneksi.

Vuorovaikutuskaaviot osattiin konstruoida transferkouluissa selvästi paremmin kuin vertailukouluissa. Yli puolet (57 %) transferoppilaiden konstruointia vuorovaikutuskaavioista oli erinomaisia, kun vain noin neljäsosa (26 %) vertailuoppilaiden konstruointia vuorovaikutuskaavioista oli erinomaisia.

Transferoppilaat tunnistivat myös vuorovaikutukset konstruoinnissaan vuorovaikutuskaavioissa paremmin, sillä he osasivat tunnistaa vuorovaikutukset oikein 83 %:ssa tapauksista, kun vertailuoppilaat olivat tunnistaneet vuorovaikutukset oikein 57 %:ssa tapauksista. Vuorovaikutuskaavioiden käytön jakautuminen eri kategorioihin transferkouluissa ja vertailukouluissa on esitetty taulukossa 6 - 2. Sieltä nähdään, että molemmissa koulutyypeissä jäi kuitenkin parantamisen varaa vuorovaikutuskaavioiden konstruointitaitoihin. Vertailuoppilaiden vuorovaikutuskaavioista jäi liian paljon heikoiksi tai puutteellisiksi (43 %), kun taas transferoppilailla oli heikkoja tai puutteellisia vuorovaikutuskaavioita 17 %, joten oppimista voitaneen pitää jo hyvänä.

Myös opetusjaksossa FY4 transferoppilaat konstruivat yhdessä tehtävissä parempia vuorovaikutuskaavioita kuin vertailuoppilaat (ks. Liite 11).

Siitä, millaisia vuorovaikutuskaavioita tai vuorovaikutusten representaatioita oppilaat voimakäsitteen opetuksen yhteydessä konstruivat, ei ole aikaisempia tutkimuksia saatavilla.

Muista mekaniikan opetuksessa käytettävistä erilaisista representaatioista on luettavissa myös julkaisussa Savinainen, Nieminen, Mäkynen ja Viiri (2013b).

## **2. Miten oppilaat osasivat Newtonin 3. lain transferkouluissa ja vertailukouluissa?**

a) **Ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1** transferoppilaat osasivat N3. lain kaikissa N3. lain oppimista testaavissa kysymyksissä paremmin kuin vertailuoppilaat. Tulokset on esitetty taulukossa 6 - 3.

Transferoppilaat vastasivat kaikista N3. lain tehtävistä 86 % oikein, kun vastaavasti vertailuoppilaat saivat tehtävistä 52 % oikein. N3. lain tehtävien osaamisessa oli koulutyyppien välillä tilastollisesti merkitsevä ero ja efektikoko oli suuri.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös N3. lain osaamista eri representaatioissa olevissa tehtävissä. Transferoppilaat osasivat N3. lain myös kaikissa eri representaatiotehtävissä paremmin kuin vertailuoppilaat. N3. lain osaamisessa eri representaatiotehtävissä oli koulutyyppien välillä vastaavasti tilastollisesti merkitsevät erot. Verbaalisessa representaatioissa esitettyjen tehtävien osaamisessa ja voimaparin nimeämisessä efektikoko oli suuri. Vektorirepresentaatioissa efektikoko oli keski-suuri.

Verbaalisissa tehtävissä transferoppilaat osasivat N3. lain oikein 93 %:ssa tehtävistä, kun vastaavasti vertailuoppilaat osasivat oikein 56 %. Transferoppilaiden kehittyminen FCI<sub>28</sub>-alkutestin ja lopputestien N3. lain verbaalisissa teh-

tävissä edusti Haken (1998a) luokittelussa korkeaa osaamista ( $G = 0,9$ ) ja myös efektikoko oli suuri.

Formica, Easley ja Spraker (2010) ovat päässeet Just in Time Teaching (JiTT) -opetusmetodilla lukio- ja yliopisto-opiskelijoiden interventioryhmässä FCI:n N3. lain tehtävien osaamisessa normeerattuun kasvutekijään 0,51. Vertailuryhmässä kasvutekijäksi tuli 0,066.

James ja Scharmann (2007) käyttivät opetuksessaan työkaluna analogioita tiedon rakentamisessa. Luokanopettajaksi opiskelevat opiskelijat olivat opiskelleet vähän, vain muutaman kurssin tai ei yhtään kurssia, fysiikkaa lukiossa. Lopputesti pidettiin 7 viikkoa opetuksen jälkeen. Interventioryhmässä N3. lain FCI-tehtävien osaaminen parani alkutestin 27,6 %:n oikeiden vastausten osuudesta lopputestin 53,8 % osuuteen. Vertailuryhmän osaaminen parani vastaavasti 30,0 %:sta 40,8 %:iin. Niistä laskettiin interventioryhmälle kasvutekijäksi  $G = 0,36$  ja vertailuryhmälle  $G = 0,15$ .

Savinainen ym. (2005) ovat käyttäneet lukio-opiskelijoiden FY1 kurssin opetuksessaan vastaavanlaista visuaalista representaatiota, jota he nimittävät siltarepresentaatioksi. Lisäksi opetuksessa oli kiinnitetty huomiota myös luokahuoneen sosiaalisiin vuorovaikutuksiin. Interventioryhmässä N3. lain FCI-tehtävien osaamisessa oli normeeratuksi kasvutekijäksi saatu  $G = 0,91$  (Savinainen ym., 2005). Aikaisemmassa opetusinterventiossa tutkija käytti opetuksessaan ICI (Interactive Conceptual Instruction)-lähestymistapaa, mutta opetuksessa ei käytetty visuaalista representaatiota vuorovaikutusten havainnollistamiseen. Lukion aloittavat IB-oppilaat osasivat alkutestissä 24 % ja lopputestissä 75 % ( $G = 0,67$ ) FCI:n N3. lain tehtävistä oikein (Savinainen & Scott, 2002).

Edellä mainittujen tutkimusten N3. lain oppimisen tulokset FCI-testin monivalintatehtävissä on esitetty taulukossa 7 - 1. Verrattaessa tämän tutkimuksen tuloksia näiden tutkimusten tuloksiin, voidaan tehdä kaksi johtopäätöstä. Lukion ensimmäisellä pakollisella fysiikan kurssilla, jolle osallistuvat kaikki lukion opiskelijat, on transferkouluihin päästy opetusjakson suunnitelman ja siinä painotetun vuorovaikutuskaavion käytön avulla erittäin hyvään N3. lain oppimiseen. Saavutettu oppimistulos (93 % oikein) on tasoltaan parempi kuin muilla opetusmetodeilla on saavutettu, ja se on samansuuntainen kuin Savinainen ym. (2005) tutkimuksessa. Toiseksi myös vertailukoulut, joissa käytettiin harvemmin vuorovaikutuskaavioita opetuksessa kuin transferkouluihin, pääsivät lopputestien N3. lain osaamisessa hyvälle tasolle (56 % oikein ja  $G \sim 0,38$ ; jos lähtötaso oletetaan samaksi kuin transferkouluihin). Oppiminen on vertailukouluihin ollut lievästi parempaa kuin analogioihin perustuvassa opetuksessa (James & Scharmann, 2007).

Näin ollen vuorovaikutuskaaviosta saattaa kevyessäkin käytössä olla enemmän hyötyä N3. lain oppimiseen kuin pelkällä opettajan puheella vuorovaikutuksista. Samalla on myös todettava, että pelkkä vuorovaikutuskaavion kevyt käyttö opetuksessa, ilman työkalun monien ominaisuuksien esittelyä tai sen käyttöön motivoimista, ei välttämättä paranna oppilaiden N3. lain kokonaisvaltaista oppimista.

N3. lain osaamisen tutkimustuloksia on esitetty myös julkaisuissa Savinainen, Mäkynen, Nieminen ja Viiri (2012) ja (2013d), joista jälkimmäistä ei ole vielä julkaistu.

TAULUKKO 7-1. Neljän muun tutkimuksen esittämän N3. lain osaaminen FCI-lopputestin monivalintatehtävissä verrattuna transferoppilaiden oppimiseen. Tulokset on esitetty sekä kontekstuaalisen koherenssin osalta eli kaikki 4 tehtävää oikein (Savinainen ym., 2005) että oikeiden vastausten prosentuaalisina osuuksina. Jauhiaisen ym. (2001) tutkimusaineistosta on laskettu oikeiden N3. lain vastausten keskiarvoprosentti.

Tutkimus	Jauhiaisen ym. (2001, 2006)	Formica ym. (2010)	James & Scharmann (2007)	Savinainen ym. (2005)	Tämä tutkimus (2013)
N	386	129	23	23	49
opiskelijat	Lukio	Yliopisto	Aloittavat luokanopettajaopiskelijat	Lukio	Lukio
Opetusmenetodi	Perinteinen	JiTT-opetus	Analogia-perustainen pedagogia	Silta-analogia ja representaatio (SRI-diagrammi)	Vuorovaikutuskaavio siltarepresentaationa voimakäsitteeseen
Kaikki 4 N3. kysymystä oikein	28 %	32 %	-	78 %	78 %
N3. kysymyksistä on oikein	60,3 %	-	53,8 %	93,5 %	92,3 %
kasvutekijä G	-	0,51	0,36	0,91	-

b) **Toisen vuositason opetusjaksossa FY4** transferoppilaat osasivat edelleen N3. lain kaikissa oppimista testaavissa kysymyksissä sekä myös eri representaatioissa paremmin kuin vertailuoppilaat. Transferoppilaat osasivat 69 % tehtävistä oikein, kun vertailuoppilaat osasivat vastaavasti 42 % oikein. Tulokset on esitetty taulukossa 6 - 4. Heikoimmin osattiin N3. lain voimaparin nimeäminen, sillä transferoppilaat osasivat nimetä alle puolet (49 %) ja vertailuoppilaat vain 10 % voimapareista oikein. Sama havainto voitiin nähdä myös opetusjaksossa FY1, jossa oppilaat osasivat voimaparin tunnistamisen heikoiten, kuten aikaisempien tutkimusten (Bryce & MacMillan, 2005; Hestenes ym., 1992) mukaan saattoi odottaakin. Sen sijaan erilaisia representaatioita sisältävät tehtävät osattiin hiukan paremmin kuin verbaliset tehtävät.

Transferoppilaiden saavuttamaa N3. lain osaamista FCI:n neljässä verballisessa tehtävässä voidaan verrata taulukossa 7 - 1 esitettyihin aikaisempien tutkimusten tuloksiin. Vertailusta voidaan todeta, että ensiksikin transferkouluissa on N3. lain oppimisessa saavutettu erittäin hyvä taso. Jauhiaisen ym. (2001, 2006) tutkimuksessa oli vastaavan fysiikan kurssin opetuksen jälkeen osattu 60 % N3. lain tehtävistä oikein, kun transferoppilaat osasivat 92 % N3. lain tehtävistä oikein. Perinteisellä opetuksella eikä myöskään edellä esitellyillä

JiTT- tai analogiaperustaisella opetuksella ei päästä yhtä hyviin N3. lain oppimisen tuloksiin.

### 3. Miten oppilaat oppivat tunnistamaan kappaleeseen kohdistuvat voimat transferkouluiissa ja vertailukouluiissa?

a) **Ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1** transferkoulujen oppilaat olivat osanneet tunnistaa voimat erilaisissa fysikaalisissa tilanteissa konstruomis- saan voimakuvioissa paremmin kuin vertailukoulujen oppilaat, sillä transfe- roppilaista 73 % ja vertailuoppilaista 51 % osasi tunnistaa voimat oikein. Voimi- en tunnistamisessa koulutyyppien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä ja efektikoko oli pieni.

Transferoppilaiden osaamista voimien tunnistamisessa voidaan pitää hy- vänä, sillä FCI<sub>28</sub>-alkutestin verbaalisista monivalintatehtävistä oppilaat olivat osanneet 26 % voiman tunnistustehtävistä oikein. Lopputesteissä oppilaiden voimien tunnistusta mitattiin heidän konstruomisesta voimakuvioista, mitä voi- daan pitää verbaalista vaativampana representaationa. Tästä huolimatta osaa- misen kehittymistä voimien tunnistamisessa edusti keskisuuri normeeratun kasvutekijän arvo ( $G = 0,63$ ) ja efektikoko oli suuri.

Vastaavia tutkimuksia, joihin oppilaiden voimien tunnistamisen osaamis- ta voimakuvioissa voisi verrata, on vähän. Lisäksi aihetta, jossa tutkitaan vuoro- vaikutusten havainnollistamisen vaikutusta oppilaiden voimien tunnistami- sen ja oikean voimakuvion konstruoinnin osaamiseen ei ole aikaisemmin tutkit- tu. Täten tutkimus antaa uutta tietoa vuorovaikutusten merkityksestä lukio- opiskelijoiden voimien tunnistamisen ja voimakuvion konstruoinnin taidoista.

Monessa tutkimuksessa tarkastelu painottuu enemmänkin ongelmatehtä- vien ratkaisujen osaamiseen, ja kuinka voimakuvioita on käytetty siinä avuksi. On kuitenkin joitakin tutkimuksia, joihin osaamista voidaan verrata. Tällaisia ovat useissa tutkimuksissa esitetyt FCI-testien tulokset, voimakuvioissa esiinty- viä ylimääräisiä tai puuttuvia voimia käsittelevät tutkimukset (Whiteley, 1996; Heckler, 2010) ja lähimpänä tätä tutkimusta olevat Rosengrantin ym. (2009) ja Ayeshin ym. (2010) ongelmanratkaisutaitoja käsittelevät tutkimukset.

Rosengrantin ym. (2009) tutkimuksessa yliopisto-opiskelijoille opetettiin algebrapohjainen fysiikan kurssi ISLE-opetusmenetelmällä (Investigative Science Learning Environment), jonka oleellisena piirteenä on opettaa opiskeli- joita esittämään fysikaalinen ilmiö monipuolisia representaatioita käyttäen. Voimakuvion piirtämisessä käytettiin apuna fysikaalista tilannetta esittävää kuviota, joka tyypillisesti piirretään ennen voimakuviota. Kuviosta tunnistettiin kappaleeseen kohdistuvat etä- ja kosketusvuorovaikutukset ja kehoitettiin piir- tämään jokaista vuorovaikutusta vastaava voimavektori voimakuvioon. Näin ollen kappaleeseen kohdistuvien voimien tunnistamisen opetuksessa otettiin huomioon vuorovaikutukset, mutta varsinaista vuorovaikutuskaaviota opetta- jat eivät käyttäneet. Ongelmanratkaisun yhteydessä keskimäärin 58 % opiskeli- joista konstruoi mekaniikan ongelmatehtävissä (12) voimakuvioita, jotka tutki- jat olivat luokitelleet samantyyppisillä kriteereillä kolmeen kategoriaan. Heidän

tuloksistaan opiskelijoiden konstruoimille voimakuvioille laskettiin jakauma näihin kolmeen kategoriaan, jotka on esitetty taulukossa 7 - 2. Voimakuvion konstruointi ongelmanratkaisun yhteydessä oli opiskelijoille vapaaehtoista, joten opiskelija ei ollut laskennassa mukana, jos hän ei ollut esittänyt voimakuvioita.

TAULUKKO 7-2. Rosengrantin ym. (2009, Taulukko IV, s. 6) tutkimuksesta laskettujen mekaniikan ongelmatehtävien yhteydessä konstruoitujen voimakuvioiden suhteellinen jakautuminen kolmeen kategoriaan. Suluissa olevat luvut ovat frekvenssejä.

	Erinomainen	Hyvä	Heikko
1. ja 2. vuoden opiskelijat (N = 245)	37 % (192/513)	49 % (250/513)	14 % (71/513)

Rosengrantin ym. (2009) tutkimustulosten mukaisesta opiskelijoiden konstruointien voimakuvioiden jakaumasta nähdään, että opiskelijat, jotka käyttivät voimakuvioita apuna ongelmanratkaisussa, olivat tunnistaneeet voimat oikein 86 %:ssa voimakuvioista, jotka he olivat konstruoineet ongelmanratkaisun yhteydessä. Transfer- ja vertailuoppilaiden osaaminen oli tasoltaan heikomppaa kuin Rosengrantin tutkimuksessa, mutta vertailun luotettavuutta heikentävät mm. tutkimuksen erilainen konteksti, erilaiset tehtävät ja niiden fysikaalisen tilanteen erilainen vaikeus sekä tarkasteltavan otoksen valinnassa tehty rajoitus, oppilaiden ikä ja opiskelutaso.

Ayesh ym. (2010) esittävät vastaavanlaisesta tutkimuksestaan tuloksia, jossa 85 % yliopistotason opiskelijoista konstruoi voimakuvion ongelmanratkaisun yhteydessä, heistä 30 % konstruoi oikean, mutta puutteellisen voimakuvion ja 32 % konstruoi voimakuvion täysin oikein. Vaikka transferoppilaat tunnistiivat voimat voimakuvioissa heikommin kuin Rosengrantin ym. (2009) tutkimuksessa, niin heidän osaamisensa oli kuitenkin tasoltaan parempi kuin Ayeshin ym. (2010) tutkimuksessa.

Savinaisen ja Scottin (2002) tutkimuksessa oli mukana lukion aloittavia IB-oppilaita, joille mekaniikan kurssi oli opetettu ICI -lähestymistapaa käyttäen. IB-oppilaat olivat osanneet FCI:n voimia käsittelevistä tehtävistä alkutestissä 19 % oikein ja lopputestissä vastaavasti 79 % oikein. Transferoppilaat osasivat lähes yhtä hyvin tunnistaa voimat oikein konstruomisissaan voimakuvioissa. Voimakuvion konstruointia voidaan kuitenkin pitää oppilaalle ehkä vaativampana tehtävänä kuin voiman tunnistamista verbaalisessa monivalintatehtävässä. Lisäksi IB-oppilaat, vaikka heillä oli suomalainen opetussuunnitelma, ovat valikoidumpi joukko oppilaita kuin tässä tutkimuksessa olleet yleislukiolaiset.

Toisena ongelmana vertailussa oli löytää testitehtävät, jotka vastaisivat tätä tutkimusta. Hecklerin (2010) tutkimuksessa oli mukana vastaava fysikaalinen tilanne, jossa kiekko liukuu jäällä. Ryhmässä, jossa oppilaita oli kehoitettu piirtämään voimakuvio ennen ongelmanratkaisua, 20 % oppilaista piirsi kiekon voimakuvioon ylimääräisenä voimana ns. "liikevoiman". Vastaavasti Whiteleyn (1996) tutkimuksessa 72 % ensimmäisen vuoden lukiolaisista (Advanced Level physics students) oli piirtänyt kitkattomalla pinnalla vakionopeudella liukuvan kappaleen voimakuvioon voimavektorin liikkeen suunnassa. Tässä



tutkimuksessa 14,5 % transferoppilaista ja 13,7 % vertailuoppilaista piirsi liikevoimaksi tulkitun ylimääräisen voiman hidastuvassa liikkeessä olevalle kiekolle. Mukaan on laskettu vain ne voimakuviot, joille oppilas oli konstruoinut myös vuorovaikutuskaavion. Molemmissa koulutyypeissä virheellisen liikevoiman käyttö oli hiukan vähäisempää kuin Hecklerin tutkimuksessa ja selvästi vähäisempää kuin Whiteleyn alkutestissä. Whiteleyn tutkimuksen oppilaat olivat opiskelleet fysiikkaa ilmeisesti enemmän kuin lukiolaiset Suomen opetussuunnitelman mukaan.

Voimakuvion konstruointiin liittyviin tutkimustuloksiin voi tutustua myös julkaisuissa Savinainen, Mäkynen, Nieminen ja Viiri (2013a) ja Savinainen, Mäkynen ja Viiri (2013c).

**b) Toisen vuositason opetusjaksossa FY4** oppilaita pyydettiin konstruoimaan voimakuvioita vaativammassa fysikaalisissa tilanteissa, mikä on otettava huomioon, kun oppilaiden voimien tunnistamisen osaamista verrataan osaamiseen opetusjaksossa FY1. Transferoppilaat osasivat tunnistaa voimat voimakuvioissa oikein hiukan paremmin (55 % oikein) kuin vertailuoppilaat (43 % oikein). Voimien tunnistamisen osaamisessa oli tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppien välillä ja efektikoko oli pieni. Koulutyyppien välinen ero oli voimien tunnistamisen osaamisessa kuitenkin kaventunut sekä opetusjaksoon FY1 että opetusjakson FY4 alkutestiin nähden. Liikevoima esiintyi nyt useammin virheellisenä käsityksenä hidastuvan liikkeen tilanteissa kuin opetusjaksossa FY1. Transferoppilailla liikevoimaksi tulkittava ylimääräinen voima esiintyi 20 %:ssa ja vastaavasti vertailuoppilailla 32 %:ssa kaikissa hidastuvalle kappaleelle konstruoiduissa voimakuvioissa.

Transferoppilailla esiintyi nyt liikevoima voimakuvioissa virheellisenä käsityksenä lähes yhtä usein kuin Hecklerin (2010) tutkimuksessa, mutta molemmissa koulutyypeissä liikevoiman esiintyminen oli kuitenkin huomattavasti vähäisempää kuin edellä mainitussa Whiteleyn (1996) tutkimuksessa. Opetusjaksossa FY4 liikevoiman esiintyminen laskettiin neljästä eri fysikaalisessa tilanteesta konstruoidusta voimakuviosta, kun vertailututkimuksissa liikevoiman esiintyminen oli laskettu vain yhdessä tilanteessa.

Rosengrantin ym. (2009) ja Ayeshin ym. (2010) tutkimuksissa rajoitetun opiskelijajoukon osaaminen voimien tunnistamisessa (86 % ja 62 % oikein) oli parempi kuin transferoppilailla (55 % oikein), mutta vertailua rajoittavat jo edellä mainitut puutteet.

Transferoppilaat osasivat FCI<sub>28</sub>-testin seitsemässä voimien tunnistustehtävässä tunnistaa voimat oikein 72 %:ssa tehtävistä. Jauhaisen ym. (2001) tutkimuksessa oppilaat osasivat vastata vastaavan perinteisesti opetetun kurssin jälkeen FCI-testin voimien tunnistamistehtävistä 53 % (*sd* = 30 %) oikein. Savinainen ja Viirin (2008) tutkimuksessa lukio-oppilaat osasivat FCI-lopputestin viidessä tehtävässä (5, 11, 18, 29 ja 30) tunnistaa kosketusvoimat siten, että 55 % oppilaista sai kaikki 5 tehtävää oikein, vähintään 2/5 tehtävistä oli oikein 39 %:lla ja sitä vähemmän oikein sai 6 % oppilaista. Tutkija oli itse toteuttanut FY4 kurssia vastaavan opetuksen ICI-opetusmetodilla ja opetuksessa oli paino-

tettu myös vuorovaikutuksen käsitettä voimakäsitteen yhteydessä. Vastaaviin tuloksiin ylsi 29 %, 62 % ja 10 % transferoppilaista.

Transferoppilaat olivat osanneet tunnistaa FCI<sub>28</sub>-testissä voimat paremmin kuin laajassa suomalaisten lukiolaisten tutkimuksessa (Jauhiainen ym., 2001). Transferoppilaiden osaaminen ei kuitenkaan yltänyt yhtä hyvään tulokseen, kuin Savinaisen ja Viirin (2008) tutkimuksessa päästiin.

#### **4. Miten oppilaat oppivat konstruoimaan oikean voimakuvion transferkouluissa ja vertailukouluissa?**

a) **Ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1** transferoppilaat osasivat konstruoida N2. lain mukaisesti oikeita voimakuvioita paremmin kuin vertailuoppilaat, sillä transferoppilaat saivat 43 % ja vertailuoppilaat 28 % voimakuvioista oikein. Tilastollisesti merkitsevä ero koulutyyppejen välillä oli kuitenkin efektikooltaan pieni. Koulutyyppejen välillä oli oikeiden voimakuvioiden osaamisessa myös kaikissa eri liikelajeissa tilastollisesti merkitsevät erot, ja efekti-koot olivat pienet.

Lepotilassa oleville kappaleille osattiin parhaiten konstruoida oikea voimakuvio (transferkouluissa 59 % oikein ja vertailukouluissa 43 % oikein). Heikointen osattiin konstruoida voimakuvio oikein tasaisessa liikkeessä, sillä transferkouluissa oli 29 % oikeita voimakuvioita ja vertailukouluissa 15 %. Kaikista voimakuvioista, joissa oppilas oli tunnistanut voimat oikein, oli transferkouluissa konstruoitu 48 % oikeita voimakuvioita ja vertailukouluissa 46 %. Näin ollen vain alle puolet oppilaista osasi konstruoida oikean voimakuvion, vaikka he osasivat tunnistaa kaikki kappaleeseen kohdistuvat voimat oikein.

Rosengrantin ym. (2009) tutkimuksessa rajoitettu joukko yliopisto-opiskelijoista konstruoi ISLE-opetuksen jälkeen kaikkiaan 37 % oikeita voimakuvioita, mikä kertoo heikommasta osaamisesta kuin transferkouluissa, mutta osaaminen on ollut kuitenkin parempaa kuin vertailukouluissa. Tutkimuksen tulosten laskennassa olivat mukana vain opiskelijat, jotka olivat ongelmanratkaisun yhteydessä käyttäneet voimakuviota apuna, ja siitä johtuu myös nimitys rajoitettu joukko. Ayeshin ym. (2010) vastaavanlaisessa tutkimuksessa 32 % yliopisto-opiskelijoista osasi konstruoida voimakuvion oikein, joka on vain hiukan parempi kuin vertailuoppilaiden 28 %:n osaamistaso. Vertailussa täytyy ottaa huomioon lisäksi lukio-opiskelijoiden alhaisempi opiskelutaso ja mahdollisesti erilaiset fysikaaliset tilanteet, joissa voimakuviot on konstruoitu.

Whiteleyn (1996) tutkimuksessa 43 % lukiotason oppilaista oli piirtänyt ilmassa vakionopeudella putoavalle kivelle suuremman voiman alaspäin kuin ylöspäin, ja pöydällä lepotilassa olevalle kivelle 25 % oppilaista oli piirtänyt erisuuret voimavektorit. Tässä tutkimuksessa oli kolme tarkasteltavaa kappaletta lepotilassa, ja niiden voimakuvioissa transferoppilaat olivat osanneet tasapainottaa voimat oikein 59 %:ssa ja vertailuoppilaat 43 %:ssa tapauksista. Vastaavasti tasaisessa liikkeessä olevien kappaleiden voimakuvioissa voimavektorit olivat N2. lain mukaan oikein transferkouluissa vain 29 %:ssa ja vertailukouluissa 15 %:ssa voimakuvioista. Tulokset on esitetty taulukossa 6 - 8. Tässä tut-

kimuksessa osaaminen on ollut molemmissa koulutyypeissä heikompaa kuin Whiteleyn tutkimuksessa, mutta vertailussa on otettava huomioon, että voimakuviot on tässä tutkimuksessa analysoitu vääriksi myös silloin, kun alaspäin tasaisessa liikkeessä olevaan kappaleeseen kohdistuu suurempi voima ylöspäin kuin alaspäin. Lisäksi Whiteleyn tutkimuksessa otoksessa oli keskitasoa parempia oppilaita ja he olivat saaneet enemmän fysiikan opetusta, kuin vastaavassa iässä olevat lukiolaiset Suomessa. Molemmissa tutkimuksissa on kuitenkin tehty sama havainto, että tasaisessa liikkeessä on osattu heikommin konstruoida voimakuvio oikein kuin levossa tai kiihtyvässä liikkeessä.

b) **Toisen vuositason opetusjaksossa FY4** transferoppilaat osasivat konstruoida oikeita voimakuvioita paremmin kuin vertailuoppilaat. Transferkouluissa 36 % ja vertailukouluissa 25 % kaikista voimakuvioista oli N2. lain mukaisesti oikein. Oikean voimakuvion konstruoinnissa oli koulutyyppien välillä tilastollisesti merkitsevä ero ja efektikoko oli pieni.

Kuten opetusjaksossa FY1 niin myös nyt osattiin heikoiten konstruoida voimakuvio oikein kappaleelle, joka oli tasaisessa liikkeessä (ks. taulukko 6 - 10). Transferkouluissa osattiin konstruoida oikeita voimakuvioita lähes yhtä hyvin kuin Rosengrantin ym. (2009) tutkimuksessa, jossa 37 % voimakuvioista oli oikein.

Se, kuinka hyvin oppilaat osaavat konstruoida N2. lain mukaisesti oikean voimakuvion, riippuu myös siitä, miten ja kuinka paljon opettaja kiinnittää huomiota oikean voimakuvion opetukseen. Transferoppilaiden osaamista FCI<sub>28</sub>-testin N2. lain tehtävien eri tapauksissa  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  ja  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$  voidaan verrata Jauhiaisen ym. (2001, 2006) samansisältöisen kurssin jälkeiseen osaamiseen suomalaisissa lukioissa. Taulukossa 6 - 14 esitettyjen tulosten mukaan transferoppilaat osasivat vastata 85 % oikein N2. lain  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  tehtävissä ja 63 % oikein N2. lain  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$  tehtävissä. Transferoppilaat olivat oppineet ne paremmin kuin noin 400 lukiolaista, sillä Jauhiaisen ym. (2001) tutkimuksessa vastaavat tulokset olivat 61 % ja 53 % oikein. Molemmissa tutkimuksissa oppilaat osasivat N2. lain paremmin, jos tarkasteltava kappale oli levossa tai tasaisessa liikkeessä kuin kiihtyvässä liikkeessä. Verbaalisissa tehtävissä tulos oli siis erilainen kuin opetusjaksojen FY1 ja FY4 voimakuvioissa, mikä tukee aikaisempien tutkimusten (Meltzer, 2005; Nieminen ym., 2010) havaintoa siitä, että oppiminen on riippuvainen tehtävän representaatiosta.

Savinaisen ja Viirin (2008) tutkimuksessa oppilaat osasivat vastaavan mekaniikan kurssin jälkeen N2. lain verbaalisissa FCI-tehtävissä tasoltaan paremmin kuin transferoppilaat. N2. lain  $\sum \bar{F} = \bar{0}$  tehtävissä 86 % oppilaista oli saanut kaikki 4 oikein, 14 % oppilaista ainakin 2 oikein ja 0 % korkeintaan 1 oikein, kun taas tässä tutkimuksessa vastaavat osuudet transferoppilailta olivat 33 %, 17 % ja 2 %. N2. lain  $\sum \bar{F} \neq \bar{0}$  tehtävissä 43 % oppilaista oli saanut kaikki 3 oikein, 24 % oppilaista sai 2 oikein ja 33 % sai korkeintaan 1 oikein, kun taas tässä tutkimuksessa vastaavat osuudet olivat 23 %, 9 % ja 20 %. Normeerattu kasvutekijä G olisi parempi vertailukohta, koska siinä tulisi huomioitua myös oppilaiden osaaminen ennen opetusta, mutta sitä ei tutkimuksessa ollut mainittu.

## 5. Onko transferkoulujen ja vertailukoulujen

### a) Newtonin 3. lain osaamisella yhteyttä vuorovaikutuskaavion osaamiseen?

Aikaisemmin ei ole tutkittu sitä, miten vuorovaikutusten havainnoillistamiseen käytetty visuaalinen representaatio voisi opetuksessa vaikuttaa oppilaiden N3. lain osaamiseen, voimien tunnistamiseen tai oikean voimakuvion konstruointiin. Tämän tutkimuksen tulokset viidennessä tutkimuskysymyksessä antavat siten uutta tietoa, eikä vertailu muihin tutkimuksiin ole siten mahdollista.

N3. lain osaaminen näyttää olevan yhteydessä oppilaan käyttämän vuorovaikutuskaavion laatuun, sillä opetusjakson FY1 kaikkien transfer- ja vertailuoppilaiden aineistossa havaittiin vuorovaikutuskaavioiden ja N3. lain osaamisen välillä tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Osaamisen erot olivat N3. lain eri representaatiotehtävissä ja kaikkien tehtävien kokoelmassa samanlaiset siten, että transferoppilaat osasivat N3. lain paremmin kuin vertailuoppilaat. Samoin transferoppilaat osasivat konstruoida laadullisesti parempia vuorovaikutuskaavioita kuin vertailuoppilaat. Opetusjakson FY1 oppilaiden vuorovaikutuskaavioiden ja N3. lain osaamisen tulokset on esitetty taulukoissa 6-2 ja 6-3.

### b) Onko voimien tunnistamisen osaamisella yhteyttä vuorovaikutuskaavion osaamiseen?

Laadukkaan vuorovaikutuskaavion käyttö johtaa parempaan voimakuvioon, ja vastaavasti heikko vuorovaikutuskaavio johtaa heikkoon voimakuvioon. Tämä havaittiin molemmissa koulutyypeissä, joissa vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion laadulla todettiin olevan tilastollisesti merkitsevä riippuvuus ( $p < 0,001$ ). Transferkouluihin efektiivisyys oli keskiarvo ja vertailukouluihin pieni. Tulokset on esitetty taulukoissa 6 - 12 ja 6 - 13. Transferoppilaat olivat tunnistaneet kappaleen vuorovaikutukset oikein 83,2 % ja voimat oikein 73,1 % vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviopareista. Vastaavasti vertailuoppilaat tunnistivat kappaleen vuorovaikutuksista 56,3 % ja voimista 50,8 % oikein. Jos oppilas tunnistoi kappaleen vuorovaikutukset oikein, niin tällöin transferoppilaat tunnistivat myös voimat oikein 81,3 % vastaavissa voimakuvioissa, kun vastaavasti vertailuoppilaat tunnistivat voimista 63,5 % oikein. Kuviosta 6 - 2 nähdään myös, että transferkouluihin vuorovaikutusten parempi tunnistaminen näyttää johtavan selvästi useammin oikeiden voimien tunnistamiseen voimakuvioissa kuin vertailukouluihin.

### c) Onko oikean voimakuvion konstruoinnin osaamisella yhteyttä vuorovaikutuskaavion osaamiseen?

Laadukkaan vuorovaikutuskaavion käyttö näyttää siis johtavan paitsi oikeaan voimien tunnistamiseen voimakuviossa, ja se voi johtaa myös erinomaiseen eli oikeaan voimakuvioon. Transferoppilaat olivat konstruoineet 56,6 % erinomaisia vuorovaikutuskaavioita ja 42,7 % erinomaisia voimakuvioita. Lisäksi näistä vuorovaikutus- ja voimakuviopareista 29,7 % oli sellaisia, joissa molemmat oli-

vat erinomaisia. Vastaavasti vertailuoppilaat konstruoivat 25,7 % erinomaisia vuorovaikutuskaavioita ja 27,7 % erinomaisia voimakuvioita ja vain 7,0 % vuorovaikutus- ja voimakuviopareista oli sellaisia, joissa molemmat olivat erinomaisia. Oikean voimakuvion ensimmäinen edellytys on, että oppilas osaa tunnistaa voimat oikein voimakuvioon. Kuviossa 6 - 4 on esitetty, miten vuorovaikutuskaavion laatu vaikuttaa oikean voimakuvion konstruointiin, kun oppilas on ensin tunnistanut voimat voimakuviossa oikein. Tällöin transferkouluiissa on osattu konstruoida oikea voimakuvio selvästi useammin kuin vertailukouluiissa, kun vastaava vuorovaikutuskaavio on ollut vähintään hyvä tai erinomainen.

## 7.2 Tutkimustulosten merkitys ja johtopäätökset

### 7.2.1 Newtonin 3. lain oppiminen

Monien tutkimusten mm. (Brown, 1989; Hellingman, 1989, 1992; Hestenes ym., 1992; Bao ym., 2002) mukaan oppilailla on vaikeuksia ymmärtää N3. lakia, ja tutkijat ovat vahvasti suositelleet sen opettamista vuorovaikutuskäsitteen pohjalta. Tähän suositukseen tässä tutkimuksessa vastataan käyttämällä opetuksessa vuorovaikutuskaaviota.

Tämän tutkimuksen molemmissa koulutyypeissä oli käytössä vuorovaikutuksen käsitettä havainnollistava vuorovaikutuskaavio, mutta transferoppilaat olivat saaneet korostetumman ja kenties monipuolisemman opetuksen vuorovaikutuksen käsitteestä voiman ja Newtonin lakien opetuksen aikana kuin vertailuoppilaat. Transferopettajien kokonaisopetusaika opetusjaksossa FY1 oli noin oppitunnin (45 min) verran pidempi kuin vertailukouluiissa ja opetuksen suunnitelmassa käsiteltiin vuorovaikutuskaavioita ja N3. lakia useilla harjoitustehtävillä, joita oppilaat pohtivat ryhmissä keskustellen.

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat edellä mainittujen tutkijoiden käsitystä vuorovaikutuskäsitteen merkityksestä N3. lain opetuksessa, sillä transferoppilaat konstruoivat parempia vuorovaikutuskaavioita ja osasivat myös N3. lain sen eri representaatioissa selvästi paremmin kuin vertailuoppilaat.

Transferoppilaat oppivat N3. lain symmetrian verbaalisissa ja eri representaatiotehtävissä (vektori, diagrammi ja graafinen) lähes yhtä hyvin molemmissa opetusjaksoissa. Erilaisten representaatioiden osaamisessa havaittiin kuitenkin koulutyyppien välillä eroja. Lisäksi vertailuoppilaat osasivat molemmissa opetusjaksoissa eri representaatioissa esitetyt N3. lain tehtävät keskiarvoltaan paremmin kuin verbaalisessa representaatioissa esitetyt tehtävät. Tämä tulos on ehkä yllättävä, mutta toisaalta se on yhtenevä aikaisempien tutkimusten (Meltzer, 2005; Nieminen ym., 2010) mainitseman oppimisen representaatioriippuvuuden kanssa.

Lisäksi molemmissa koulutyypeissä osattiin voimaparin nimeäminen N3. lain tehtävistä heikoimmin, vaikka erinomaisessa vuorovaikutuskaaviossa vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuutta korostetaan visuaalisuuden lisäksi myös verbaalisella representaatiolla. Tulokset kuitenkin antavat aiheutta olettaa, että

ensiksikin erinomaisen vuorovaikutuskaavion käytön osuus tukee voimaparin nimeämisen osaamista. Transferoppilaat konstruoivat opetusjaksossa FY1 pöydällä olevalle kirjalle (Liite 2, tehtävä 2.1) 61 % erinomaisia vuorovaikutuskaavioita ja osasivat vastaavasti nimetä voima- ja vastavoimapareista 62 % oikein. Vertailukouluissa kirjan vuorovaikutuskaavioista oli vastaavasti 24 % erinomaisia ja voima- ja vastavoimapareista oli 20 % oikein. Jos opettaja oivaltaa tämän vuorovaikutuskaavion tarjoaman hyödyn ja käyttää sitä tehokkaasti opetuksessaan, niin on ehkä mahdollista päästä vielä parempaan osaamiseen voiman ja vastavoiman tunnistamisessa. Toiseksi epäilyksi siitä, että verbaaliset monivalintatehtävät eivät välttämättä paljasta oppilaan kokonaisvaltaista ymmärrystä N3. laista, saa vahvistusta. Tämä tutkimus tarjoaa siten uutta tietoa N3. lain voima- ja vastavoimaparien tunnistamisesta, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005) on tarkasteltu N3. lain osaamista vain verbaalisissa representaatioissa.

*Tämän tutkimuksen N3. lain oppimistulosten mukaan näyttää vahvasti siltä, että vuorovaikutuskaavion huolellinen ja toistuva käyttö opetuksessa auttaa oppilasta ymmärtämään voiman käsitteen vuorovaikutuksista käsin ja oppimaan siten N3. lain paremmin.*

Johtopäätöstä tukee ensiksikin se, että vuorovaikutusten ja N3. lain osaamisessa saatiin samansuuntaiset tulokset ja niiden välillä havaittiin riippuvuus. Transferoppilaat osasivat konstruoida laadullisesti paremmat vuorovaikutuskaaviot ja heidän osaaminen N3. lain tehtävissä oli parempi kuin vertailukouluissa. Lisäksi opetusjaksossa FY1 kaikkien oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden laadun ja N3. lain osaamisen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Transferoppilaiden N3. lain oppimisen kehitystä opetuksessa tarkasteltiin myös FCI<sub>28</sub>-testin avulla. Kahden opetusjakson jälkeen transferoppilaat osasivat FCI<sub>28</sub>-testin N3. lain verbaalisista monivalintatehtävistä yli 90 % oikein. Tämä kertoo hyvin merkittävästä kehityksestä transferoppilaiden N3. lain oppimisessa, koska he osasivat alkutestissä vain 25 % FCI<sub>28:n</sub> N3. lain tehtävistä oikein. Vaikka kaikki transferoppilaat eivät olleet molemmissa opetusjaksoissa samoja, on kehittymisen arviointi mahdollista, sillä oppilaiden N3. lain osaamisen on yleisesti todettu olevan heikkoa ennen opetusta (Hestenes ym., 1992; Hake, 1998a). Samoin edellä olevaa päättelyä tukee se, että niiden 16 transferoppilaan, jotka olivat molemmissa opetusjaksoissa mukana, osaaminen oli FCI<sub>28</sub>-lopputestissä samanlaista kuin kaikkien transferoppilaiden (ks. taulukko 6 - 14 ja 6 - 15).

Toiseksi koulujen välisissä pareittain vertailuissa ei havaittu eroja transferkoulujen välillä eikä myöskään vertailukoulujen välillä, joten N3. lain oppiminen oli kaikissa transferkouluissa ja vastaavasti molemmissa vertailukouluissa samanlaista. Tämän lisäksi havaittiin, että N3. lain osaaminen eri koulutyypien kouluissa oli yhtenäistä, sillä jokaisessa yksittäisessä transferkoulussa N3. lain osaaminen oli parempaa kuin kummassakaan vertailukoulussa (ks. taulukot 7 - 4 ja 7 - 5).

Kolmanneksi johtopäätös on uskottava, koska transferopettajat pystyivät toistamaan opetuksessaan erinomaiset ja vielä hyvin samanlaiset oppimistulokset N3. lain FCI<sub>28</sub>-tehtävissä kuin Savinainen ym. (2005) tutkimuksessa. Tulokset,



jotka on esitetty taulukossa 7 – 1, olivat sekä kontekstuaalisen koherenssin (ks. luku 2.3.2) että oikeiden vastausten suhteellisen frekvenssin osalta samat. Molemmissa tutkimuksissa käytettiin vuorovaikutuskaavion kaltaista visuaalista representaatiota opetuksessa. Tulosten erona oli kuitenkin se, että Savinaisen tutkimuksen tulokset on mitattu opetusjaksoa FY1 vastaavan kurssin jälkeen ja tämän tutkimuksen tulokset mitattiin vasta opetusjakson FY4 jälkeen. Tämä tulos on huomion arvoisen, sillä se on kuitenkin erilainen, mistä Andrews ym., (2011) kertovat. Transferopettajat ovat näin ollen osanneet hyödyntää vuorovaikutuskaaviota ja opetuksen suunnitelmaa opetuksessaan erittäin hyvin. *Toisaalta tämä havainto kertoo siitä, että opetuksen suunnitelma ja siinä käytetty vuorovaikutuskaavio on kohtuullisen helposti siirrettävissä mekaniikan oppitunneille normaalissa lukioympäristössä.*

N3. lain osaamisessa havaittiin eri opetusjaksoissa myös eroja. Vaikka oppimistulosten vertaaminen opetusjaksojen välillä ei ole mahdollista, sillä oppilaat eri opetusjaksoissa eivät olleet samoja eikä myöskään testeissä esitetyt tehtävät olleet samoja, niin voidaan kuitenkin pohtia mahdollisia syitä eroille. Molemmissa koulutyypeissä N3. lain tehtävät osattiin heikommin opetusjaksossa FY4 kuin opetusjaksossa FY1, mikä on yllättävää, sillä osaamisen olettaisi vahvistuvan opetukseen käytetyn ajan lisääntyessä. Toisaalta on todettu, että oppilaiden N3. lain osaamisessa on vaihtelua riippuen testin ajankohdasta ja opetetavan aiheen asiayhteydestä eli onko kyseessä vektori- vai skalaarikäsitteet (Clark, Sayre & Franklin, 2010). Toisaalta opetusjaksossa FY4 heikompaan osaamista selittänee ainakin osaltaan se, että vuorovaikutuskaavioiden osuus opetusjaksossa FY4 oli vähäisempää kuin opetusjaksossa FY1. Täten voisi päätellä, että koska vuorovaikutuskäsitteen opetus vuorovaikutuskaavion avulla on opetusjaksossa FY4 ollut vähäisempää, niin oppilaiden ajattelu on vuoden kuluessa taantunut dominanssiperiaatteen mukaiseen ajatteluun eikä oppiminen ainaakaan kaikkien osalta ole ollut pysyvää. Heckler ja Sayre (2010) ovat todenneet, että alku- ja lopputestien välillä voi oppimistuloksissa olla vaihtelua, joka voi aiheutua sen hetkisestä opetuksesta tai toisen käsitteen opetuksen häiritsevästä vaikutuksesta toisen käsitteen oppimiseen. Heikompi osaaminen opetusjaksossa FY4 voi johtua myös vaikeammista tehtävistä (Bao ym., 2002; Savinainen ym., 2005). Kuitenkin myös opetusjakson FY4 aikana oli koulutyyppien välinen ero kaikissa N3. lain tehtävien tarkastelussa kasvanut, koska efektikoot olivat lopputesteissä suuremmat kuin alkutestissä.

Sitä, miksi transferoppilaat osasivat N3. lain paremmin kuin vertailuoppilaat, voidaan vielä pohtia opetuksen toteutuksen kannalta. Oppimistulokset ovat erilaiset riippuen siitä, millä tavalla, miten usein ja missä yhteydessä vuorovaikutuskaavioita oppitunnilla opetetaan. Havainto on samanlainen kuin Jauhiaisen ym. (2006) tutkimuksessa, jonka mukaan lukion oppilaiden N3. lain oppimistulokset olivat paremmat, jos opettaja oli systemaattisesti puhunut vuorovaikutuksista oppitunneilla. Transferopettajien opetusaikojen ja oppimistulosten välinen tarkastelu (ks. kuvio 6 – 1) antaa aiheen olettaa, että kytkemällä vuorovaikutuskaavion opetus N3. lain opetuksen yhteyteen olisi oppimisen



kannalta parempi tapa kuin N3. lain opetus suuremmalla opetusajalla, vaikka tilastollista merkitsevyyttä yhteydelle ei aineiston pohjalta saatu.

Transferkoulujen paremman menestymisen N3. lain oppimisessa arvioidaan johtuvan opetuksen suunnitelmasta ja sen toteutuksesta, joissa vuorovaikutuskaavion käytöllä oli oleellinen merkitys. Arviota tukevat toisaalta Hestenesin ym. (1992) toteamus, että N3. lain oppiminen on oppilaille vaikeaa ja se on viimeisimpiä muutoksia newtonilaiseen ajatteluun siirryttäessä, ja Haken tutkimus (1998a), joka osoittaa tulosten johtavan perinteisellä opetuksella opettajasta riippumatta samaan heikkoon FCI-tulokseen. Toisaalta Hoellwarth ja Moelter (2011) ja Coletta ja Phillips (2005) antavat tutkimuksessaan näyttöä, että hyvät oppimistulokset mekaniikassa johtuvat käytetystä opetusmateriaalista ja siitä, mitä oppilaat tunnilla tekevät. Hoellwarthin ja Moelterin mukaan tärkeimpiä asioita, jotka vaikuttavat oppilaiden oppimiseen, ovat oppilaiden kokemukset: demonstraatiot, jotka he kokevat ja näkevät, kysymykset, joita he esittävät ja joita heille esitetään, ja esitysmuoto, millä nämä esitetään. Lisäksi monet tutkimukset erilaisten representaatioiden käytöstä fysiikan opetuksessa antavat näyttöä, että erilaisten representaatioiden avulla oppilaan käsitteellinen ymmärrys opetettavasta asiasta paranee (Van Heuvelen, 1991; Ainsworth, 1999; Nieminen ym., 2010). Näin vuorovaikutuskaaviota voidaan pitää opetuksessa merkityksellisenä siltarepresentaationa (Savinainen ym., 2005), joka mahdollistaa sen, että oppilas voi saavuttaa vaikeana pidetyn N3. lain käsitteellisen ymmärryksen. Muitakin visuaalisia, selvästi erilaisia, representaatioita N3. lain voimien yhtäsuuruuden oppimisen tueksi on esitetty mm. (Poon, 2006), mutta ne eivät valaise yhtä hyvin N3. lain ja voimakäsitteen oppimiselle oleellista vuorovaikutuksen käsitettä kuin vuorovaikutuskaavio.

Oliko testikysymysten laadinnassa sitten onnistuttu siten, että niiden avulla voitiin arvioida N3. lain osaamista? Vuorovaikutuskaavioiden konstruoinnin ja N3. lain osaamista mittaavien testikysymysten sisäistä yhtenäisyyttä eli miten hyvin tehtävät mittaavat käsitteen osaamista on mitattu tulosten yhteydessä esitetyillä Cronbachin *alfan* arvoilla. Vuorovaikutuskaavioiden osalta tehtävien sisäinen yhtenäisyys oli hyvä (*alfa* = 0,845). N3. lain tehtävissä sisäinen yhtenäisyys oli opetusjakson FY1 monivalintatehtävissä hyväksyttävä (*alfa* = 0,714), mutta kaikkien neljän N3. lain tehtävän sisäinen yhtenäisyys jäi kyseenalaiseksi. Tämä johtunee tehtävien määrän vähyydestä (Cohen ym., 2007, s. 159; Tavakol & Dennick, 2011) ja toisaalta heikosti osatusta voimaparien tunnistustehtävästä. Eri representaatioissa tai eri testeissä olevat tehtävät saatetaan osata eri tavalla (Cohen ym., 2007, s. 159; Tavakol & Dennick, 2011). Oppilaiden motivaatio ja kiinnostus testikysymyksiin vastaamiseen voivat osaltaan aiheuttaa epäluotettavuutta (Cohen ym., 2007, s.159).

Opetusjakson FY4 lopputesteissä N3. lain tehtäviä oli useampia, ja niissä sisäinen yhtenäisyys oli vähintäänkin hyvä. Koska tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten vuorovaikutusten tunnistaminen vaikuttaa N3. lain osaamiseen, niin opetusjaksossa FY1 laskettiin molempien sekä vuorovaikutuskaavioiden että N3. lain tehtävien osalta sisäinen yhtenäisyys, joka oli hyvä. Tämä oli perusteltua, sillä molemmat tehtävätyypit mittaavat vuorovaikutuskäsitteen ym-

märtämistä. Tutkimuksen N3. lain testikysymyksiä oppilaiden oppimisen tutkimiseen voidaan täten pitää luotettavina.

### 7.2.2 Voimien tunnistaminen ja oikea voimakuvio

Voiman tunnistamisessa ja oikean voimakuvion konstruoinnissa oppilailla saattaa olla luvuissa 2.3.2 ja 2.3.3 mainittuja virheellisiä käsityksiä, jotka altistavat heitä tunnistamaan voimat väärin, tai jos voimat on tunnistettu oikein, niin oppilaat saattavat lisäksi ajatella kokonaisvoiman liikkeen suunnassa olevan liikettä yllä pitävä voima mm. (Champagne ym., 1980; Clement, 1982; Itza-Ortiz ym., 2004) tai suuret nopeus, kiihtyvyys ja voima sekoittuvat oppilaan ajattelussa keskenään (Reif & Allen, 1992; McDermott ym., 1994; Rosenblatt & Heckler, 2011). Virhelähteitä on siis useita. Tutkimuksessa selvitetään, onko vuorovaikutuskaaviosta apua näihin ongelmiin. Tarkastellaan ensin voiman tunnistamista voimakuvioissa ja sen jälkeen N2. lain mukaisesti oikean voimakuvion konstruointia.

#### Voimien tunnistaminen voimakuviossa

Transferoppilaat osasivat tunnistaa voimat voimakuvioissa oikein molemmissa opetusjaksoissa useammin kuin vertailuoppilaat. Transferoppilaat tunnistivat voimat oikein 73 %:ssa voimakuvioista opetusjaksossa FY1 ja 55 %:ssa opetusjaksossa FY4, ja vertailuoppilaat tunnistivat voimat vastaavasti oikein 51 %:ssa voimakuvioista opetusjaksossa FY1 ja 43 %:ssa opetusjaksossa FY4.

Opetusjaksossa FY1 transferoppilaat olivat tunnistaneet myös vuorovaikutukset useammin oikein kuin vertailuoppilaat. Lisäksi taulukoiden 6 - 12 ja 6 - 13 tulosten mukaan vuorovaikutuskaavion laadullinen kategoria vaikuttaa oppilaan konstruoiman voimakuvion laatuun. Transferopettajat olivat onnistuneet paremmin kuin vertailuopettajat hyödyntämään vuorovaikutuskaavion etuja voimien tunnistamisessa. Täten vuorovaikutuskaavioiden suurempi painotus opetuksessa tuottaa myös paremmat oppimistulokset voimien tunnistamisessa. Lisäksi vuorovaikutusten tunnistaminen oikein vuorovaikutuskaaviossa johtaa myös suurimmalla osalla transfer- ja vertailuoppilaista (81,3 % ja 63,5 %) oikeaan voiman tunnistamiseen voimakuvioissa. Oli kuitenkin tapauksia, joissa vuorovaikutukset oli tunnistettu oikein, mutta voimia ei tunnistettu oikein tai toisinpäin siten, että vuorovaikutuksia ei ollut tunnistettu, mutta sen sijaan voimat oli tunnistettu oikein. Tällaisia tapauksia oli vertailukouluissa enemmän kuin transferkouluissa.

Tämä selittyy osaltaan sillä, että nämä kaksi representaatiota, vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio, vaativat oppilaalta erilaisia taitoja. Voiman esittäminen vektorina saattaa tuntua vieraalta (Knight, 1995) ja vektorin suunta voidaan ymmärtää väärin, kuten on aiemmin todettu (Watts & Zylbersztajn, 1981; Kariotoglou ym., 2009). Vastaavasti vuorovaikutuskäsite voi olla oppilaalle hyvin abstrakti, eikä sillä nähdä olevan syvällisempää yhteyttä voiman kanssa. Lisäksi vuorovaikutuskäsitteen käyttö voimakäsitteen opetuksen yhteydessä saattaa altistaa oppilaan piirtämään myös vastavoimia tarkasteltavan kappaleen voi-

makuvioon. Näin tapahtui lähes kaksi kertaa useammin vertailukouluissa kuin transferkouluissa, sillä opetusjaksossa FY1 transferoppilaat olivat käyttäneet vastavoimia 4,7 %:ssa ja vertailuoppilaat 9,2 %:ssa voimakuvioista. Vastaavat osuudet opetusjaksossa FY4 olivat 4,6 % ja 8,6 %. Vastavoimien esiintyminen voimakuvioissa viittaa siihen, että opetuksessa ei ole osattu riittävästi korostaa vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden eroja ja yhtäläisyyksiä. Tämä näkyy vielä selvemmin vertailukouluissa kuin transferkouluissa. Kun vertailukoulujen oppilaat esittivät useammin voimakuvioissa vastavoimia, niin sen lisäksi myös vuorovaikutuskaavioissa he käyttivät useammin yksisuuntaista nuolta vuorovaikutusviivan sijaan tai he olivat nimenneet vuorovaikutuksen usein voimaksi. Nämä vaikeudet pitää ottaa opettamisessa erityisesti huomioon, jotta mainituilta ongelmilta vältyttäisiin.

Jos voimakuvio oli laadultaan heikko, olivat virheen syynä useimmiten ylimääräiset tai puuttuvat voimat. Vain noin 5 % - 8 %:ssa tapauksista oli syynä puutteellinen voimakuvio, kuten voimavektorin väärä suunta tai vektoreita ei ollut käytetty ollenkaan voiman esittämiseen. Liikevoima esiintyi ylimääräisenä voimana opetusjaksossa FY1 harvemmin kuin Hecklerin (2010) tutkimuksessa, mutta opetusjaksossa FY4 sen esiintyminen oli transferoppilailla sama ja vertailuoppilailla yleisempää kuin Hecklerin (2010) tutkimuksessa. Kuitenkin molemmissa koulutyypeissä liikevoiman esiintyminen voimakuvioissa oli selvästi harvinaisempaa kuin Whiteleyn (1996) tutkimuksessa. Tämä viittaa siihen, että vaikka vuorovaikutusten tunnistaminen vuorovaikutuskaaviossa auttaa oppilasta näkemään, että voimat syntyvät vain vuorovaikutuksesta, niin vuorovaikutuskaavion käyttö voiman tunnistamisen tukena ei ole ollut niin tehokasta opetusjaksossa FY4 kuin opetusjaksossa FY1. Vaikka opetusjaksossa FY4 ei testattu riittävästi oppilaiden osaamista vuorovaikutuskaavioiden konstruoinnissa, opettajat ovat kuitenkin opetuksen aikana sitä käyttäneet, mutta suhteellisesti tarkastellen vähemmän kuin opetusjaksossa FY1 (ks. kuviot 5 - 1 ja 5 - 2).

Oppilaiden voimien tunnistamisen analyysissä havaittiin lisäksi, että opetusjakson FY1 osaamisessa ei transferkoulujen välillä eikä myöskään vertailukoulujen välillä ei ollut eroja. Opetusjaksossa FY4 havaittiin kuitenkin pareittain vertailussa yksittäisten koulujen välillä eroja osaamisessa molemmissa koulutyypeissä. Voimien tunnistaminen opetusjaksossa FY1 on siis osattu yhtenäisesti molemmissa koulutyypeihin kuuluvissa yksittäisissä kouluissa, mutta oppimisessa koulutyyppien välillä havaittiin molemmissa opetusjaksoissa erot. Myös heikoimman transferkoulun ja paremman vertailukoulun välillä havaittiin opetusjaksossa FY1 tilastollisesti merkitsevä ero voimien tunnistamisessa (ks. taulukko 7 - 4). Sen sijaan opetusjaksossa FY4 heikoimman transferkoulun tulos jäi hiukan heikommaksi kuin paremman vertailukoulun, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (ks. taulukko 7 - 5). Täten tulokset, varsinkin opetusjaksossa FY1, tukevat edellä N3. lain yhteydessä mainittua käsitystä, jonka mukaan oppilaiden oppiminen voimien tunnistamisessa ei riipu opettajasta vaan opettajan toteuttamasta opetusjaksosta ja opetusmateriaalista. Jos opettajat opettavat samalla tavalla, he saavuttavat samat tulokset ottaen huomioon oppilaiden jonkinasteisen tasoeron. Ero ei johdu opettajasta vaan siitä, millainen on

ollut opetusjakson rakenne ja mitä oppilaat ovat opetuksen aikana tehneet (Hoellwarth & Moelter, 2011).

*Vuorovaikutusten tunnistamisella vuorovaikutuskaaviossa on tässä tutkimuksessa todettu olevan yhteys voimien tunnistamisen osaamiseen voimakuviossa. Vertailuoppilaat eivät yltäneet samalle tasolle voimien tunnistamisessa kuin transferoppilaat osaksi siksi, että vertailuopettajat ovat käyttäneet vähemmän aikaa vuorovaikutuskaavion opetukseen ja esittäneet myös vähemmän harjoitusesimerkkejä vuorovaikutuskaavioiden käytöstä. Mutta on myös mahdollista, että he eivät ole hyödyntäneet yhtä tehokkaasti vuorovaikutuskaavion etuja opetuksessa kuin transferopettajat.*

Lisäksi opetusjaksossa FY4 osaaminen voimien tunnistamisessa ei ollut enää niin yhtenäistä koulutyyppeihin kuuluvien koulujen välillä kuin opetusjaksossa FY1, vaikka osaamisessa olikin havaittavissa ero koulutyyppeiden välillä. Tähän voi olla syynä vuorovaikutuskaavioiden vähäisemmän käytön ohella se, että oppilas konstruoi voimakuvion ehkä oman intuiutionsa tai muistamisen avulla. Mielenkiintoista oli myös se, että opetusjakson FY4 alkutesteissä oppilaat osasivat tunnistaa voimat osaksi samoissa tilanteissa paremmin kuin opetusjakson FY1 lopputesteissä, mikä oli kuitenkin toisin kuin transferkoulujen N3. lain osaamisessa, jossa tapahtui osaamisessa taantumista vuoden ajalla. Näin siis aikaisemmin opittu tieto voimien tunnistamisesta on säilynyt oppilaiden mielessä.

Koska voimien tunnistaminen oli kuitenkin opetusjakson FY4 lopputesteissä heikompa kuin opetusjaksossa FY1 ja ero koulutyyppeiden välillä oli kaventunut, niin tarkasteltavien tilanteiden vaikeus näkyi ehkä heikompana osaamisena ja tasoitti oppilaiden eroja osaamisessa. Esimerkiksi tehtävä, jossa liikkuvan vaunun päällä oli palikka (Liite 8, tehtävä 7.2) ja vaunulle ja palikalle piti konstruoida voimakuviot, voi useimmille oppilaille olla liian haastava. Varsinkin kun havaittiin, että tässä tehtävässä erittäin harva oppilas konstruoi vuorovaikutuskaavion vaunulle ja palikalle, mistä olisi nimenomaan vaikeissa tilanteissa oppilaille voimien tunnistamiseen luultavimmin apua. Tässä tehtävässä vuorovaikutuskaavioiden konstruointi jätettiin oppilaille vapaaehtoiseksi, koska tutkija halusi nähdä, ovatko oppilaat kokeneet uuden representaation käytön hyödylliseksi ja ovatko he oppineet käyttämään sitä voimien tunnistamisessa. Se, että voimien tunnistamisen osaamisessa kuitenkin havaittiin ero koulutyyppeiden välillä myös opetusjaksossa FY4, voi johtua osaksi siitä, että vaikka oppilaiden vuorovaikutuskaavioiden osaamista ei testattu, niin opettaja on, ainakin transferkouluissa, opetuksessaan käyttänyt voimakuvion konstruoinnin apuna vuorovaikutuskaaviota ja transferoppilaat ovat siten oppineet ajattelemaan voiman vuorovaikutuksista syntyneenä. On myös mahdollista, että vaikka opetusjaksoilla olleet oppilaat eivät olekaan kaikki samoja, niin opetus on voinut olla muissakin koulun opetusryhmissä samantyyppistä ja jo opetusjakson FY1 aikana syntyneet oppimisen erot näkyvät myös eroina opetusjaksossa FY4.

Voimien tunnistamisen osaamisessa jäi kuitenkin vielä parannettavaa, vaikka transferoppilaat ylittivät molemmissa opetusjaksoissa 50 %:n kynnyksen,

johon McCarthy ja Goldfinch (2010) viittaavat mekaniikan tehtävien osaamisen rajapyykkinä. Liikevoiman esiintyminen varsinkin opetusjaksossa FY4 oli pieni pettymys. Uskon, että vuorovaikutuskaavion avulla voidaan oppilaalle näyttää, että liikevoiman esiintyminen on virheellinen käsitys. Tästä esitetään myöhemmin esimerkki.

Koska vuorovaikutuskaavion painotus opetuksessa näkyy voimien tunnistamisen parempana osaamisena transferkoulussa kuin vertailukoulussa, niin tulokset rohkaisevat opettajia opetustasosta riippumatta ottamaan vuorovaikutuskaavion käyttöön voimakäsitteen opetuksessa. Käyttöohjeita työkalun käyttöön annetaan myöhemmin.

### **Voimakuvion konstruointi N2. lain mukaisesti oikein**

Oikean voimakuvion konstruointi edellyttää oppilaalta toisaalta voimien oikeaa tunnistusta, mutta sen lisäksi myös N2. lain ja vektorien yhteenlaskun osaamista. Koska voimien tunnistaminen oikein ei vielä takaa, että voimakuvio on konstruoitu myös N2. lain mukaan oikein, niin on aihetta tarkastella, miten oppilaat osasivat konstruoida oikeita voimakuvioita. Molemmissa opetusjaksoissa alle puolet kaikista voimakuvioista oli osattu oikein, mitä voidaan pitää vaatimattomana tuloksena. Mutta tämä on toisaalta ymmärrettävää, sillä ellei oppilas ole osannut tunnistaa voimia oikein, niin ei myöskään voimakuvio voi olla N2. lain mukaan oikein. Täten on mielekästä tarkastella oikeiden voimakuvioiden osaamista niiden voimakuvioiden osalta, joissa voimat oli oikein tunnistettu.

Molemmissa opetusjaksoissa transferkoulut olivat osaamiseltaan parempia kuin vertailukoulut. Koulutyypin välinen ero oli opetusjaksoissa myös samanlainen siten, että efektikoko oli pieni. Opetusjaksossa FY1 oli transferkoulussa konstruoitu oikeita voimakuvioita 43 %:ssa ja vertailukoulussa 28 %:ssa kaikista voimakuvioista, kun opetusjaksossa FY4 vastaavat osuudet olivat 36 % ja 25 %. Mutta kun otetaan huomioon vain ne voimakuviot, joissa voimat oli tunnistettu oikein, niin transferkoulussa ja vertailukoulussa oli osattu opetusjaksossa FY1 konstruoida oikeita voimakuvioita lähes yhtä paljon (transferkoulut 48 %, vertailukoulut 46 %). Vastaavasti opetusjaksossa FY4 oli transferkoulussa 65 % oikeita voimakuvioita ja vertailukoulussa 57 % oikeita voimakuvioita niistä voimakuvioista, joissa oli osattu tunnistaa voimat oikein. Oli odotettavissakin, että osaaminen oli toisessa opetusjaksossa parempaa, sillä oppimisen toisen opetuskerran jälkeen pitäisi kehittyä ja lisäksi N2. lain opetus ja siten myös oikean voimakuvion konstruoinnin opetus oli merkittävästi suuremmassa osassa opetusjaksossa FY4 kuin opetusjaksossa FY1 (ks. kuviot 5 - 1 ja 5 - 2).

*Kun lisäksi tarkasteltiin eri liiketiloissa olleille kappaleille konstruoituja oikeita voimakuvioita, niin molemmissa opetusjaksoissa havaittiin, että tasaisen liikkeen tilanteissa osaaminen oli molemmissa koulutyypeissä heikointa. Tämä näkyi jopa silloin, kun voimat oli ensin tunnistettu oikein. Vertailuoppilaiden osaaminen oli molemmissa opetusjaksoissa niin tasaisessa liikkeessä kuin muissa liikelajeissa heikompa kuin transferoppilailla. Lisäksi huomiota herättävää oli, että opetusjakson FY4 jälkeen yhdenkään (0/28) vertailuoppilaan ja vain 6/48 transferop-*

pilasta oli konstruoinut oikean voimakuvion yhdessä tasaisen liikkeen tilanteessa, vaikka voimat oli kuitenkin tunnistettu oikein (transferkouluiissa 25/48 ja vertailukouluissa 12/28). Tämä viittaisi siihen, että useimmat oppilaat eivät olleet täysin ymmärtäneet N2. lakia. Toisaalta olisi hyvä tutkia, miten hyvin opetuksessa on otettu huomioon kokonaisvoiman täsmällinen esittäminen voimakuvioissa, tai jos se on opetettu, niin ovatko oppilaat omaksuneet sen merkitystä tai tärkeyttä. Tämä jäänee jatkotutkimuksen selvitettäväksi.

Edellä esiteltyjen tutkimusten mukaan voimakuvion konstruointi on oppilaille haastava tehtävä. Vaikka transferoppilaiden voimien tunnistaminen oli hiukan heikompaa kuin Rosengranton tutkimuksessa, niin transferoppilaat olivat kuitenkin osanneet konstruoida voimakuviot oikein vähintään yhtä hyvin, ellei jopa paremmin kuin Rosengranton ym., (2009) ja Ayeshin ym., (2010) tutkimuksissa, kun otetaan huomioon oppilaiden opiskelutaso ja analyysin metodit (taulukko 7 - 2). Aikaisemmat tutkimukset antavat näyttöä siitä, että voimakuvion konstruointi auttaa oppilasta ratkaisemaan ongelmatehtävän useammin oikein kuin ilman voimakuviota mm. (Rosengrant ym., 2009; Ayesh ym., 2010). *Tämän tutkimuksen tulos, jossa vuorovaikutusten tunnistaminen toisaalta auttaa voimakuvion voimien tunnistamisessa ja siten edelleen oikean voimakuvion konstruointia, täydentää täten aikaisempia tutkimuksia.*

Vaikka vuorovaikutuskaavion käytöllä ei ole suoraan yhteyttä N2. lain oppimiseen, niin oikean voimakuvion muodostamisen edellytys kuitenkin on, että oppilas osaa ensin tunnistaa voimat oikein, joten siinä mielessä vuorovaikutuskaavion käyttö auttaa myös oikean voimakuvion konstruoinnissa. Opetusjaksossa FY1 suurimmassa osassa tapauksista oikea voimakuvio liittyi molemmilla koulutyypeissä oikein tunnistettuihin vuorovaikutuksiin (transferkoulut 92,8 % ja vertailukoulut 70,2 %), mutta sen sijaan erinomainen vuorovaikutuskaavio johti oikeaan voimakuvioon vain noin puolessa (52,3 %) tapauksista transferkouluiissa ja neljänneksessä (27,4 %) vertailukouluissa. Kun tarkastellaan vain sellaisia voimakuvioita, joissa voimat oli tunnistettu oikein, niin 54 %:ssa niistä transferoppilaat konstruivat oikeita voimakuvioita, jos he olivat tunnistaneet myös vuorovaikutukset oikein. Vastaava osuus vertailukouluissa oli 38 % (ks. kuvio 6 - 4). Kun vuorovaikutusten tunnistaminen pitäisi teoriassa johtaa voimien oikeaan tunnistamiseen, niin vain vähän yli puolet tällaisista tapauksista tuotti transferkouluiissa oikean voimakuvion.

Olemme tutkineet oppilaiden voimien tunnistamisen ja oikean voimakuvion osaamista myös ns. "baseline" -kouluissa. Baseline tarkoittaa tässä yhteydessä kouluja, joissa opetus on yleensä toteutettu perinteisellä tavalla ja oppilaiden osaamista voidaan tällöin pitää vertailun lähtötasona. Näissä kouluissa ei myöskään käytetty vuorovaikutuskaaviota opetuksessa, mutta käytetyssä oppikirjassa Fysiikka 1 (Lehto ym., 2009) esitellään vuorovaikutuskäsite kuitenkin sanallisessa muodossa melko kattavasti. Lisäksi useimmat opettajista mainitsivat puhuneensa vuorovaikutuksista oppitunneilla. Näissä kouluissa voimakuvioiden osaaminen oli kuitenkin heikompaa kuin vertailukouluissa (efektikoko pieni) ja selvästi heikompaa kuin transferkouluiissa (efektikoko keski-suuri) (Savinainen, Mäkinen, Nieminen & Viiri, 2013a). Täten myös vuorovaikutuskaa-



vion kevyemmälläkin käytöllä opetuksessa saattaa olla enemmän vaikutusta voimakäsitteen oppimiseen ja siihen, että oppilas oppii ajattelemaan voiman vuorovaikutuksesta syntyneenä, kuin pelkästään verbaalisella puheella tai tekstillä.

Koska oikean voimakuvion konstruoinnissa oppilaan pitää hallita vektorirepresentaation ja voiman tunnistamisen lisäksi myös N2. laki, niin sitä voidaan pitää oppilaalle kuitenkin haastavampana tehtävänä kuin N2. lain osaaminen verbaalisissa käsitteellisissä monivalintatehtävissä, kuten FCI<sub>28</sub>-testissä. Transferoppilaat osoittivat myös voimien tunnistamisessa ja N2. lain osaamisessa merkittävää kehittymistä, joka oli parempaa kuin yleensä suomalaisissa lukioissa (ks. luku 6.2.6)

Pohditaan seuraavaksi myös sitä, miten testitehtävien laadinnassa on onnistuttu. Opetusjakson FY1 testeissä olleiden voimakuviotehtävien sisäinen yhtenäisyys oli hyväksyttävä ( $\alpha = 0,696$ ) ja molempien sekä vuorovaikutuskaavioiden että voimakuvioiden sisäinen yhtenäisyys oli hyvä ( $\alpha = 0,841$ ). Täten tuloksia voidaan laadittujen testitehtävien osalta pitää luotettavina.

Opetusjakson FY4 voimakuviotehtävien sisäinen yhtenäisyys jäi sen sijaan kyseenalaiseksi ( $\alpha = 0,665$ ). Cohenin ym. (2007) mukaan sitä voivat selittää tehtävän monidimensionaalisuus, tehtävässä olevien operaatioiden lukumäärä ja tyyppi eli oppilaan tulee tunnistaa vuorovaikutus, tunnistaa siitä syntynyt voima, voittaa vahvat virheelliset käsitykset, hallita vektorikäsitteen käyttö ja N2. lain oikea soveltaminen vektoreiden piirtämisessä. Tehtävien erilainen konteksti vaikuttaa oppilaan esitykseen. Myös tehtävän kysymysmuoto ja vastauksen tuottaminen vaikuttavat oppilaiden esityksiin, kysymykset saattavat suosia eri tavalla poikia ja tyttöjä, testin pituus saattoi olla pitkästyttävä ja heikentää oppilaan keskittymistä tai jopa vastaamista tehtävään ja siten haitata testin luotettavuutta. (Cohen ym., 2007, s. 161.)

### 7.3 Opetusjaksojen suunnittelu ja toteutus

Tarkastellaan ensin opetusjaksojen suunnittelun ja toteutuksen onnistumista. Pohditaan seuraavaksi myös tutkimusprosessin aikana opetuksessa havaittuja ongelmakohtia ja oppimista mittaavien testien suunnittelun onnistumista ja puutteita.

Tämä tutkimus kohdistui tutkijoiden mm. (Leach ym., 2003; Duit ym., 2007) esittämään tarpeeseen tutkia, miten transferopettajat, jotka eivät itse ole olleet tutkimuksen suunnittelussa mukana, hyödyntävät tutkimuksen esittämiä opetuskäytäntöjä ja miten oppimistulokset parantuvat normaalissa opiskeluympäristössä. Transferopettajille annettiin vain lyhyt opastus opetuksen suunnitelman ja testien toteuttamiseen. Transferopettajilla oli tietyt vaikeutensa tutkijan tekemän suunnitelman mukaisen opetuksen toteuttamisessa. Kaikille transferopettajille oli yhteistä se, että he kokivat suunnitelman sisältävän liian paljon asiaa, mistä aiheutui kiireen tuntu. Myös testit veivät opetuksesta paljon



aikaa, eikä testien oikeiden vastausten käsittelyyn jäänyt aikaa. Opetusmonisteista transferopettajat antoivat myönteistä palautetta (ks. luku 5.4.2).

Transferopettajat pyrkivät noudattamaan suunnitelmaa ja onnistuivat siinä hyvin, joku erittäin hyvin ja joku taas kohtuullisesti. Transferopettajien eri aihealueisiin käyttämät ajat opetusjaksojen FY1 ja FY4 opetuksessa on esitetty kuvioissa 5 - 1 ja 5 - 2. On selvää, että opetukseen käytetyissä ajoissa oli eroja, mutta ne olivat hyvin kohtuulliset. Opetusjakson FY1 kokonaisajat transferkouluissa olivat noin yhden oppitunnin (45 min) pidempiä kuin vertailukouluissa. Transferopettajat käyttivät suunniteltuja opetusmonisteita ja harjoituksia opetuksessa, mutta eri tavalla, sillä niistä osa saatettiin tehdä kotona, ja opettajat käyttivät oppitunnilla ehkä eripituisen ajan niiden läpikäymiseen. Transferopettajilla oli kullakin myös oma opetustyyli ja puhetapa. Nurkka ym. (2011) ovat tutkineet opettajien käyttämää puhetta opetusjaksolla FY1. Transferopettajien opetuksessa käyttämät puheen muodot (opettajan esitys, opettajan ohjaama autoritatiivinen keskustelu, dialoginen keskustelu ja oppilaan aloite) vaihtelivat opettajasta tai opetettavasta aihe-alueesta riippuen (Nurkka ym., 2011). Tässä tutkimuksessa transferoppilaiden N3. lain oppimisessa ja voimien tunnistamisessa voimakuvioista ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja opetusjaksossa FY1. Oikeissa voimakuvioissa havaittiin yhdessä pareittain vertailussa efektiivisyyden pieni ero ( $r = 0,12$ ). Vaikka transferopettajien opetuksessa oli havaittavissa edellä mainittuja ajan tai puheen käytön eroavaisuuksia, niin oppimistuloksissa ei eroja kuitenkaan ollut. Tämä tukee osaltaan myös johtopäätöstä, että oppimisen erilaisuus transferkouluissa ja vertailukouluissa johtuu erilaisesta opetuksen toteutuksesta, jossa vuorovaikutuskaaviolla oli erilainen painotus, sekä oppilaiden työskentelystä oppitunnilla.

Opetuksessa on transferkoulujen ja vertailukoulujen välillä saattanut olla muutakin kuin vain ajallista eroa vuorovaikutuskaavion käytössä. Opetuksen sisällöllisiä eroja ei tässä tutkimuksessa voida tarkastella, koska vertailuopettajien opetuksesta ei kerätty sitä varten riittävästi tietoa. Toisaalta opettajan ei ole ehkä helppo omaksua uuden työkalun käyttöä ja oppilaiden on puolestaan sitä vaikeampi saada siitä paras mahdollinen hyöty oppimiseen. Miksi opettajan tai oppilaan on vaikea ottaa uusi työkalu vastaan tai saada siitä paras hyöty? Syitä voivat olla seuraavat:

- Kahden representaation, vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion rinnakkainen käyttö saattaa olla vaikea hyväksyä, ellei siitä näe olevan riittävästi hyötyä opettamisessa ja oppimisessa. Vuorovaikutuskaavion hyöty N3. lain opetuksessa ei ole ehkä yhtä selvästi nähtävissä kuin voimien tunnistamisessa, jota myös oppikirja enemmän korostaa. Työkalun käyttö ei avaudu myöskään opettajalle, ellei sen käyttöön ole hyvää käyttöohjetta. Käyttöohjeessa tulisi kertoa vuorovaikutuskaavion käytön edut ja antaa käytännön esimerkit, miten vuorovaikutuskaaviota voi opetuksessa hyödyntää. Esimerkeillä näytetään, miten vuorovaikutuskaavio auttaa virheellisten käsitysten korjaamisessa.
- Oppilas saattaa pitää representaatioita kahtena erillisenä tehtävänä, jotka pitää tehdä, kun opettaja pyytää ja kuten on tunnillakin tehty. Oppilas ei ymmärrä nii-

den eroja tai yhteyksiä toistensa kanssa. Van Heuvelen ja Zou (2001) toteavat oppilaiden oppivan paremmin eri representaatioiden käytön, jos he ymmärtävät eri pedagogisten strategioiden syyt. Van Heuvelen ja Zou (2001) havaitsivat oppilaiden pitävän voimakuvion konstruointia ongelmanratkaisun yhteydessä toisistaan riippumattomina aktiviteetteina. Oppilaiden täytyy ymmärtää, miksi he käyttävät erilaisia representaatioita, kuten vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio. Tärkeää on myös näyttää ja perustella oppilaalle vuorovaikutuskaavion hyödyt sekä erot ja yhteydet voimakuvioon verrattuna.

- Kahden representaation esitys vie aikaa, mutta representaatioiden käyttö on fysiikan ymmärtämisessä olennainen työkalu (Nieminen ym., 2010). Yksinkertaiset tilanteet oppilas voi hahmottaa päässään. Uusissa tai useamman kappaleen tilanteissa vuorovaikutuskaavion muodostaminen on suotavaa ja eduksi fyysikaalisen tilanteen monien vuorovaikutusten hahmottamiseksi.
- Opettaja ei ole tietoinen kaikista oppilaan virheellisistä käsityksistä, hän on tottunut opettamaan asiat perinteisesti samoilla opetustavoilla eikä siksi ehkä näe tarvetta muuttaa niitä (Redish & Steinberg, 1999). Jos opettaja sitten päättää kokeilla opetuksessaan uutta työkalua, jonka käyttöä hän ei ole hyvin valmistellut, ja toteaa sen aiheuttavan oppilaille uusia ongelmia, kuten vastavoiman esiintyminen voimakuvioissa, on helppo syy hylätä uusi työkalu.
- Jos oppilaat epäonnistuvat diagrammien käytössä, niin syy voi olla diagrammin ominaisten piirteiden puutteellisessa omaksumisessa tai tulkinnassa (Larkin & Simon, 1987). Oppilaat tarvitsevat harjoitusta useammassa kuin yhdessä kontekstissa. Heille pitää tarjota useita mahdollisuuksia samojen käsitteiden soveltamiseen ja järjestykseen eri konteksteissa. Tällöin he voivat reflektoida omia intuitiivisia käsityksiään vertaamalla niitä koulufysiikan käsityksiin ja samalla löytävät käsitteelle pätevät yleistyksiset eri kontekstien välillä. (Reif & Allen, 1992; McDermott ym., 1994; Whiteley, 1996; Bao ym., 2002.)

Edellä olevien syiden päättelyä tukee myös Duitin ym. (2007) tutkimuksiin pohjautuvat toteamukset, että a) monet opettajat eivät ole saaneet tietoa fysiikan opetuksen ja oppimisen tutkimuksen antamista löydöistä, b) heidän näkemyksensä hyvästä fysiikan opetuksesta ovat aihekeskeisiä, ja fysiikan opetuksessa käytettyjen mallien opetus on puutteellista ja siten oppilailla on heikot kyvyt niiden käytössä ja c) opettajakeskeinen opetus on edelleen vallitseva käytäntö.

Tutkimusprosessin aikana havaittiin myös, että osa opettajista saattaa ajatella vuorovaikutuskaavion tai vuorovaikutuksista puhumisen voimakäsitteen opetuksen yhteydessä sotkevan voimakuvion muodostamista, eikä suostu otamaan sitä käyttöön. Kuitenkin juuri tällaisissa tilanteissa, joissa oppilaalla on selviä vaikeuksia voimakäsitteen oppimisessa, osaavamman tuki olisi merkittävässä roolissa. Tätä tukee myös teoria lähikehityksen vyöhykkeestä, sillä vuorovaikutuskaavio on oppilaille uusi väline ja heiltä puuttuu siten tämän välineen arkipäiväinen kokemus. Toisaalta käsite vuorovaikutus, kuten voimakin, on arkikielestä oppilaille tuttu käsite ja siksi tarvitaan paitsi välineitä, kuten kieli, vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio, niin myös opettajan tukea ja harkit-

tua puhetta, että oppilas huomaisi tarpeensa uudistaa uskomuksiaan ja voisi ymmärtää käsitteiden tieteellisen luonteen.

Opetuksen suunnittelussa ja toteutuksessa pyrittiin ottamaan huomioon sosiokulttuuriseen oppimisenäkemykseen pohjautuvia näkemyksiä. Opetuksessa käytettiin harjoituksia, joissa oppilaat pohtivat annettuja tehtäviä 2 - 3 hengen ryhmissä ja pyrkivät vuorovaikutuksessa toistensa ja opettajan kanssa ratkaisemaan ongelman ja myös perustelevaan näkemyksensä toisilleen. Tällöin oppilas joutuu puhuessaan organisoimaan ja konstruoimaan ajatuksensa uudelleen ja siten niistä tulee hänen omia ajatuksiaan (Mortimer & Scott, 2003). Vuorovaikutuskaavion voidaan ajatella verbaalisen puheen ohella toimineen tietoa välittävänä siltarepresentaationa oppilaiden siirtyessä arkikäsitteistä kohti tieteellistä käsitystä (Van Heuvelen & Zou, 2001; Savinainen ym., 2005). Myöhemmin luvussa 7.5 tarkastellaan erikseen vuorovaikutuskaavion käytön etuja tietoa välittävänä välineenä voimakäsitteen opetuksessa.

Sosiokulttuurisen näkemyksen mukaan oppiminen on myös tilannesidonnaista (Säljö, 2001). Kun oppilaille tarjottiin opetuksen aikana useita mahdollisuuksia välineen käytön harjoitteluun eri konteksteissa, niin tutkijoiden mukaan heidän kykynsä käyttää välinettä paranee (Van Heuvelen, 1991; Van Heuvelen & Zou, 2001; Bao ym., 2002). Vaikka vuorovaikutuskaavion käyttö ennen voimakuvion konstruointia on oppilaalle työläämpi tapa, antaa se enemmän tietoa voimakäsitteen omaksumiseen tarvittavista älyllisistä osista (Nieminen ym., 2010). Kun oppilas hallitsee välineen käytön ja on oppimisesaan saavuttanut lähikehityksen vyöhykkeen, hän tietää, milloin ja miten sitä käytetään. Paitsi että oppilas on näin oppinut käsitteen tieteellisesti oikein, niin syvällisempi tieteellinen ymmärrys voi olla omiaan lisäämään myös oppilaan motivaatiota. Se kuinka pysyvä käsitteellinen ymmärrys oli saavutettu, näkyi siinä, miten oppilaat sovelsivat osaamaansa uudessa erilaisessa kontekstissa opetuksen eri vaiheissa.

Aikaisemmin luvussa 2.4 on myös tarkasteltu opetusjakson suunnittelussa huomioituja tekijöitä oppimisvaadeanalyysin yhteydessä. Virheellisten käsitysten huomioiminen opetuksen suunnitelmassa on hyvien oppimistulosten kannalta tärkeää (Laech & Scott, 2002). Erityisen tärkeäksi se muodostuu vahvojen virheellisten käsitteiden, kuten voimakäsitteen yhteydessä (Chi ym., 1994; Vosniadou, 1994).

### **Opetuksessa havaittuja ongelmia**

Pilottiopetuksen ja tulosten analysoinnin aikana havaittiin tiettyjä ongelmia, jotka otettiin opetuksen suunnittelussa huomioon, mutta niitä tulisi opetuksessa korostaa vieläkin enemmän.

Vuorovaikutuskaavion sekoittaminen voimakuvioon oli yksi havaituista oppilaiden ongelmista. Vuorovaikutuskaavioissa, joita ei muista syistä luokiteltu heikoiksi tai puutteellisiksi, oli käytetty jo voimien nimiä, kuten kitkavoima, tukivoima ja painovoima, vaikka ne pitäisi esittää vasta voimakuviossa. Jos opetuksessa ei tehdä selvää eroa vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion välillä,

on selvää, että oppilas ihmettelee, miksi pitää konstruoida kaksi eri kaaviota. Siksi opettajan on hyvä tutustua ensin vuorovaikutuskaavion käytön etuihin ja sen käyttömahdollisuuksiin virheellisten käsitysten muuttamiseksi tieteellisiksi. Tämän jälkeen opettaja pystyy perustelemaan oppilaalle vuorovaikutuskaavion hyödyn ja sen eron voimakuviosta. Van Heuvelen ja Zou (2001) pitävät tärkeänä, että oppilaille perustellaan erilaisten representaatioiden käytön syyt, jolloin he voivat myös paremmin ymmärtää niiden käyttötarkoituksen. Tutkimuksen vertailukouluissa 5,2 % ja transferkouluissa 1,6 % kaikista oppilaiden konstruimista vuorovaikutuskaavioista sisälsi jo nimettyjä voimia, ja osassa käytettiin myös voimavektoreita. Kaikkein eniten voimien nimiä oli käytetty jääkiekolle hidastuvassa liikkeessä; transferkouluissa 11 % ja vertailukouluissa 27 % (ks. Liite 2, tehtävä 3.2).

Toinen ongelma oli, että oppilas oli ottanut ilman vuorovaikuttavaksi kappaleeksi levossa olevalle kappaleelle. Tämä ilmeni varsinkin transferkoulussa T2, jossa 11/26 oppilaasta oli ottanut levossa olevalle kirjalle tai korkille (ks. Liite 2, tehtävä 2.1) mukaan ilman vuorovaikutuksena, kun muissa kouluissa ilma otettiin mukaan vuorovaikutuksena vain yksittäistapauksissa. Videoaineistosta näkyi siihen syy, sillä transferopettaja T2 mainitsi tunnilla ilman vuorovaikuttavana kappaleena sillalla olevalle elefantille (Liite 4), mutta hän ei opettanut sen nostevaikutusta, vaan puhui ainoastaan ilmanpaineen puristamisesta eri puolilta. Tämä näkyy seuraavasta opettajan ja oppilaan vuoropuhelusta. Oppilas (opp) on piirtänyt taululle elefantin vuorovaikutuskaavion, jota opettaja (ope) selittää oppilaille.

*Ope: "Elefantti on piirretty sinne keskelle. Sitten kaikki etävuorovaikutukset, maapallo vetää elefanttia puoleensa. Eikö se ole ihan oikein? Mitäs elefantti koskettaa? Seisoo sillalla, joten se koskettaa sillan pintaa. No entäs tuo sitten? Koskettaako elefantti ilmaa? Kyllähän se koskettaa. Voitaisko me jotenkin arvioida sitä, onko tämä vuorovaikutus merkittävä vai ei?"*

*Opp: Ei hirveen merkittävä. Jos sitä ilmaa ei olisi, niin tuskin se tilanne muuttuisi yhtään.*

*Ope: Tuskinpa se paljon muuttuisi. Voitaikin sanoa, että jos me voitais jotenkin arvioida tätä, verrata näitä vuorovaikutuksia keskenään, sillan ja elefantin välinen vuorovaikutus voisi olla paljon suurempi kuin (näyttää ilman vuorovaikutusta). Joskus fysiikan tilanteessa hyvin merkityksettömät voimat unohdetaan. Tehdään semmoinen idealisoitu tilanne. Pystyisittekö sanomaan, miten tuo ilma voisi vaikuttaa elefanttiin?"*

*Opp: Ilmanpaine.*

*Ope: Ilmanpaine puristaa elefanttia kasaan. Jos elefanttiin ei vaikuttaisi ilmanpaine, sehän pullistuisi niin kuin ilmapallo. Siinä on muitakin asioita, miten ilma voisi vaikuttaa?"*

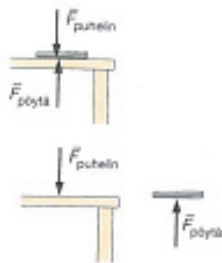
*Opp: Jos elefantti liikkuisi, niin siihen vaikuttaa ilmanvastus.*

*Ope: Jos elefantti liikkuisi tai jos ilma liikkuisi, silloin siitä voi syntyä vuorovaikutus. Elikä tuossakin voisi olla erilaisia vuorovaikutuksia."*

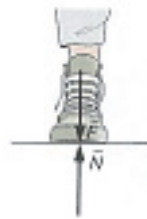
Toisaalta, jos oppilaat pohtivat asioita syvällisesti, opettaja joutuu ehkä tahtomattaankin selittämään asioita laajemmin kuin oli suunnitellut. Joidenkin T2 oppilaiden piirtämistä voimakuvioista näkyi, että heille jäi virheellinen käsitys ilman kirjaan tai korkkiin ylhäältäpäin painavasta voimasta eikä ylöspäin suuntautuvasta nosteesta. Tässä oli myös syy siihen, miksi ilma tulkittiin levossa olevalle kappaleelle ylimääräiseksi vuorovaikutukseksi. Näin ollen opettajan on parempi puhua vain kappaleelle oleellisista vuorovaikutuksista, tai jos hän käsittelee laajasti muita vuorovaikutuksia, on väärinkäsitysten välttämiseksi selitettävä perusteellisesti myös niiden vaikutus kappaleeseen.

Voimakuvion konstruoinnissa esiintyi ainakin kaksi tekijää: vastavoimat ja liikevoima, jotka aiheuttivat heikon voimakuvion. Näistä ongelmista mainittiin jo luvussa 7.2.2. Jos opetuksessa tai tehtävässä pyydetään piirtämään kappaleelle voima ja vastavoima vektoreina, se saattaa altistaa oppilasta ajattelemaan, että voima- ja vastavoimavektoriesitys on sama kuin voimakuvio. Väärinkäsitysten välttämiseksi opetuksen suunnitelmassa suositeltiin opettajia esittämään voimaa ja vastavoimaa sanallisesti tai osoittamaan ne vuorovaikutuskaaviosta eikä kuvaamaan niitä vektoreina. Jos voima ja vastavoima esitetään esimerkiksi kuvion 7 - 1 mukaan, niin on vaikea erottaa, onko kyseessä voimakuvio vai ei.

Voima ja vastavoima -pari



Voimakuvio



KUVIO 7-1. Vasemmalla on esitetty voima- ja vastavoimapari puhelimen ja pöydän välisessä kosketusvuorovaikutuksessa ja oikealla kengän voimakuvio (Lehto ym., 2009, s. 73, 77).

Väärinkäsitysten välttämiseksi voimien nimeämisen pitää ainakin olla täsmällistä, esimerkiksi  $\vec{F}_{\text{puhelin} \rightarrow \text{pöytä}}$  ja  $\vec{F}_{\text{pöytä} \rightarrow \text{puhelin}}$ , kuten Hinrichs (2005) suosittelee tai esitetään kappaleet, joihin voima ja vastavoima kohdistuvat erikseen, kuten kuvion 7 - 1 alimmassa kuvassa on tehty. Tällöin nähdään, että voima ja vastavoima kohdistuvat aina vuorovaikutuksen eri kappaleisiin, mutta vielä selvemmin tämä näkyy vuorovaikutuskaaviosta. Kuitenkin vuorovaikutuskaavion yhteydessäkin voimakuvioihin piirrettiin vastavoimia. Tämä ongelma on ehkä osaltaan vuorovaikutuskaaviosta johtuva, koska vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuus tulee siinä selvästi ilmi ja sitä korostetaan lisäksi kirjallisella esi-

tyksellä. Siksi on erityisen tärkeää samassa yhteydessä korostaa, että voimakuvioon piirretään vain tarkasteltavan kappaleen eri vuorovaikutuksista syntyneet voimat. Tätä voidaan vuorovaikutuskaaviossa selventää katkaisemalla vuorovaikutusviivat katkoviivalla, kuten Hestenes (1996) ja Hinrichs (2005) ehdottavat.

Edellä mainittujen tutkimusten mukaan "liikevoima" on oppilaille yksi vahvoista virheellisistä käsityksistä. Sitä esiintyi myös tutkimuksen molemmissa koulutyypeissä. Opetusjaksossa FY1 sitä esiintyi vähemmän ja vastaavasti opetusjaksossa FY4 enemmän kuin Whiteleyn (1996) tutkimuksessa. On vaikea sanoa johtuiko ero vuorovaikutuskaavion käytöstä vai fysikaalisten tilanteiden vaikeudesta, mutta vuorovaikutuskaavion opetus, uutena työvälineenä, oli korostetummassa asemassa opetusjaksossa FY1 kuin opetusjaksossa FY4. Opetusjaksossa FY4 transferopettaja T3 käsitteli lumilautailijaan kohdistuvia voimia juuri kourusta irtoamisen jälkeen. Oppilaat esittivät monia kysymyksiä lumilautailijaan kohdistuvista voimista, mistä seuraavat oppitunnin sitaattit kertovat. Oppilaiden nimet on sitaateissa muutettu.

*Ope: "Tapio, mitkä voimat lumilautailijaan vaikuttavat?"*

*Tapio: Maan vetovoima G ja ylöspäin suuntautua voima.*

*Ope: Anu, onko muita voimia kuin painovoima? Tapio esitti tätä ylöspäin suuntautuvaa voimaa.*

*Anu: Ilmanvastus.*

*Ope: Minna, onko muita voimia kuin tuo G?*

*Minna: Ilmanvastus.*

*Ope: Onko Tapion ylöspäin vievää voimaa? Jussi.*

*Jussi: Ilman noste.*

*Ope: Ilman noste, se on pieni, joten voitais ajatella, että se on merkityksetön. Ilmanvastus sillä on olemassa - tulkoon se tuolta sivulta. Eli ilmanvastus sillä on olemassa.*

*Ville: Eli ilmanvastus ei voi varmaan olla alaspäin, jos se ei liiku?"*

Oppilaat epäilevät ilmanvastuksen suuntaa, ja opettaja pyrkii esimerkein selittämään, että ilmanvastus on liikkeen suunnalle vastakkainen.

*Ville: "Jos sillä on ilmanvastus, niin pakkohan sillä on olla jokin voima ylöspäin, josta sille aiheutuu ilmanvastus alaspäin.*

*Ope: Vilellä ja Tapiolla on siellä nyt käsitys maagisesta ylöspäin vaikuttavasta voimasta, eikö niin? Voima syntyy aina vuorovaikutuksesta. Sano Tapio, mistä vuorovaikutuksesta syntyy tähän lumilautailijaan vaikuttava, sinun mielestäsi ylöspäin vievä voima? Nimeä minulle se vuorovaikutus?"*

*Tapio: Vuorovaikutus?*

*Ope: Vuorovaikutus tarvitaan, jotta voima syntyy."*

Opettaja luettelee sanallisesti eri vuorovaikutuksia ja kysyy uudelleen, mistä vuorovaikutuksesta syntyy ylöspäin vievä voima.

*Tapio: "Silloin kun se lähtee laskemaan tuolta mäen päältä.*

*Ope: Mitkä ovat ne vuorovaikutuksen tekijät, ole hyvä?"*



*Anu: Tuuli.*

*Ope: Tuuli vaikuttaa alaspäin ilmanvastuksena."*

Lopulta opettajan äänenpaino vahvistuu ja Tapio alkaa hermostua...

*Ville: "Painovoima antaa sille vauhtia, kun se on tuolla ylhäällä.*

*Ope: G on jo täällä. Se vaikuttaa koko ajan. Onko muita?*

*Tapio: Mutta eikö siellä pidä olla joku voima, joka vetää sitä ylöspäin, vai meinaatko, että se itsestään vaan liikkuu ...ja ilmanvastus tulee muuten vaan tuossa noin?.. että sillä ei ole vastavoimaa?*

*Ope: Nyt meni suunnitelmat kyllä uusiksi, mutta tämä täytyy nyt käsitellä."*

Opettaja ottaa toisen esimerkin, moukarin heitto, ja kysyy moukariin vaikuttavia voimia kädestä irtoamisen jälkeen. Tapio ehdottaa jälleen painovoiman lisäksi heittäjän heiton aiheuttamaa voimaa ja kysyy, mihin se energia sitten häviää. Opettaja alkaa kokea neuvottomuutta opettaessaan. Keskustelu jatkuu, kestää lähes 17 min ja se päättyy ilman yhteisymmärrystä siitä, miksi lumilautailijaan juuri kourusta irtoamisen jälkeen ei kohdistu ylöspäin vievää voimaa.

Opetushetki osoittaa, miten vahva oppilaan impetusperiaatteen mukainen "liikevoiman" käsite on ja miten käsitteet voima ja energia sekoitetaan toisiinsa, kuten edellä mainitut tutkimuksetkin kertovat. Opettaja olisi voinut sanallisen selityksen sijaan piirtää lumilautailijalle vuorovaikutuskaavion ja näyttää vuorotellen, miten vuorovaikutuskaavion vuorovaikutuksista syntyy voimat voimakuvioon. Kun kaikki vuorovaikutukset olisi käyty läpi, oppilas olisi ajautunut kognitiiviseen konfliktiin aikaisemman käsityksensä kanssa. Tällöin olisi voitu havainnollisesti näyttää ja todeta, että koska ei ole olemassa "liikevoimaa" vastaavaa vuorovaikutusta, ei ole olemassa "liikevoimaakaan". Virheellisen ja kumotun käsityksen tilalle pitää oppilaille tarjota selitys kysymykseen, "miksi lumilautailija sitten liikkuu?". Lumilautailijalla on kyllä liikeenergiaa, mutta ei "liikevoimaa". Kappale voi varastoida energiaa, ei voimaa. Voima syntyy vuorovaikutuksen kautta ja vaikuttaa sen ajan kuin vuorovaikutuskin.

### **Testitehtävien suunnittelun ja toteutuksen arviointia**

Opetuksen eri vaiheissa kerättiin useilla testikysymyksillä tietoa oppilaiden oppimisesta. Opetusjakson FY1 testikysymykset onnistuivat melko hyvin, sillä niistä sai luotettavaa evidenssiä tutkimuskysymysten vastauksiin. Luotettavuutta olisi ehkä parantanut se, että kaikki N3. lakia koskevat testikysymykset olisivat olleet samoista fysikaalisista tilanteista, joissa oppilas olisi konstruoinut myös vuorovaikutuskaavion. Tällöin olisi voinut tutkia vuorovaikutuskaavion ja N3. lain osaamisen yhteyttä toisiinsa juuri samassa tilanteessa. Toisaalta voidaan ajatella, että vuorovaikutuskaavion käyttö erilaisissa konteksteissa opettaa oppilasta ajattelemaan voiman vuorovaikutuksesta syntyneenä, ja siten hän oppii soveltamaan N3. lakia oikein myös toisissa konteksteissa.



Opetusjakson FY4 testikysymyksissä oli vähemmän vuorovaikutuskaavioiden konstruointitehtäviä, koska kurssin opetuksellinen painopiste oli N2. lain soveltavissa ongelmanratkaisuisissa. Tämä oli osittain syy myös siihen, että tutkimuksen tulokset painottuivat enemmän opetusjakson FY1 varaan.

Oppilaille opetettiin ensimmäistä kertaa vuorovaikutuskaavion käyttö opetusjaksossa FY1, mutta sen käyttö opetettiin sekä sitä harjoiteltiin myös opetusjaksossa FY4, siksi haluttiin tutkia, ovatko oppimisen erot tutkimuksen aihealueissa muuttuneet vai pysyneet samanlaisina opetusjaksossa FY4. Vaikka tutkimuksen alkuperäinen suunnitelma oli, että oppilaan oppimista olisi voitu tutkia pidemmällä aikavälillä, niin se ei kuitenkaan toteutunut suunnitellusti, koska molemmissa opetusjaksoissa oli suhteellisen vähän samoja oppilaita. Tästä johtuen pidettiin myös FCI<sub>28</sub>-testi opetusjakson FY1 alussa ja opetusjakson FY4 lopussa. Tutkimuksen analyysin aikana huomasin, että olisi ollut hyvä pitää FCI<sub>28</sub>-testi myös opetusjakson FY1 lopussa, vaikka toisaalta se olisi aiheuttanut myös epäilyjä siitä, oppivatko oppilaat tehtävät ja vastaukset ulkoa.

Oppilaiden vastaamattomuus toi testikysymysten analyysiin myös tiettyjä ongelmia, joten siihen pitäisi jatkossa kiinnittää enemmän huomiota. Testikysymysten suunnittelussa pitäisi ottaa enemmän huomioon aika ja vaiva, joka oppilaalta vaaditaan kysymyksiin vastatessaan. Toisaalta tehtävät pitäisi pyrkiä fokuoimaan siten, että niistä saadaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. Myös tutkimusaihe pitäisi pyrkiä rajaamaan riittävän kapealle alueelle, ettei tehtäviä tulisi liikaa. Tällöin ehkä välttyttäisiin siltä, etteivät oppilaat kyllästy ja tule välinpitämättömiksi vastatessaan tehtäviin, jolloin vastausten laatu ja tehtäviin vastaamisen osuus heikkenevät.

Tulosten yhteydessä esitettiin vuorovaikutuskaavion, N3. lain ja voimakuvion konstruointiin liittyvien testikysymysten sisäistä yhtenäisyyttä mittaavat Cronbachin *alfan* arvot. Ne olivat tasoltaan hyväksyttäviä tai hyviä, jotka osoittavat testitehtävien reliabiliteetin olleen kohtuullisen hyvä.

## 7.4 Tutkimuksen luotettavuus ja uskottavuus

Tutkimuksen luotettavuuden (reliabiliteetti) ja uskottavuuden (validiteetti) arviointi pohjautuu Milesin ja Hubermannin (1994) esittelemään tutkimuksen tarkastelun luokitteluun (taulukko 7 - 3). He esittävät tutkimuksen johtopäätösten laadun tarkastelulle seuraavat laatua kuvaavat kriteerit ja niiden saavuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Kriteerien laatijoiden mukaan ne eivät ole sääntöjä vaan ”tienviittoja”, ja vaikka ne on suunniteltu kvalitatiivisen analyysin edistämiseksi, ne soveltuvat yhtä hyvin tähän tutkimukseen.

TAULUKKO 7-3. Luotettavuuden ja uskottavuuden laadun kriteerit tutkimuksessa ja kriteerien saavuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet (Miles & Huberman, 1994).

Laadun kriteeri	Tarvittavat toimenpiteet
<p><b>Objektiivisuus:</b> Johtuvatko johtopäätökset tutkittavasta kohteesta eikä tutkijasta?</p> <p><b>Vahvistettavuus:</b> Onko tutkimus toistettavissa?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Tutkimusmetodien tarkka kuvaus ja käytön perustelu</li> <li>◦ Aineiston keruun riittävä kuvaus</li> <li>◦ Johtopäätökset kytkeytyvät aineiston dataan</li> <li>◦ Analyysit esitetään riittävän selvästi</li> <li>◦ On oltava tietoinen ja tarkka tutkijasta johtuvista vaikutuksista</li> <li>◦ Onko tutkimusaineisto muiden saatavilla</li> </ul>
<p><b>Luotettavuus (Reliabiliteetti):</b> Onko tutkimus johdonmukainen ajan, tutkijoiden ja metodien suhteen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Tutkimuskysymykset ovat selvät ja sopusoinnussa tutkimuksen suunnitelmaan.</li> <li>◦ Tutkijan asema ja rooli on kuvailtu</li> <li>◦ Tulokset ovat yhtenevät aineiston eri konteksteissa</li> <li>◦ Tutkimuksen paradigma ja rakenne on selvä</li> <li>◦ Aineiston hankintatavat ovat sopivat tutkimuskysymyksiin</li> <li>◦ Jos käytetään tutkimusapulaisia, heillä on oltava riittävä tieto tiedon keruusta</li> <li>◦ Koodauksen yhtäpitävyys on tarkistettava</li> </ul>
<p><b>Sisäinen validiteetti:</b> Ovatko tulokset järjettäviä ja ovatko ne uskottavia tutkittaville ja lukijoille?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Tutkimuksen konteksti ja merkityksellisyys on kuvattu tarkoituksenmukaisesti</li> <li>◦ Mahdolliset ristiriidat on havaittu, esitetty ja tarkasteltu</li> <li>◦ Tuloksia on tarkasteltu tutkimuksen kannalta monipuolisesti</li> <li>◦ Tutkittavat pitävät johtopäätöksiä oikeina, jos ei - onko sille selitystä</li> </ul>
<p><b>Ulkoisen validiteetti:</b> Onko tutkimuksen johtopäätöksillä laajempaa vaikutusta tai ovatko ne siirrettävissä muihin konteksteihin?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Tutkimukseen osallistuneet henkilöt, tutkimusasetelma ja -prosessit on kuvattu niin, että voidaan tehdä asianmukainen vertailu muihin tutkimuksiin</li> <li>◦ Tutkimuksen yleistettävyyden ongelmia on käsitelty</li> <li>◦ Tulokset yhtenevät aiemman teorian kanssa</li> <li>◦ Prosessit ja tulokset esitetään riittävän yleisesti niin, että niitä voidaan soveltaa muissa konteksteissa</li> <li>◦ Suositellaan sovellettavia jatkotutkimuskohteita</li> <li>◦ Tulosten vertailu aiempiin tuloksiin nähdä</li> </ul>
<p><b>Hyödynnettävyys:</b> Kuinka saatuja tuloksia voidaan käyttää hyödyksi?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Tulokset on esitetty selvästi ja ne ovat helposti saatavilla mahdollisille käyttäjille</li> <li>◦ Tutkimus tarjoaa hyödynnettävää tietoa ja johtaa tiettyihin käytännön toimiin</li> <li>◦ Miten hyödyllisiksi mahdolliset tulosten käyttäjät ovat ne kokeneet</li> <li>◦ Tutkimuksessa pohditaan sen eettisyyttä ja tulosten arvoperustaa</li> </ul>

### 7.4.1 Objektiivisuus ja vahvistettavuus

Tutkimuksessa käytetyt metodit olivat melko tyypillisiä opetuksen ja oppimisen tutkimusmetodeja. Transferopettajille suunniteltiin oppilaiden ennakkokäsitykset huomioon ottava opetusinterventio. Oppimisen tutkimiseen käytettiin alku- ja lopputestejä, joiden avulla arvioitiin oppimisessa tapahtuvaa kehitystä. Testit oli ajoitettu eri opetuksen vaiheisiin, jotta olisi voitu seurata myös oppilaiden oppimisen polkuja. Lisäksi transferopettajien opetuksen videoinnilla pyrittiin saamaan selville, mitä oppituntien aikana todella tapahtui. Myös oppilaiden haastattelulla haluttiin saada selville oppilaiden käsityksiä pilottiopetuksessa oppimistaan asioista ja toteutetusta opetuksesta. Näin voitiin opetuksen suunnitelmaa kehittää paremmaksi. Edellä mainittujen tutkimusmetodien valinnalla pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvä ja monipuolinen tieto tutkimuskohteesta. Valitettavaa vain oli se, että tutkimuksessa kerättyä materiaalia oli ehkä liiankin paljon, eikä sitä pystytty tässä ajassa ja tutkimuksessa kaikilta osin hyödyntämään.

Tutkimusaineiston keruu on tutkimuksessa pyritty kuvaamaan luvussa 4.2. selkeästi ja riittävän monipuolisesti Kuvauksessa pyrittiin avoimuuteen ja rehellisyyteen, aineiston keruussa esiintyneitä ongelmia unohtamatta (Luku 4.1).

Tulosten analysoinnissa pyrittiin mahdollisimman suureen tarkkuuteen ja tasapuolisuuteen. Tähän päästäkseni olen joutunut toistamaan analyysyjä useampaan kertaan, osittain virheiden korjaamiseksi tai päästäkseni luotettavaan, monipuoliseen ja selkeään analyysiin tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tulosten raportoinnissa pyrittiin toteuttamaan tutkimuksen eettisiä periaatteita. Tutkittavaan asiaan liittyvät tulokset esitettiin siinä muodossa mitä analysoidusta aineistosta saadaan, niihin ylimääräistä lisäämättä tai tutkittavan asian kannalta oleellista pois ottamatta.

Tutkimusaineiston käyttö tutkijan tekemien analyysien tai videoaineistosta tehtyjen tulkintojen tarkistamiseen lisää tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimusaineisto on testien osalta muiden saatavilla. Oppilaiden testivastaukset ovat kirjallisessa muodossa ja videomateriaali on sähköisessä muodossa tallennettuna. Myös tutkimusaineiston koodaukset ovat tiedostoihin tallennettuina. Videoaineiston käyttöön pyydettiin opettajilta ja oppilailta lupa, joten sen käyttö on tässä tutkimuksessa mahdollista.

Tutkijan tausta on tutkimuksessa esitelty, ja tutkija on ollut tietoinen sen vaikutuksesta tutkimukseen. Analyysien tekemisessä olen joutunut tasapainoilemaan sen erilaisen näkemyksen kanssa, mikä tutkijalla ja opettajalla on tutkitavasta kohteesta. Tutkija pyrkii tutkimaan kohdetta systemaattisesti ja perusteellisesti, kun taas opettaja tulkitsee oppilasta ja hänen ajatusmaailmaansa kokemuksensa ja inhimillisen näkemyksensä mukaan. Tutkimusprosessin aikana olen kiinnittänyt erityistä huomiota siihen, että pyrin säilyttämään neutraalin ja objektiivisen otteen niin tulosten koodauksessa kuin myös tulosten analyysien johtopäätöksiä kohtaan.

Tutkimusmetodien esittelyllä ja tutkimuksessa käytettyjen rajoitusten tai toteutusmallien esittelyllä pyrittiin antamaan lukijalle avoin ja totuudenmukainen kuva tutkimuksen toteutuksesta.

#### 7.4.2 Luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuuteen kuuluu se, että tutkimus on tehty huolellisesti, testikysymykset mittaavat sitä, mitä niiden oli tarkoitus mitata ja tutkimuksen tulokset ovat toistettavissa (Gall ym., 2007, s. 151, 651).

Tutkimuskysymykset on pyritty esittämään selkeästi ja niitä on tutkimusprosessin aikana tarkennettu. Tutkimusaineisto ja metodit on pyritty valitsemaan niin, että niiden avulla saadaan luotettavat vastaukset tutkimuskysymyksiin. Oppimista tutkittiin oppilaiden testeissä antamalla kirjallisilla vastauksilla. Kysymykset koostuivat monivalintatehtävistä, oppilaiden kirjallista selityksistä ja tuotoksista. Monivalintatehtävän etuna on sen selkeä tulkinta ja vertailtavuus. Tämä havaittiin, kun voimakuvioiden koodauksen kriteerejä jouduttiin useaan kertaan tarkentamaan ja siten myös uudelleen koodaamaan. Toisaalta oppilaan oma tuotos saattaa sisältää monipuolisempaa tietoa osaamisesta kuin monivalintatehtävä.

Tutkijan asema opettajana ja oman opetuksensa tutkijana on koettu ongelmallisena. Siksi tässä tutkimuksessa on kiinnitetty tuohon ongelmaan erityinen huomio siten, että opetuksen toteuttivat yleislukioiden opettajat, jotka eivät ole olleet tutkimusprosessissa mukana (Luku 2.4). Heitä kutsuttiin tässä tutkimuksessa transferopettajiksi. Tällä pyrittiin ehkäisemään opetuksen tutkimuksen antaman asiantuntemuksen vaikutusta oppimistuloksiin. Tämä vahvistaa tulosten luotettavuutta siinä mielessä, että tulokset ovat tutkijasta riippumattomia, koska tutkija itse ei ole osallistunut opetukseen, muuta kuin sen toteutuksen suunnittelijana. Sillä, että opetuksen toteuttivat yleislukioiden opettajat omassa arkisessa työympäristössään, on erityinen merkitys tulosten merkittävyyden ja siirrettävyyden kannalta. Toisaalta tuolloin se, mitä opetuksen aikana on tapahtunut, voi jäädä osittain tutkijan havainnoinnin ulkopuolelle. Tämä koskee erityisesti vertailukoulujen opetusta, mistä olisi voinut hankkia enemmänkin tietoa. Samoin eri ryhmien oppimisen testaamisessa, sen ajankohdan, ajankäytön tai oppilaiden vastaamisen motivoinnissa voi olla eroja.

Sosiokulttuurinen näkökulma korostaa myös opettajan roolia oppimisessa. Tiedon välittymistä ja oppimista on tarkasteltu sosiokulttuurisesta näkökulmasta (Luku 2.1.1). Lapsen tiedon alkuperän, voimakäsitteen ymmärtämisen vaikeuksien ja käsitteiden oppimiseen vaikuttavia tekijöitä on pyritty esittämään sosiokulttuurisesta näkökulmasta, vaikkakin sen ymmärtäminen näkökulman monimuotoisuudesta johtuen oli haastava tehtävä.

Tutkimusaineisto on kerätty suhteellisen kattavasti. Tutkimukseen osallistuneet koulut olivat erikokoisia yleislukioita ja sijaitsivat eri puolilla Suomea. Tämä tukee sitä tavoitetta, jolla saadaan mahdollisimman aitoa tietoa opetuksen toteutuksesta ja oppilaiden osaamisesta opetusjaksojen toteutuksen jälkeen.

Tutkimuksen asetelma pyrittiin jo alkuvaiheessa laatimaan siten, että saataisiin riittävä ja luotettava tieto oppilaiden oppimisesta myös pidemmällä ai-

kavälillä. Siksi tutkimus suoritettiin kahdessa eri opetusjaksossa. Suunnitelma ei kuitenkaan toteutunut aivan halutulla tavalla, ja tutkimuksen toteutuksessa esiintyneitä vaikeuksia olen esitellyt metodiosassa. Tutkimuksen tuloksia olen tarkastellut molemmissa opetusjaksoissa ja pohtinut niissä esiintyneitä mahdollisia eroja tai ristiriitoja.

Tutkimusongelman kannalta pyrin hankkimaan tietoa paitsi pidemmältä aikaväliltä, niin myös laajaa ja monipuolista aineistoa hyödyntäen. Pysin laatimaan monipuolisia kysymyksiä (monivalintatehtävä, avoin kysymys, kirjallinen perustelu ja tuottamistehtävä) testeihin. Testikysymysten laatua, määrää tai kohdentamista olen myös avoimesti pohtinut tutkimuksessani. Testikysymysten laatua pyrin parantamaan siten, että testasin niiden toimivuutta ensin omassa opetuksessani. Transferopettajien opetuksesta voitiin tehdä jälkepäin havaintoja, joilla voitiin selittää oppilaiden oppimisessa havaittuja eroja. Opetuksen videomateriaalista tehdyille tulkinnoille voi saada samalla vahvistusta, jos niitä tulkitsee toinenkin tutkija.

Videoanalyysin teki kokenut tutkija Niina Nurkka. Hän suoritti tutkijan laatimien ja yhdessä sovittujen kriteerien pohjalta videomateriaalin analysoinnin atlas.ti- ja excel -ohjelmien avulla. Olen katsonut koodattuja sitaatteja ja totesin, että koodaus oli tehty täsmällisesti. Vain yhden sitaatin tulkitsin eri tavalla kuin koodaaja. Testikysymyksissä olleiden vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviotehtävien osalta vastausten koodaus tarkistettiin toisen tutkijan avulla Cohenin *Kappaan* perustuen. Pääsimme koodausten vertailussa erinomaiseen yhteensopivuuteen. Samoin opetusjakson FY1 N3. lain voima- ja vastavoimapaarin nimeämistehtävän koodaus tarkistettiin kahden tutkijan avulla, eikä koodauksessa ollut eroja. Täten tutkijan vaikutus tutkimuksen luotettavuuteen on tarkistettu ja todettu 1 - 2 tutkijan avulla tältä osin erinomaiseksi.

Oppilaiden oppimista mitattiin erilaisten testikysymysten avulla. N3. lain tehtävät oli suurelta osin muokattu aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyistä tehtävistä, joten niiden validiteetti oli jo tarkistettu. Vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviotehtävät olivat osin tutkijan laatimia tehtäviä.

Mittarin reliabiliteetti liittyy läheisesti sen validiteettiin. Validiteetti selvittää mittaako mittari sitä, mitä sen oli tarkoitus mitata. Reliabiliteetti liittyy mittarin kykyyn mitata luotettavasti. Mittari ei voi olla validi ellei se ole luotettava. Mittarin reliabiliteetti ei kuitenkaan riipu sen validiteetista. (Tavakol & Dennick, 2011.) Tutkimuksessa mittarin reliabiliteettia vuorovaikutuskaavioiden, voimakuvioiden ja N3. lain tehtävien osalta mitattiin Cronbachin *alfan* avulla. Näiden tehtävien mukaiset Cronbachin *alfat* on esitetty tuloslukuissa 6.2.1 - 6.2.3. Samalla tarkasteltiin myös arvojen merkitystä ja pohdittiin syitä, jos luotettavuus jäi heikoksi.

Cronbachin *alfa* mittaa testikysymysten sisäistä yhtenäisyyttä, jolloin testin kysymysten tulisi mitata 1) samaa käsitettä tai ominaisuutta (Tavakol & Dennick, 2011; Meltzer, 2002) ja 2) jos sama mittaus tehdään uudelleen, antaisivatko testitehtävät saman tuloksen ja 3) vaikuttavatko pienet variaatiot testitehtävissä (kuten vähäiset kontekstuaaliset tai representationaaliset muutokset tai kysy-

myksen muodon vaihtelut esim. monivalintakysymys tai vapaa vastausmuoto) aiheuttaen suuria vaihteluita tuloksissa (Meltzer, 2002).

Testin reliabiliteettiin voivat vaikuttaa useat seikat. Wolfen (1994) mukaan tällaisia päätekijöitä on neljä: testattavan ryhmän koko, ryhmien taitavuuden taso, mittauksen pituus (mitä pidempi testi sitä suurempi virhemahdollisuus) ja tapa, jolla reliabiliteetti lasketaan. (Cohen ym., 2007, sivu 159.) Tavakol ja Den- nicken (2011) ovat esittäneet testin pituudesta päinvastaisen näkemyksen, eli pidemmät testit olisivat *alfalla* mitattaessa luotettavimmat kuin lyhyet testit. Hei- dän mukaansa myös se, että tehtävillä ei ole yhteyttä toisiinsa (kuten testin eri käsitteitä tai rakenteita mittaavat tehtävät) ja tehtävien heterogeenisuus vaikut- tavat *alfan* arvoon.

### 7.4.3 Sisäinen validiteetti

Validiteetilla tarkoitetaan tutkimusprosessin uskottavuutta siten, että tuloksista tehdyt johtopäätökset ovat päteviä ja ulkoisten muuttujien vaikutus on huomi- oitu (Gall ym., 2007, s. 151, 195, 383).

Tutkimuksen konteksti on kuvattu luvuissa 1.2 ja 2.4 koulujen, opettajien ja oppilaiden osalta ja luvuissa 5.3 ja 5.4 opetuksen osalta.

Tutkimuksessa kerätty aineisto on monipuolinen ja laaja siten, että se täyt- tää luotettavaan tilastolliseen päättelyyn tarvittavat ehdot. Otoksen koko on riittävä ainakin silloin, kun kahden ryhmän välille saatiin suuri efektikoko. Gal- lin ym. (2007, s.144) mukaan oikeaan päättelyyn riittää tällöin pienempi otosko- ko.

Tuloksia pyrittiin tarkastelemaan huolellisesti ja monipuolisesti. Testiteh- tävät oli esitetty eri representaatioissa ja eri konteksteissa. Vektorirepresentaati- ossa esitetyssä N3. lain tehtävässä (Liite 1, tehtävä 3.3) oppilaita pyydettiin esit- tämään monivalinnan perustelu myös sanallisesti. Tällä haluttiin testata, ovatko oppilaat vastausvaihtoehdon valitessaan ymmärtäneet myös vektorikuvion merkityksen oikein. Monivalintatehtävä oli pätevä mittaamaan N3. lain ymmär- tämistä, sillä vain 3 (5,9 %) transferoppilasta ja 1 (4,2 %) vertailuoppilas oli selit- tänyt puutteellisesti tai väärin monivalinnan merkityksen. Tulosten pätevyyttä selvitettiin myös vertaamalla tietyin perustein rajoitetun oppilasjoukon osaa- mista kaikkiin oppilaiden vastauksiin. Näin tehtiin erityisesti vuorovaikutus- kaavioiden ja N3. lain yhteydessä (Luku 6.2.1 ja 6.2.2).

Seuraavassa luvussa tarkastellaan tulosten luotettavuutta ja uskottavuutta ja siten myös niistä tehtyjen johtopäätösten pätevyyttä vertaamalla oppimista heikoimman transferkoulun ja parhaan vertailukoulun välillä eri aihealueissa. Tuo vertailu vahvistaa merkittävästi varsinkin opetusjakson FY1 osaamisen pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä.

Tutkimuksessa esitettiin tulokset eri tilastollisilla tunnusluvuilla *p*-arvo, efektikoko ja luottamusväli, koska tilastollisten menetelmien tutkijat sitä ylei- sesti suosittavat. Näistä on mainittu luvussa 4.4. Tilastollisten menetelmien käytöllä lisätään tutkimuksen uskottavuutta, koska tunnuslukujen avulla muut tutkijat voivat verrata saatuja tuloksia tutkimuksiinsa. Samoin luottamusvälin avulla parannetaan tulosten yleistettävyyden arviointia.



Toki tutkimuksen prosessissa jäi vielä parannettavaa. Testikysymysten laadintaan olisi pitänyt käyttää enemmän aikaa. Huomasin tutkimuksen aikana, että eri aihealuetta koskevat kysymykset olisi ollut hyvä laatia aina samassa kontekstissa. Hyvänä esimerkkinä oli Anna hississä (Liite 1, tehtävä 2.4), jossa kysyttiin vuorovaikutuskaavio, voimakuvio ja N3. laki samassa fysikaalisessa tilanteessa. Tämä puute ilmeni juuri vuorovaikutusten ja N3. lain oppimisen yhteyden tarkastelussa. Samoin opetusjakson FY4 testeissä olisi pitänyt pyytää oppilaita konstruoimaan useampia vuorovaikutuskaavioita, että olisin voinut paremmin verrata niiden käytön vaikutusta voimien tunnistamisen, N2. lain mukaisesti oikeiden voimakuvioiden konstruoinnin sekä N3. lain osaamiseen. Niiden osuus jäi opetusjaksossa FY4 nyt vähäiseksi, koska oppimisen tavoitteet kurssilla olivat laajat, ja opetuksen pääpaino oli N2. lain matemaattisen representaation soveltamisessa. Jälkeenpäin tarkasteltuna opetusjakson FY4 testikysymyksiä olisi pitänyt myös paremmin kohdistaa vastaamaan tutkimuskysymyksiä ja karsia pois niitä vähemmän tukevat kysymykset. Tämä olisi voinut ehkä auttaa myös siinä, että oppilaat olisivat vastanneet säännöllisemmin kaikkiin kysymyksiin.

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa oppilaiden oppimisesta myös pidemmällä aikavälillä. Siksi tutkimus tehtiin kahdessa opetusjaksossa, joiden ajallinen ero koulusta riippuen on noin vuosi. Vaikka annoin transferopettajille ohjeet, että toivon tutkimuksessa mukana olevissa ryhmissä opetusjaksoissa FY1 ja FY4 olevan mahdollisimman monta samaa oppilasta, toive ei toteutunut toivomallani tavalla oppilaiden valinnoista johtuen.

#### 7.4.4 Tulosten luotettavuus ja uskottavuus eri aihealueiden osaamisessa

Tarkastellaan tulosten luotettavuutta ja uskottavuutta transfer- ja vertailukoulujen välillä eri aihealueiden osaamisessa. Jos transferkoulujen osaaminen on parempaa, on tärkeää tietää, oliko osaaminen kaikissa transferkouluissa parempaa kuin vertailukouluissa, vai oliko joku transferkoulu vain muita transferkouluja selvästi parempi. Siksi oppilaiden osaamista vertaillaan eri aihealueissa heikoimman transferkoulun ja parhaimman vertailukoulun välillä. Näiden tilastolliset erot vuorovaikutuskaavioiden, vuorovaikutusten tunnistamisen, N3. lain, voimien tunnistamisen ja N2. lain mukaan oikeiden voimakuvioiden osaamisessa on esitetty opetusjakson FY1 osalta taulukossa 7 - 4 ja opetusjakson FY4 osalta taulukossa 7 - 5. Jos vertailukoulu oli parempi kuin transferkoulu, niin lisäksi on ilmoitettu myös toiseksi heikoimman transferkoulun osaamisen ero parempaan vertailukouluun nähden, kuten taulukossa 7 - 5 on esitetty.

Opetusjaksossa FY1 heikoin transferkouluista oli oppimistuloksissa parempi kuin paras vertailukoulu kaikissa muissa tutkimuksen osaalueissa paitsi vuorovaikutuskaavioiden konstruoinnissa. Vuorovaikutuskaavioiden kategorijakaumassa paras vertailukoulu K2 oli yhtä eli heikointa transferkoulua T2 parempi. Koulussa K2 osattiin vastaavasti konstruoida vuorovaikutuskaavioita selvästi paremmin kuin toisessa vertailukoulussa K1, ja efektikoko oli suuri ( $\chi^2(2) = 136,0, p < 0,001; V = 0,57$ ).



TAULUKKO 7-4. Tilastolliset erot osaamisen eri alueilla heikoimman transferkoulun ja parhaimman vertailukoulun välillä opetusjaksossa FY1. Koulun koodin yhteydessä on ilmoitettu suluissa oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit. Tilastollinen merkitsevyys  $p$  on merkitty lihavoidulla fontilla.

Aihe	Ero	Testisuure	$p$	Efektikoko	tulkinta
Vuorovaikutuskaavion laatuluokat	K2>T2	$\chi^2(2)=104,9$	<b>&lt;0,001</b>	$V = 0,53$	suuri
Vuorovaikutusten tunnistaminen	T2(77 %)>K2(64 %)	$\chi^2(1)=7,26$	<b>0,007</b>	$V = 0,14$	pieni
N3. laki	T2(80 %)>K1(68 %)	$U = 65,0$	0,124	$r = 0,29$	keskisuuri
Voimien tunnistaminen	T2(70 %)>K1(51 %)	$\chi^2(1)=17,5$	<b>&lt;0,001</b>	$V = 0,19$	pieni
N2. laki	T2(37 %)>K1(30 %)	$U = 24915$	0,114	$r = 0,07$	-

TAULUKKO 7-5. Tilastolliset erot osaamisen eri alueilla heikoimman transferkoulun ja parhaimman vertailukoulun välillä opetusjaksossa FY4. Koulun koodin yhteydessä on ilmoitettu suluissa oikeiden vastausten suhteelliset frekvenssit

Aihe	Ero	Testisuure	$p$	Efektikoko	tulkinta
N3. laki	T1(64 %)>K1(56 %)	$U = 50,5$	0,324	$r = 0,21$	pieni
Voimien tunnistaminen	K1(51 %)>T3(35 %)	$\chi^2(1) = 2,92$	0,088	$V = 0,14$	pieni
	T2(53 %)>K1(51 %)	$\chi^2(1) = 0,11$	0,740	$V = 0,02$	-
N2. laki	K1(28 %)>T3 (22 %)	$U = 1879$	0,420	$r = 0,07$	-
	T2(34 %)>K1(28 %)	$U = 10053$	0,333	$r = 0,06$	-

Edellä mainittuun poikkeukseen vuorovaikutuskaavioiden osaamisessa löytyi videonauhoituksen analysoinnista selitys. Transferkoulun T2 opettaja käytti opetuksessaan laatuluokkaan hyvä luokiteltavaa esitysmuotoa, jota hän perusteli lähinnä ajan säästöllä opetuksessa. Hän näki yksinkertaisemman vuorovaikutuskaavion olevan riittävä voimien tunnistamiseen. Videoidussa opetuksessa hän puhuessaan kuitenkin mainitsee ja kädellä osoittaen näyttää kappaleiden välisen vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuuden. Näin ollen on ymmärrettävää, että monet oppilaat eivät myöskään käyttäneet erinomaista vuorovaikutuskaavion esitystä testissä, vaikka se oppikirjassa esitetäänkin. Laskin lisäksi hyvän tai erinomaisen ja heikon vuorovaikutuskaavion frekvenssien välisen eron kouluissa, sillä oikein tunnistettujen vuorovaikutusten kriteerinä on hyvä tai erinomainen vuorovaikutuskaavio. Nyt vuorostaan kaikki transferkoulut olivat vuorovaikutusten tunnistamisessa parempia kuin vertailukoulut. Koulutyyppeiden välisessä vertailussa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero heikoimman transferkoulun T2 ja parhaan vertailukoulun K2 välillä, ja efektikoko oli pieni ( $\chi^2(1) = 7,26, p = 0,007; V = 0,14$ ).

Voimien tunnistamisessa löytyi tilastollisesti merkitsevä ero heikoimman transferkoulun ja parhaan vertailukoulun välillä pienellä efektikoolla. N3. lain osaamisessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta efektikoko oli kuitenkin keskiuuri. Joten myös N3. lain osaamisessa kaikkien transferkoulujen voi-

daan sanoa olleen parempia kuin vertailukoulujen. Vaikka ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, niin edellä mainittu väite voidaan esittää. Robinsonin ja Levinin (1997) mukaan ennemminkin efektikoko kuin  $p$ -arvo on osoitin, joka antaa informaatiota eron tai suhteen merkityksestä. Transferppilaiden keskiarvo N2. lain osaamisessa voimakuvioissa oli kaikissa kouluissa parempi kuin vertailuoppilaila, mutta ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä, ja efektikoko oli mitätön.

Opetusjaksossa FY4 eivät erot olleet eri osaamisen alueilla enää niin selvät kuin opetusjaksossa FY1, ja paremmuusjärjestys heikoimman transferkoulun ja parhaan vertailukoulun välillä vaihteli. Kaikissa transferkouluissa osattiin edelleen N3. laki paremmin kuin vertailukouluissa. Ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä, ja efektikoko oli pieni.

Transferkoulussa T3 oli voimien tunnistaminen ja N2. lain soveltaminen voimakuvioissa osattu heikommin kuin parhaassa vertailukoulussa K1. Erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä tälläkään kertaa. Koska transferkoulussa T3 oli niin vähän oppilaita kurssilla FY4, laskettiin voimien tunnistamisessa ja N2. lain osaamisessa erot myös seuraavaksi heikoimman transferkoulun T2 kanssa. T2 koulun oppilaat osasivat tunnistaa voimat ja soveltaa N2. lakia voimakuvioissa keskiarvolla mitattuna paremmin kuin parhaan vertailukoulun oppilaat, mutta erot eivät olleet koulujen välillä tilastollisesti merkitseviä.

#### 7.4.5 Ulkoinen validiteetti

Tutkimukseen osallistuneita kouluja ja niiden oppilaita ei valittu satunnaisesti, joten siinä suhteessa ei täydellä varmuudella voida sanoa tutkimusotoksen vastaavan kaikkien Suomen lukiolaisten osaamista. Valinnan perustelut ovat kuitenkin käytännölliset, sillä tutkimukseen valittujen koulujen piti käyttää samaa oppikirjaa. Kirjan kustantajan listalta valittiin erikokoisia kouluja eri puolilta Suomea pyrkien mahdollisimman edustavaan otokseen lukiolaisista ja erilaisista ”tavallisista” lukioista. Minulla ei ollut suhteita mihinkään valituista kouluista enkä tuntenut ennestään tutkimukseen osallistuneiden koulujen fysiikan opettajia.

Aikaisemmin todettiin, että aloittavien oppilaiden voimakäsitteen osaaminen on todettu lähes yhtä heikoksi, joten siltä osin tutkimuksessa ryhmien oletetaan olevan likimäärin samalla lähtötasolla osaamisen suhteen. On kuitenkin huomioitava, että eri opetusryhmät eivät ole koskaan identtiset, eivätkä koskaan luotettavasti täysin ekvivalentteja (Meltzer, 2002). Täten opetuksen tutkimuksessa on mahdoton sanoa, että vertailtavat ryhmät (transfer ja vertailu) olisivat ekvivalentteja. Lisäksi on pidettävä mielessä, että fysiikan opetuksen tutkimus sisältää monia vaikeasti tunnistettavia tai kontrolloitavia muuttujia, kuten oppilaiden väestötiedot, opettajan opetustyyli, opetuksen materiaalin ohjaus ja diagnostisten mittareiden validiteetin ja reliabiliteetin ongelmat (Meltzer, 2002). Samoin oppilaiden fysiikan käsitteiden mentaaliset mallit ovat usein monimuotoisia ja sisältävät päällekkäisiä ja usein ristiriidassa olevia käsityksiä (Meltzer, 2002). Tästä johtuen tutkimuksessa pyritään validiteetin parantami-

seksi esittämään aineistosta kattavat tilastolliset analyysit, ja lisäksi tutkimuksen tuloksia on verrattu muiden tutkijoiden vastaaviin tuloksiin ja pohdittu havaittuja eroja oppimisen tuloksissa.

Tutkimusten tulosten ja johtopäätösten uskottavuutta lisää se, että aikaisemmat tutkimukset antavat tuloksille uskottavuutta. Lisäksi tämä tutkimus on ainakin osaltaan Savinaisen ym. (2005) tutkimuksen tulosten toistava tutkimus lukio-opetuksessa, mutta erilaisella oppilasjoukolla. Gall ym. (2007, s. 148) mukaan tällaisen tutkimuksen tulokset ovat paljon merkittävämmät siinä mielessä, että ne herättävät luottamusta todellisista oppimisen eroista ryhmien välillä, jos uusi tutkimus antaa samanlaiset tulokset ja siten toistaa aikaisemman tutkimuksen löydöksen. Tulosten tulkinnat, joiden mukaan vuorovaikutuskäsitteen käyttö voimakäsitteen opetuksessa edistää oppilaiden käsitteellistä ymmärrystä N3. laista, saavat näin tukea ja vahvistettavuutta aikaisemmista tutkimuksista (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005; Jauhainen ym., 2006).

#### 7.4.6 Hyödynnettävyys ja siirrettävyys

Fysiikan opetuksen kirjallisuudesta löytyy, varsinkin lukiotasolta, vähän tutkimuksia, joissa tutkitaan voimakuvion käytön vaikutuksia oppimistuloksiin (Ayesha ym., 2010). Tämä tutkimus vuorovaikutuskaavion käytön vaikutuksesta oppilaiden voimakuvion konstruointiin on uutta, sillä tutkijan tiedossa ei ole vastaavia tutkimuksia. Samoin aikaisemmissa tutkimuksissa (Savinainen ym., 2005; Hinrichs, 2005), joissa on tutkittu hiukan erilaisen ”vuorovaikutuskaavion” käytön vaikutusta N3. lain oppimiseen lukio- ja yliopistotason opiskelijoilla, ei ole tarkasteltu voimaparin nimeämiseen liittyviä tehtäviä eikä eri representaatioita sisältäviä tehtäviä.

Koska tutkimus suoritettiin normaalissa lukioympäristössä, tutkimus antaa ensiksikin osoitusta siitä, että vuorovaikutuskaavion huolellisella käytöllä voidaan parantaa oppilaan voimakäsitteen, N3. lain, voimien tunnistamisen ja oikean voimakuvion konstruoinnin oppimista lukion fysiikan opetuksessa. Tutkimuksen tulokset edesauttavat opettajaa ymmärtämään oppilaan oppimisen ongelmia mekaniikan opetuksessa ja antavat työvälineitä voimakäsitteen ja Newtonin lakien opettamisen ja oppimisen kehittämiseen. Tuloksia voidaan hyödyntää myös opettajankoulutuksessa.

Toiseksi tutkimus antaa neuvoja ja ohjeita siitä, mitä vuorovaikutuskaavion käytössä kannattaa opetuksessa painottaa, millaisia ongelmia voidaan kohdata ja miten ne voidaan välttää. Samoin tutkimus antaa viitteitä siitä, miten uusi opetusmenetelmä on siirrettävissä ja toteutettavissa koulumaailmassa. Lukion kiireinen opiskelutahti ja runsaat oppisisällöt aiheuttavat opettajalle paineita karsia opetettavaa oppiainesta, ja kenties myös uuden opetusvälineen käyttöönotto vaatii tietyn kynnyksen ylittämistä. Toisaalta oppilas saattaa vaatia selitystä ja perusteluja voimakuvion rinnalla käytettävälle toiselle representaatiolle, vuorovaikutuskaaviolle. Yksi vaihtoehto voisi olla, että ala- ja yläkouluissa otetaan jo käyttöön vuorovaikutuskaavio, jonka avulla oppilaalle opetetaan voimakäsite ja N3. laki käsitteellisellä tasolla. Tällöin tuttu työkalu olisi myöhemmissä fysiikan opinnoissa helposti nivellettävissä voimakuvion konst-

ruointiin. Oppilas voi yksinkertaisissa fysikaalisissa tilanteissa jättää vuorovaikutuskaavion piirtämättä ja hahmottaa vuorovaikutukset päässään konstruoidessaan voimakuviota. Vaativammissa tilanteissa, joissa vaikuttavia voimia joutuu pohtimaan enemmän, oppilas saattaa hahmotella avuksi vuorovaikutuskaavion, jonka avulla hän on jo alakoulussa oppinut tunnistamaan voimat.

Jimenez ja Perales (2001) tukevat ajatusta vuorovaikutuskaavion käytöstä voimakuvion sijaan, kun he esittävät vektorirepresentaation sisältävän voimakuvion siirtämistä oppilaan myöhemmille ikävuosille, kunnes he hallitsevat voimakäsitteen merkittävimmät ominaisuudet. Vastaavasti jos oppilas ensimmäistä kertaa kuulee N3. lain esittävän perinteisessä muodossa: ”Jos kappale A vaikuttaa kappaleeseen B tietyllä voimalla, niin kappale B vaikuttaa kappaleeseen A yhtä suurella ja vastakkaissuuntaisella voimalla” ilman mitään mainintaa vuorovaikutuksesta, niin on ymmärrettävää, että oppilas yhdistää levossa olevaan kappaleeseen kohdistuvat yhtä suuret ja vastakkaissuuntaiset voimat voimaksi ja vastavoimaksi. Tutkijoiden yleinen näkemys on, että voimakäsite on opetettava vuorovaikutuksista käsin. Siksi sekaannusten ja virheellisten käsitysten välttämiseksi vuorovaikutuskaavio olisi otettava käyttöön heti ensimmäisillä opetuskerroilla.

Opetuksen suunnitelma ja opetuksessa käytetyt opetusmonisteet ovat sellaisenaan tai osina siirrettävissä lukion mekaniikan opetukseen. Testikysymyksiä voidaan käyttää hyödyksi formatiivisina tai summatiivisina koetehtävinä. Vaikka tutkimus on suoritettu lukioympäristössä, tutkimustulokset ovat sovellettavissa fysiikan opetukseen niin alemmalla kuin ylemmälläkin tasolla, aina yliopistotasolle saakka. Lisäksi vaikka tutkimus kohdistuu suomalaisiin lukiolaisiin, on aihealueen opetus ja siinä havaitut oppimisen vaikeudet samanlaiset kaikkialla, joten tutkimuksen tulokset ovat sovellettavissa voimakäsitteen opettamisessa eri puolilla maailmaa.

## 7.5 Vuorovaikutuskaavion käytön edut voimakäsitteen opetuksessa

Tutkimuksessa saadut oppimistulokset osoittavat, että opetusjakson suunnitelmat ja toteutukset olivat transferkouluissa onnistuneita. Vaikeaksi koetun voimakäsitteen oppimiseen on edellä mainittujen tutkimusten mukaan haettava syytä mieluummin siitä, mitä oppitunneilla tehdään kuin opettajasta. Opetusjakson onnistumisen syyt ja siinä keskeisessä asemassa olleen työkalun, vuorovaikutuskaavion, käytön etuja voivat olla seuraavat tekijät, joita tarkastellaan fysiikan, fysiikan opetuksen tutkimuksen, erilaisten representaatioiden, sosiokulttuurisen lähestymistavan ja oppilaan näkökulmista.

*Fysiikan näkökulmasta* katsottuna N3. laki määrittelee voimakäsitteen, ja siksi sen pitäisi olla myös merkittävämmässä asemassa mekaniikan opetuksessa, mitä on aikaisemmin ollut. N3. lain mukaan voimat syntyvät vain ja ainoastaan kappaleiden välistä vuorovaikutuksista, ja siksi voimakäsite tulisi opettaa vuo-

rovaikutuksista syntyneenä, eikä niin, että oppilaat ajattelevat sen kappaleen sisäisenä tai hankittuna ominaisuutena. Tätä näkemystä vuorovaikutuskaavio vahvasti tukee. Vuorovaikutuskaaviolla ja N3. lailla oli transferopettajien opetuksessa korostettu asema.

*Fysiikan opetuksen tutkimusten* mukaan opetus, joka ei ota huomioon oppilaiden virheellisiä käsityksiä on lähes tehoton (Hestenes ym., 1992). Uuden käsitteen, kuten voiman tapauksessa ei saa vedota tuttuihin kokemuksiin tai analogioihin, vaan opettajan on opetettava tarkasti voimakäsitteen perustana olevan tiedon eli vuorovaikutusten tyypit (Reif & Allen, 1992). Vuorovaikutuskaavio visuaalisena työkaluna vastaa opetusjakson suunnittelun teoriana käytettyyn oppimisvaateeseen voimien tunnistamisen, oikean voimakuvion ja erityisesti N3. lain opetuksessa ja oppimisessa. Vuorovaikutuskaavion käyttö opetuksessa näyttää auttavan oppilasta ymmärtämään ja kenties voittamaan vahvoja virheellisiä käsityksiä, kuten dominanssiperiaatteen ja impetusperiaatteen (Hinrichs, 2005; Savinainen ym., 2005).

*Erilaisten representaatioiden* rakenteellinen muoto voi helpottaa oppilasta luomaan, keräämään, varastoimaan muistiin, muuntamaan ja käyttämään saamaansa informaatiota (Mislevy ym., 2010), ja siten myös oppimaan paremmin. Vuorovaikutuskaavio tarjoaa siltarepresentaation konkreettisen fyysikaalisen tilanteen ja abstraktimman voimavektoriesityksen välille (Savinainen ym., 2005). Kun oppilas huomaa, että voima ja vastavoima syntyvät samasta vuorovaikutuksesta, se auttaa häntä ymmärtämään miksi voima ja vastavoima ovat yhtä suuret. Vuorovaikutusviivan jakaminen lisäksi keskeltä kahtia voisi auttaa oppilasta näkemään ja muistamaan tuon symmetrisyyssäännön. Samalla vuorovaikutuskaavio auttaa oppilasta myös täsmällisesti nimeämään kappaleiden väliset voimaparit. Lisäksi se antaa havainnollisen keinon tunnistaa kappaleet, joiden kanssa tarkasteltava kohde on vuorovaikutuksessa, ja siten tunnistaa myös kohteeseen kohdistuvat voimat. Kun jokaista vuorovaikutusviivaa vastaa täsmälleen yksi voima, niin oppilas oppii tunnistamaan voimat oikein. Se antaa myös ymmärryksen ja kyvyn nimetä voimat, mikä voiman on aiheuttanut ja minne se kohdistuu. Hestenes ym. (1992) mainitsevat mm. juuri näiden asioiden olevan oppilaiden voimakäsitteen ja N3. lain oppimisen puutteita.

*Sosiokulttuurisen näkemyksen* mukaan oppiminen välittyy välineiden ja ihmisten välisen sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta. Käsitteellisen muutoksen ehtona Taon ja Gunstonen (1999) mukaan henkilön a) on tultava tyytymättömäksi olemassa olevan käsityksensä kanssa ja b) löydettävä uusi käsitys järjestyneenä, sopivana ja hyödyllisenä. Koska voimakäsitteen ymmärtäminen on oppilaille niin vaikea kuin on edellä todettu, niin oppilas tarvitsee välineen ja opettajan tuen, joiden avulla hän kykenee pääsemään ajattelussaan tasolle (ZPD, ks. luku 2.1.2), jossa hän ymmärtää voimakäsitteen tieteellisen luonteen. Tässä tutkimuksessa tällaisena älyllisenä välineenä toimi vuorovaikutuskaavio. Tämän tavoitteen saavuttamisessa teoreettiset näkokulmat, oppimisvaade opetuksen suunnittelun välineenä ja sosiokulttuurinen oppimiskäsitys, täydentävät toisiaan mahdollistaen oppilaiden virheellisten käsitysten muuttamisen tieteelliseksi. Voimakäsitteen ymmärtäminen kehittyy puhutun fysiikan sosiaalisen

kielen, luetun tekstin tai vuorovaikutuskaavion avulla, kun opetuksessa kiinnitetään huomiota vuorovaikutus käsitteeseen ja verrataan tietoa välittävien erilaisten representaatioiden, voimakuvion ja vuorovaikutuskaavion, välillä olevia yhtäläisyyksiä ja eroja. Lisäksi harjoitellaan niiden käyttöä ryhmissä, joissa on mahdollista myös oppia puhumaan fysiikan kieltä. Ilman vuorovaikutuskaavion kaltaista välinettä on uskoakseni vaara, että voimakäsite jää oppilaan mieleen vain tilanteisiin liittyvänä totuutena (Reif & Allen, 1992). Vuorovaikutuskaaviolla voidaan lisäksi näyttää, että voimakäsite on riippumaton kontekstista (Savinainen ym., 2005).

Vaikka tässä tutkimuksessa ei oppimiseen vaikuttavia emotionaalisia tekijöitä tutkittu, niin visuaalisella representaatiolla voi olla vaikutusta myös opiskelumotivaatioon. *Oppilaan näkökulmasta* katsottuna fysiikan mallinnuksen abstraktius ja tapa idealisoida tilanteita ovat tekijöitä, jotka saavat fysiikan opiskelun tuntumaan vaikealta (Duit ym., 2007). Tämän tutkimuksen mukaan vuorovaikutuskaavio on työkalu, joka auttaa voimakäsitteen käsitteellisessä muutoksessa arkikäsitteistä tieteelliseen käsitykseen. Kun oppilaan kognitiivinen riskiriita kahden eri käsityksen välillä on ymmärryksen tasolla ratkaistuna, se antaa oppilaalle oppimisen elämyksen, lisää mahdollisesti arvostusta fysiikkaa kohtaan tieteenä ja motivoi fysiikan opiskeluun.

### **Johtopäätösten yhteenveto ja suosituksia opetusalan toimijoille**

Tämän tutkimuksen tulokset antavat näyttöä sille, että vuorovaikutusten havainnollistaminen ja niiden tunnistaminen vuorovaikutuskaavion avulla auttaa oppilasta N3. lain käsitteellisessä ymmärtämisessä, ja auttaa lisäksi tunnistamaan paremmin kappaleeseen kohdistuvat voimat ja konstruimaan N2. lain mukaisesti oikean voimakuvion. Transferkouluiissa oppiminen oli kaikissa osaluissa parempaa kuin vertailukouluiissa, joissa painotettiin vuorovaikutuskaavion käyttöä opetuksessa vähemmän kuin transferkouluiissa.

Uuden opetussuunnitelman laatijoille esitetään, että N3. lain asemaa tulisi voimakäsitteen opetuksessa korostaa. Sillä on tähän mennessä ollut hyvin vähäinen merkitys opetuksessa, niin ajallisesti kuin sisällöllisestikin. Tämä näkemys jaetaan Brownin (1989), Hellingmanin (1989) ja Stocklmayerin ym. (2012) kanssa.

Tutkimuksen tulosten valossa suositellaan eri oppilaitoksissa ja myös opettajankoulutuksessa toimivia fysiikan opettajia kokeilemaan vuorovaikutuskaaviota voimakäsitteen ja Newtonin lakien opetuksen yhteydessä. On kuitenkin suositeltavaa perehtyä ensin uuden välineen käsitteellisiin ominaisuuksiin. Toivon tämän tutkimuksen auttavan siinä ja antavan heille tietoa ja neuvoja vuorovaikutuskaavion käyttöön.

Ehkä myös fysiikan oppikirjoissa nähdään lisää erilaisia representaatioita, kuten vuorovaikutuskaavio, etenkin vaikeiden käsitteiden opetustekstien yhteydessä, sillä eri representaatioiden käyttötaito tarjoaa myös Niemisen, Savinaisen ja Viirin (2010) mukaan olennaisen työkalun fysiikan ymmärtämiseen.



## 7.6 Jatkotutkimusaiheita

Tutkimuksessa kerättiin runsaasti aineistoa opetuksesta ja oppilaiden oppimisesta. Testikysymyksistä ja niiden vastauksista jäi vielä osa hyödyntämättä. Opetusjakson FY1 jälkeen kolmea transferoppilasta haastateltiin kahdessa transferkoulussa, mutta niitä haastatteluja ei tässä tutkimuksessa käytetty. Transferopettajien opetuksen videoinnista ja analyysistä jäi myös monia aiheita jatkotutkimuksiin.

Jatkotutkimusaiheita voisivat olla oppilaiden näkemykset siitä, miten he kokivat vuorovaikutuskaavion opetuksen ja käytön. Kokivatko he ymmärtävänsä vuorovaikutus- ja voimakäsitteet paremmin? Kokivatko he käsitteellistä konfliktia opetuksen aikana, ja jos arkikäsitteet ja tieteellinen käsitys olivat ristiriidassa, päästiinkö opetuksen aikana ristiriidasta eroon ja miten vahva käsitteellinen muutos arkikäsitteistä tieteellisiin käsitteisiin opetuksessa saavutettiin? Tutkimuksessa jäi vielä tarkastelematta niiden 16 transferoppilaan ja 23 vertailuoppilaan, jotka osallistuivat molemmille opetusjaksoille FY1 ja FY4, oppimisen polut tutkimuksen eri aihealueissa pidemmällä eli noin vuoden aikavälillä. Sellainen tutkimus saattaa antaa lisää mielenkiintoista tietoa siitä, miten oppilaiden oppiminen on kehittynyt vuorovaikutuskaavioiden konstruoinnissa, N3. lain osaamisessa, voimien tunnistamisessa ja N2. lain mukaisen oikean voimakuvion konstruointitaidoissa. Nuo tulokset saattavat antaa myös lisää evidenssiä siitä, mikä on vuorovaikutusten merkitys näiden aihealueiden oppimisessa havaittujen vaikeuksien voittamisessa.

Rincke (2011) on tutkinut, miten oppilaat ymmärtävät ja käyttävät voimasananaa, ja kuinka heidän ymmärryksensä voimakäsitteestä kehittyy. Heidän mukaansa fysiikan oppiminen muistuttaa joiltakin osin vieraan kielen oppimista. Rincken tutkimuksessa oli huomattavaa, että yhdenkään oppilaan ilmaisut eivät näyttäneet kehittyneen kohti tieteellistä tyyliä, sillä kaikki oppilaat muuttivat voima-sanana käyttöään tilanteesta riippuen. Tutkijan mukaan voimakäsitteen tieteellisessä puheessa ei osata erottaa kahta perättäistä vaihetta: kertoa ensin vuorovaikuttavat kappaleet ja sitten kuvailla vuorovaikuttavia kappaleita tieteellistä terminologiaa käyttäen. Sen sijaan, että oppilaat olisivat puhuneet vuorovaikuttavista kappaleista, he käyttivät arkipäiväistä kieltä, jossa voimasta puhutaan liikemäärän tai energian muodossa. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan esitetään, että oppilaiden puhuminen vuorovaikutuksista ja sen yhteydestä voimakäsitteeseen olisi oppilaille ymmärrettävämpää ja huomattavasti merkityksellisempää, jos puheen ohessa käytettäisiin tutkimuksen kaltaista visuaalista representaatiota havainnollistamassa vuorovaikutuksen ja voiman käsitettä. Jatkotutkimuksella voitaisiin myös selvittää, miten oppilaan ymmärrys voimakäsitteestä ilmenee puheessa, kun opetuksessa käytetään apuna visuaalista representaatiota.

Toinen mielenkiintoinen aihe fysiikan opettajan näkökulmasta ovat oppituntien rakenne, opettajan toiminta ja vuorovaikutusmuodot luokkahuoneessa. Sosiokulttuurinen oppimisenäkemyksen ottaa huomioon sen tärkeän seikan, että



oppiminen ei ole vain tiedon siirtoa opettajalta oppilaalle, jonka aivoissa tieto rakentuu uudelleen aiemmin opitun tiedon rikastuessa, vaan oppimiseen vaikuttaa myös oppilaan ulkopuolinen maailma sosiaalisine vuorovaikutuksineen. Oppilaiden kohtaaminen ja keskustelu sekä myös oppilaan ja opettajan välinen vuorovaikutus ovat tärkeä ja mielenkiintoinen tutkimusalue. Leach ja Scott (2002) pitävät opettajan roolia oppilaan ymmärryksen tarkkailijana ja heidän ymmärrykseensä vastaajana keskeisenä. Uskon että, sekä opettajan että isän kokemukseen vedoten, oppilaan epäonnistumisen pelko voi olla suuri oppimisen este. Oppitunnilla olisi saatava luottamuksellinen ja avoin ilmapiiri, jossa oppilaan ei tarvitse hävetä eikä pelätä keskusteluun osallistumista, kysymyksiin vastaamista ja ajatustensa julkittamista. On tärkeää miettiä, mitkä olisivat ne vuorovaikutustavat, joilla oppilaan epäonnistumisen pelkoa parhaiten voidaan vähentää?

## SUMMARY

The concept of force has, historically, been a formidable stumbling block for students (Arons, 1990). Even more recent research concurs that many students have difficulties in understanding the concept of force and Newton's laws after physics instruction (Brown, 1989; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Kariotoglou, Spyrtou & Tselfis, 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011). However, force is a central concept in Newtonian mechanics and the foundation of classical physics, making it a potential obstacle in learning physics, both within mechanics and within other fields, such as electromagnetism (Galili, 1995).

It has been suggested that in order to overcome erroneous conceptions, force should be taught as being a result of interactions (Brown, 1989; Hellingman, 1989). As a solution to the problem, this study proposes using the interaction diagram together with teaching Newton's third law before Newton's other laws.

The data used in this study was collected in five different teaching groups in five upper secondary schools in Western and Eastern Finland. Two teaching and learning sequences (TLS) on interaction and force as well as on Newton's laws were designed for the national compulsory course in physics (Physics 1) and for the optional course in mechanics (Physics 4). The theoretical frame of reference used in planning the TLS's was the concept of learning demand (Leach & Scott, 2002). Three of the schools were transfer schools (Physics 1, N = 75; Physics 4, N = 49, aged 16 - 17); that is, the teachers implemented the teaching as designed but did not participate in planning the research. Two schools acted as the control schools (Physics 1, N = 58; Physics 4, N = 31, aged 16 - 17) in the study, and the teachers in these schools carried out the teaching and learning sequences according to their own design and textbook. The same textbook, presenting the use of interaction diagrams, was used in all of the schools.

The lessons held by the transfer teachers were videotaped and analyzed using the Atlas.ti software. The learning of the students was examined with the help of exercises on Newton's third law, mostly adapted from exercises used in previous studies. The exercises covering interaction diagrams and free body diagrams in the same physical situations were mainly compiled by the author. The answers of the exercises were analyzed with the SPSS software.

The study aimed at answering the following research questions:

- 1) How well did the students learn to construct interaction diagrams in the transfer schools and in the control schools in the first-year TSL, Physics 1?
- 2) How well did the students master Newton's third law in the transfer schools and in the control schools a) in the first-year TLS, Physics 1? b) in the second-year TLS, Physics 4?
- 3) How well did the students learn to identify the forces acting on an object in the transfer schools and in the control schools a) in the first-year TLS, Physics 1? b) in the second-year TLS, Physics 4?

- 4) How well did the students learn to construct the correct free body diagrams in the transfer schools and in the control schools a) in the first-year TLS, Physics 1? b) in the second-year TLS, Physics 4?
- 5) Was there a connection between the ability to use of the interaction diagram and
  - a) the mastery of Newton's third law,
  - b) being able to identify forces, or
  - c) being able to construct the correct free body diagram in the transfer schools and the control schools?

The results indicated that the transfer students were able to construct better interaction diagrams than the control students. In both teaching and learning sequences, transfer students had learned Newton's third law better than the control students. The transfer students were also able to better identify forces and construct correct free body diagrams, where the vector sum of forces corresponded with the state of motion in a given situation, as compared to the control students. The latter criterion means that a correct free body diagram requires that Newton's first law or second law was correctly taken into account.

The study found a connection between the qualitative use of interaction diagrams and the qualitative ability to construct a free body diagram, and the connection was stronger in the transfer schools than in the control schools. Similarly, an association was found between the improved use of interaction diagrams and a better mastery of Newton's third law.

The results obtained in this study suggest the following conclusions. When teaching emphasizes the use of interaction diagrams and when students are taught to construct interaction diagrams, it improves the students' conceptual understanding of Newton's third law, recognition of forces and construction of the correct free body diagram.

Previous studies (Hinrichs, 2005; Savinainen, Scott & Viiri, 2005) have also showed promising results in the mastery of Newton's third law, when a similar visual representation was used. However, in these studies, the teachers also had proficiency in research skills and their effectiveness in engaging with students' thinking in the domain to be taught has significantly improved, whereas in the present study, transfer teachers may not have such skills to the same extent. What is noteworthy, then, is that regarding the mastery of Newton's third law, the transfer teachers were able to replicate the same learning results in the Force Concept Inventory (FCI) exercises as the teacher-researcher in a previous study (Savinainen *et al.*, 2005).

From the sociocultural perspective, the interaction diagram, as a visual representation, can be considered to be an information-mediating tool. It aids the student in forming a mental image of the abstract concept of force and thus, perhaps, in learning the concept of force without contradictions, or at least in understanding the difference between the everyday concept and the scientific concept. Thinking and talking, on the social plane, between the teacher and students as well as between the students themselves has a crucial role in the

process of internalization (Leach & Scott, 2002). It is important to plan the questions and activities in the lessons carefully, thus ensuring the best pedagogical outcome. Simply using the interaction diagram and making time for discussion and exercises does not guarantee a good learning outcome, but the teacher is required to make many decisions concerning the implementation of these tools that will affect the success of the exercise (Andrews, Leonard, Colgrove & Kalinowski, 2011).

This means that the different characteristics of the interaction diagram, as well as the reasons and benefits of its use must be presented to the students. Thus, the students will better understand why they should use the interaction diagram. The meaning of the interaction line in the interaction diagram should be explained to the students, specifically, in connection with Newton's third law, so that they will understand action and reaction forces resulting from the same interaction and being equal for both parties of the interaction. In addition, the use of the interaction diagram should be rehearsed in different contexts, because many students fail to recognize different contexts as having the same physics (Bao, Hogg & Zollman, 2002; Savinainen & Scott, 2002; Kariotoglou *ym.*, 2009). Furthermore, the teacher's or the textbook's instruction alone does not guarantee that the students will learn how to use and apply the interaction diagram. The different representations both complement and restrict one another, which is why the teacher has to pay special attention to the differences and similarities between the interaction diagram and the free body diagram (Ainsworth, 1999, 2008). The identification of forces in the construction of the free body diagram is based on the similarities between the different representations, because the free body diagram has as many forces as the interaction diagram has interaction lines. The difference is that the free body diagram does not include the reaction forces, even though this interaction is presented in the interaction diagram.

The main research question in the study was whether the interaction diagram influences the understanding of the concept of force in upper secondary school students. The research results confirm that it does. The results of this study suggest that the interaction diagram can be used to explain to students the deeper meaning of the concept of force; that is, that force is a feature of the interaction between objects not an internal or acquired feature of an object.

## TIIVISTELMÄ

Voimakäsite on ollut oppilaille iso kompastuskivi fysiikan oppimisen tutkimuksen historiassa (Arons, 1990). Monissa tutkimuksissa oppilailla on todettu opetuksen jälkeen olevan edelleen vaikeuksia voimakäsitteen ja Newtonin lakiin ymmärtämisessä (Brown, 1989; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Kariotoglou, Spyrtou & Tselfis, 2009; Rosenblatt & Heckler, 2011). Kuitenkin voimakäsite on Newtonin mekaniikan keskeinen käsite ja muodostaa klassisen fysiikan perustan. Tämä ongelma saattaa muodostaa esteen fysiikan oppimiselle niin mekaniikassa kuin myös muissa fysiikan aihealueissa, kuten sähkömagnetismissä (Galili, 1995).

On esitetty, että virheellisten käsitysten voittamiseksi voimakäsite olisi opetettava vuorovaikutuksista syntyneenä (Brown, 1989; Hellingman, 1989). Tässä tutkimuksessa tähän esitykseen ratkaisuksi tarjotaan vuorovaikutuskaaviota. Lisäksi Newtonin 3. laki opetettiin ennen muita Newtonin lakeja, mikä ei ole kuitenkaan perinteinen tapa.

Tutkimukseen osallistui viiden yleislukion viisi opetusryhmää eri puolilta Länsi - Itä-Suomea. Valtakunnalliselle fysiikan pakolliselle kurssille (FY1) ja fysiikan valinnaiselle mekaniikan kurssille (FY4) suunniteltiin kaksi opetusjaksoa vuorovaikutuksesta ja voimasta sekä Newtonin laeista. Opetuksen suunnittelun teoreettisena viitekehysenä käytettiin oppimisvaadetta (Leach & Scott, 2002). Kouluista kolme olivat transferkouluja (FY1, N = 75; FY4, N = 49), joiden opettajat toteuttivat opetuksen suunnitelman pohjalta, mutta he eivät olleet mukana tutkimuksen suunnittelussa. Kaksi vertailukoulujen opettajaa (FY1, N = 58; FY4, N = 31) opetti opetusjaksot oman suunnitelmansa ja oppikirjan avulla. Kaikissa kouluissa käytettiin samaa oppikirjaa, jossa esitellään vuorovaikutuskaavion käyttö.

Transferopettajien opetus videoitiin ja analysoitiin Atlas.ti-ohjelman avulla. Oppilaiden oppimista tutkittiin Newtonin 3. lain tehtävien avulla, jotka oli muokattu enimmäkseen aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyistä tehtävistä. Vuorovaikutuskaavio- ja voimakuviotehtävät liittyivät aina samaan fysikaaliseen tilanteeseen, ja ne olivat pääosin tutkijan laatimia. Analyysit tehtiin SPSS-ohjelman avulla.

Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1) Miten oppilaat oppivat konstruoimaan vuorovaikutuskaavion transferkoulussa ja vertailukouluissa ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1?
- 2) Miten oppilaat osasivat Newtonin 3. lain transferkoulussa ja vertailukouluissa a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1? b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?
- 3) Miten oppilaat oppivat tunnistamaan kappaleeseen kohdistuvat voimat transferkoulussa ja vertailukouluissa a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1? b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?

- 4) Miten oppilaat oppivat konstruoimaan oikean voimakuvion transferkouluiissa ja vertailukouluiissa a) ensimmäisen vuositason opetusjaksossa FY1? b) toisen vuositason opetusjaksossa FY4?
- 5) Onko transferkoulujen ja vertailukoulujen
  - a) Newtonin 3. lain osaamisen,
  - b) voimien tunnistamisen tai
  - c) oikean voimakuvion konstruoinnin osaamisen välillä yhteyttä vuorovaikutuskaavion osaamiseen?

Tutkimustulokset näyttävät, että transferoppilaat osasivat konstruoida parempia vuorovaikutuskaavioita kuin vertailuoppilaat. Transferoppilaat osasivat molemmissa opetusjaksoissa Newtonin 3. lain paremmin kuin vertailuoppilaat. Vastaavasti transferoppilaat tunnistivat vertailuoppilaita paremmin voimat ja osasivat huomioida liiketilaa vastaavan kokonaisvoiman Newtonin 2. lain mukaan oikein, kun he konstruoivat voimakuvioita kappaleille eri konteksteissa.

Tutkimuksessa löydettiin yhteydet, joiden mukaan vuorovaikutuskaavioiden käytöllä on toisaalta yhteys voimakuvion konstruoinnin kanssa ja toisaalta sillä on vaikutusta myös parempaan Newtonin 3. lain oppimiseen.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella esitetään seuraavat johtopäätökset: kun opetuksessa painotetaan vuorovaikutuskaavioiden käyttöä ja oppilaat opetetaan itse konstruoimaan vuorovaikutuskaavioita, niin oppilaiden osaaminen Newtonin 3. lain käsitteellisessä ymmärtämisessä, voimien tunnistamisessa ja oikean voimakuvion konstruoinnissa paranee.

Aikaisemmissa tutkimuksissa (Hinrichs, 2005; Savinainen, Scott & Viiri, 2005) on saatu myös lupaavia tuloksia Newtonin 3. lain osaamisesta, kun opetuksessa on käytetty vastaavanlaista visuaalista representaatiota. Niissä opetuksen toteuttajana on ollut kuitenkin opetuksen tutkimuksessa ja kehittämisessä mukana ollut opettaja, ja hänellä on ehkä enemmän tietoa ja taitoa oppilaiden ajattelusta tietyllä aihealueella, ja hän osaa siten opetuksessaan kiinnittää tehokkaammin huomiota oppilaiden ajatteluun. Tässä tutkimuksessa tähän ongelmaan on ratkaisuksi esitetty transferopettajia, jotka olivat yleislukioiden opettajia. Merkille pantavaa tutkimuksen tuloksissa oli, että Newtonin 3. lain osaamisen osalta transferopettajat pystyivät toistamaan opetuksessaan samat oppimistulokset Force Concept Inventoryn (FCI) tehtävissä kuin opettajana toiminut opetuksen tutkija opetusinterventiossaan (Savinainen ym., 2005).

Täten opetuksen suunnitelma, jossa painotetaan vuorovaikutuskaavion huolellista ja tehokasta käyttöä, on sovellettavissa yleisesti lukion fysiikan opettajien opetukseen niin, että oppimistulokset paranevat.

Sosiokulttuurisen oppimisenäkemyksen mukaan vuorovaikutuskaaviota (visuaalinen representaatio) voidaan pitää tietoa välittävänä välineenä. Se auttaa oppilasta hahmottamaan abstraktin voimakäsitteen ja ehkä siten oppimaan voimakäsitteen ilman ristiriitoja tai ainakin ymmärtämään ristiriidan arkikäsitteen ja tieteellisen käsityksen välillä. Opettajan ja oppilaan sekä oppilaiden välisellä vuorovaikutuksella on lisäksi keskeinen merkitys sille, että oppilas pääsee ajattelussaan yksilölliselle tasolle (Leach & Scott, 2002). On tärkeää suunnitella kysymykset ja oppitunneilla suoritettavat aktiviteetit hyvin, niin

että niistä saadaan paras pedagoginen hyöty oppimisen parantamiseksi. Vuorovaikutuskaavion, keskustelun ja harjoitusten esillä pitäminen ei vielä takaa hyviä oppimistuloksia, vaan opettajalta edellytetään niiden asiallista, huolellista ja oikein kohdennettua käyttöä (Andrews, Leonard, Colgrove & Kalinowski, 2011).

Vuorovaikutuskaavion huolellisella ja tehokkaalla käytöllä tarkoitetaan sitä, että vuorovaikutuskaavion erilaiset ominaisuudet, sen käytön syyt ja edut on esiteltävä oppilaille. Tällöin oppilas ymmärtää paremmin, miksi hänen olisi hyvä käyttää vuorovaikutuskaaviota. Vuorovaikutuskaavion vuorovaikutusviivan merkitys on syytä selittää oppilaalle nimenomaan Newtonin 3. lain opetuksen yhteydessä, että hän oppii ymmärtämään voima- ja vastavoimaparin syntyvän samasta vuorovaikutuksesta, joka on molemmille vuorovaikutuksen osapuolille yhtä suuri. Lisäksi vuorovaikutuskaavion käyttöä pitää harjoitella erilaisissa konteksteissa, koska monet oppilaat eivät näe fysiikan kannalta samanlaisia konteksteja samoina (Bao, Hogg & Zollman, 2002; Savinainen & Scott, 2002; Kariotoglou ym., 2009). Pelkkä opettajan puhe tai oppikirjan teksti eivät vielä takaa, että oppilas oppii käyttämään ja hyödyntämään vuorovaikutuskaaviota. Eri representaatioilla on toisaalta toisiaan täydentävä ja toisaalta rajoittava vaikutus, ja siksi opetuksessa on kiinnitettävä myös erityinen huomio vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion eroihin ja yhtäläisyyksiin (Ainsworth, 1999, 2008). Voimakuvion konstruoinnissa voimien tunnistaminen perustuu eri representaatioiden yhtäläisyyksiin, sillä voimakuviossa on yhtä monta voimaa kuin vuorovaikutuskaaviossa on vuorovaikutusviivoja. Erona on se, että voimakuviossa ei esitetä kappaleen vastavoimia, vaikka vastaava vuorovaikutus on vuorovaikutuskaaviossa esitettyinä.

Tutkimuksen pääkysymys oli, vaikuttaako vuorovaikutuskaavio voimakäsitteen ymmärtämiseen lukion opiskelijoilla. Tutkimustulosten mukaan vastaus on kyllä. Tulokset viittaavat siihen, että vuorovaikutuskaavion avulla oppilaalle voidaan selventää voimakäsitteen syvälinen merkitys: voima on kappaleiden välisen vuorovaikutuksen ominaisuus eikä kappaleen sisäinen tai hankittu ominaisuus.



**LÄHTEET**

- Ainsworth, S., 1999, The functions of multiple representations, *Computers & Education*, 33, 131-152.
- Ainsworth, S., 2006, DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations, *Learning and Instruction*, 16, 183-198.
- Ainsworth, S., 2008, The Educational Value of Multiple-Representations when Learning Complex Scientific Concepts. Teoksessa Reiner, G., J., Reiner, M. & Nakhleh, M., *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, [http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/sea/Ainsworth\\_Gilbert.pdf](http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/sea/Ainsworth_Gilbert.pdf).
- Alonzo, A., C., & Steedle, J., T., 2009, Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science education* 93, 389-421. Published online 2008 in Wiley InterScience, [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com).
- Amettler, J., Leach, J. & Scott, P., 2007, Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: an example from science education, *The Curriculum Journal*, 18 (4), 479-492.
- Anderson, C., W., 2007, *Perspectives on Science Learning, 2007*. Teoksessa Abell, S., A. & Lederman, N., G, *Handbook of Research on science education*, 3 - 30.
- Anderson, B. & Wallin, A., 2006, On Developing Content-oriented Theories Taking Biological Evolution as an Example, *International Journal of Science Education*, 28 (6), 673-695.
- Andrews, T., M., Leonard, M. J., Colgrove, C. A., & Kalinowski, S. T., 2011, Active learning not associated with student learning in a random sample of college biology courses, *CBE-Life Science Education*, 10, 394-405.
- Arminen, E., 2003, Kevään 2003 ylioppilaskirjoitusten fysiikan koe, *Dimensio*, 6, 47-55.
- Arons, A., B., 1990, *A Guide to Introductory Physics Teaching*, Wiley, Washington DC.
- Ayesh, N., Qamhieh, N.T, & Abdelfattah, F., 2010, The effect of student use of the free-body diagram representation on their performance, *Educational research*, 1 (10), 505-511. *International Research Journals*. online <http://www.interestjournals.org/ER>.
- Bao, L., Hogg, K. & Zollman, D., 2002, Model analysis of the structures of student models: An example with Newton's third law, *American Journal of Physics*, 70 (7), 766 - 778.
- Boyle, R., K. & Maloney, D., P., 1991, Effect of written text on usage of Newton's third law, *Journal of research in science teaching*, 28(2), 123-139.
- Brown, D., E., 1989, Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law, *Physics Education*, 24, 353-357.
- Bryce, T. & MacMillan, K., 2005, Encouraging conceptual change: the use of bridging analogies in the teaching of action-reaction forces and the 'at rest' condition in physics, *International Journal of Science Education*, 27(6), 737-763.

- Carter, G., Westbrook, S., L. & Thompkins , C., D., 1999, Examining Science Tools as Mediators of Students' Learning about Circuits, *Journal of research in science teaching*, 36 (1), 89 -105.
- Champagne, A., Klopfer, L. & Anderson, J., 1980, Factors influencing the learning of classical mechanics, *American Journal of Physics*, 48, 1074 - 1079.
- Chi, M., 2008, Three types of conceptual change: Belief revision, Mental model transformation, and Categorical shift. Teoksessa Vosniadou, S., *Handbook of research on conceptual change*, 61-82, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M., T., H., Glaser, R. & Rees, E., 1982, Expertise in problem solving. Teoksessa Stenberg, R., J., *Advances in the psychology of human intelligence*, 1, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M., Slotta, J., & Leeuw, N., 1994, From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Clark, J., W., Sayre, E., C. & Franklin, S., V., 2010, Fluctuations in Student Understanding of Newton's 3<sup>rd</sup> Law, *Proceedings of the Physics Education Research Conference*. <http://arxiv.org/pdf/1009.0260.pdf>.
- Clark-Carter, D., 2010, *Quantitative psychological research: The complete student's companion* (3rd edition), Hove: Psychology Press.
- Clement, J., 1982, Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50 (1), 66 -70.
- Coe, R., 2002, It's the Effect Size, Stupid. What effect size is and why it is important, Paper presented at the Annual Conference of the British Educational Research Association, University of Exeter, England, 12-14 .
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K., 2007, *Research methods in education*, kuudes painos, New York: Routledge.
- Cole, M., 1995, Socio-cultural-historical psychology: some general remarks and a proposal for a new kind of cultural-genetic methodology. Teoksessa Wertsch, J., V, Rio, P. & Alvarez, A., *Sociocultural Studies of Mind*, Cambridge University Press, New York, USA, 187 -214.
- Coletta, V., P., & Phillips, J., A., 2005, Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores and scientific reasoning ability, *American Journal of Physics*, 73 (12), 1172 - 1182.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P., 1994, Constructing Scientific Knowledge in the Classroom, *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
- Dufresne, R., J., Gerace, W., J. & Leonard, W., J., 1997, Solving Physics Problems with Multiple Representations, *The Physics Teacher*, 35(5), 270-275. <http://www.srri.umass.edu/sites/srri/files/dufresne-1997spp.pdf>.
- Duit, R., 2000, A Model of educational reconstruction as a framework for designing and validating teaching and learning sequences, Paper presented at the meeting on research-based teaching sequences, Paris.
- Duit, R., Niedderer, H., & Schecker, H., 2007, Teaching Physics. Teoksessa Abell, S., A. & Lederman, N., G, *Handbook of Research on science education*, 599-629.

- Dumont, H., Istance, D. & Benavides, F., 2010, *The Nature of Learning*, OECD, 36-41.
- Eshach, H., 2010, Using Photographs to Probe Students' Understanding of Physical Concepts: The Case of Newton's 3rd Law, *Res Sci Educ*, 40, 589-603.
- Enkenberg, J., 2000, *Oppimisesta ja opetusmalleista yliopistokoulutuksessa, Verkkojulkaisuna kirja Enkenberg, J., Väisänen, P. & Savolainen, E., Joensuun yliopisto, Savonlinnan opettajankoulutuslaitos*, <http://sokl.joensuu.fi/verkkojulkaisut/kipinat/kansi.htm>.
- Felder, R. & Silverman, L., 1988, Learning and teaching styles in engineering education, *Engr. Education*, 78 (7), 674-681.
- Flores-Garcia, S., Alfaro-Avena, L., L., Chavez-Pierce, J., E., Luna-Conzalez, J. & Gonzalez-Quezada, M., D., 2010, Students' difficulties with tension in massless strings, *American Journal of Physics*, 78 (12), 1412-1420.
- Flores-Garcia, S., Alfaro-Avena, L. L., & Dena-Ornelas, O., 2008, Students' understanding of vectors in the context of forces, *Revista Mexicana de fisica e*, 54 (1), 7-14.
- Formica, S., P., Easley, J., L. & Spraker M., C., 2010, Transforming common-sense beliefs into Newtonian thinking through Just-In-Time Teaching, *Physical Review Special Topics*, 6, 020106-1-7.
- Franco, C., M., Muis, K., R., Kendeou, P., Ranellucci, J. & Sampasivam, L., 2012, Examining the influences of epistemic beliefs and knowledge representations on cognitive processing and conceptual change when learning physics, *Learning and Instruction*, 22, 62-77.
- Galili, I., 1995, Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism, *International Journal of Science Education*. 17 (3), 371-387.
- Galili, I. & Tseitlin, M., 2003, Newton's First Law: Text, Translations, Interpretations and Physics Education, *Science & Education*, 12, 45 -73.
- Gall, M., D., Gall, J., P. & Borg W., R., 2007, *Educational Research, An Introduction*, Eight edition, Pearson Education, Inc., USA.
- George, D. & Mallery P., 2003, *SPSS for windows step by step: A sample Guide & reference*, s. 231, Boston: Allyn & Bacon.
- Hall, A., 2007, Vygotsky Goes Online: Learning Design from a Sosio-cultural Perspective, *Learning and Socio-cultural Theory: Exploring Modern Vygotskian Perspectives International Workshop*, 1 (1), 94 -107.
- Halloun, I., Hake, R., R., Mosca, E., P. & Hestenes, D., 1995, The revised Force Concept Inventory. <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>.
- Halloun, I. & Hestenes, D., 1985, Common-sense concepts about motion, *American Journal of Physics*, 53 (11), 1056 -1065.
- Hake, R., R., 1998a, 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 - 74.
- Hake, R., R., 1998b, Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses, 1 - 39. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/IEM-2b.pdf>.

- Hake, R., R., 2002, Assessment of physics teaching methods, Proceedings of the UNESCO-ASPEN workshop on active learning learning in physics, Peradeniyān yliopisto, Sri Lanka.
- Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S., 2004, *Physica* 1, WSOY, WS Bookwell Oy, Porvoo.
- Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S., 2005, *Physica* 4, WSOY.
- Hatano, G. & Inagaki, K., 2000, Domain-specific constraints of conceptual development, *International Journal of Behavioral Development*, 24 (3), 267-275.
- Heckler, A., 2010, Some consequences of prompting novice physics students to construct force diagrams, *International Journal of Science Education*, 32 (14), 1829-1851. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690903199556>.
- Heckler, A., F. & Sayre, E., C., 2010, What happens between pre. And post-tests: Multiple measurements of student understanding during an introductory physics course, *American Journal of Physics*, 78 (7), 768 - 777.
- Heller, P., Keith, R. & Anderson, S., 1992, Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving, *American Journal of Physics* 60 (7), 627 -636.
- Hellingman, C., 1989, Do forces have twin brothers?, *Physics Education*, 24, 36-40.
- Hellingman, C., 1992, Newton's third law revisited, *Physics Education*, 27, 112-115.
- Henderson, G., 1999, Learning with diagrams, *Australian Science Teachers' Journal*, 45(2).
- Hestenes, D., 1996, Modeling methodology for Physics Teachers, Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education, 1-21.
- Hestenes, D. & Halloun, I., 1995, Interpreting the Force Concept Inventory, *Physics Teacher*, 33, 502-506. <http://modeling.asu.edu/R&E/InterFCI.pdf>.
- Hestenes, D. & Wells, M., 1992, A Mechanics Baseline Test, *The Physics Teacher*, 30, 159-165.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G., 1992, Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 30, 141 - 158.
- Heywood, D., & Parker, J., 2001, Describing the cognitive landscape in learning and teaching about forces, *International journal of Science education*, 23 (11), 1177-1199.
- Hinrichs, B., E., 2005, Using the System Schema Representational Tool to Promote Student Understanding of Newton's Third Law. Teoksessa Marx, J., Heron, P. & Franklin, S., *Physics Education Research Conference Proceedings*, American Institute of Physics 0-7354-0281-7/05, 117-120.
- Hoellwarth, C., & Moelter, M., 2011, The implications of a robust curriculum in introductory mechanics, *The American Journal of Physics*, 79 (5), 540-545.
- Hubber, P., Tytler, R. & Haslam, F., 2010, Teaching and Learning about Force and a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change, *Science Education*, 40, 5-28.

- Itza-Ortiz, S., Rebello, S., & Zollman, D., 2004, Students' models of Newton's second law in mechanics and electromagnetism, *European Journal of Physics*, 25, 81-89.
- James, M., C. & Scharmann, L., C., 2007, Using Analogies to Improve the Teaching Performance of Preservice Teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (4), 565 -585.
- Jammer, M., 1999, *Concepts of force*, Dover Publications, Inc., Mineola, New York.
- Jauhiainen, J., Koponen, I., T. & Lavonen, J., 2006, Teachers' Beliefs about the Role of Interaction in Teaching Newtonian Mechanics and Its Influence on Students' Conceptual Understanding of Newton's Third Law, *Science Education International*, 17(3), 149-160.
- Jauhiainen, J., Koponen, I., T. & Lavonen, J., 2001, The Force Concept Inventory in Diagnosing the Conceptual Understanding of Newtonian Mechanics in Finnish Upper Secondary Schools. Teoksessa Ahtee, M., *Research on mathematics and science education from beliefs to cognition, from problem solving to understanding*, Institute for educational research, University of Jyväskylä, Jyväskylä, 101-115.
- Jimenez, J. & Perales, F., J., 2001, Graphic representation of force in secondary education: analysis and alternative educational proposals, *Physics Education*, 36, 227-235.
- Kariotoglou, P., Spyrtou, A. & Tselfis, V., 2009, How student teachers understand distance force interactions in different contexts, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 851-873.
- Knight, R. D., 1995, The vector knowledge of beginning physics students. *The Physics Teacher*, 33, 74 -77.
- Knight, R., D., 2004, *Physics for scientists and engineers, Textbook and Workbook, Volume 1, A strategic approach*, Pearson Addison Wesley.
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D., 2006, Effects of representation on students solving physics problems: A fine-grained characterization, *Physical review special topics - Physics education research*, 2, 1-10.
- Kohl, P., & Finkelstein, N., 2007a, Expert and novice use of multiple representations during physics problem solving, *Physics education research conference series, Greensboro*, 951, 132-135.
- Kohl, P., Rosengrant, D. & Finkelstein, N., 2007b, Strongly and weakly directed approaches to teaching multiple representation use in physics, *Physical review special topics - physics education research*, 3.
- Koponen, I., Jauhiainen, J. & Lavonen, J., 2000, Suomen kielinen käänös versiosta Force Concept Inventory 1995, *Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto*.
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R., 1995, *Vuorovaikuttavat kappaleet - mekaniikan perusteet*, Limes ry 3. painos, Helsinki.
- Landis, J. R. & Koch, G. G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics* 33 (1), 159-174. <http://www.jstor.org/stable/2529310>.

- Lane, B., 1993, Why can't Physicists draw FBD's, *The Physics Teacher*, 31, 1-2.
- Larkin, J., H. & Simon, H., A., 1987, Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousands Words, *Cognitive Science*, 11, 65 - 99.
- Leach, J., Amettler, J., Hind, A., Lewis, J. & Scott, P., 2003, Evidence-informed approaches to teaching science at junior high school level: outcomes in terms of student learning, Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia.
- Leach, J. & Scott, P., 2002, Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning, *Studies in science education*, 38, 115-142.
- Leach, J. & Scott, P., 2003, Individual and sociocultural views of learning in science education, *Science & Education*, 12, 91-113.
- Lehto, H., Havukainen, R., Maalampi, J. & Leskinen, J., 2009, *Fysiikka 1, Fysiikka luonnontieteenä*, Kustannusosakeyhtiö Tammi, 1. Painos, Vammalan kirjapaino Oy.
- Lehto, H. & Luoma, T., 1998, *Fysiikka 1, 6. uudistettu painos*, Kirjayhtymä Oy, Jyväskylä.
- Lowe, R., 1989, Search strategies and inference in the exploration of scientific diagrams, *Educational psychology*, 9(1), 27-44.
- Lowry, R., 2001, 2013, Chi-Square, Cramer's V, and Lambda For a Rows by Columns Contingency Table. <http://www.vassarstats.net/newcs.html>.
- Lunetta, V., N., Hofstein, A. & Clough, M., P., 2007, Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An analysis of Research, Theory and Practice. Teoksessa Abell, S., A. & Lederman, N., G, *Handbook of Research on science education*, 393 -441.
- Maloney, D., P., 1984, Rule-governed approaches to physics - Newton's third law, *Physics Education*, 19, 37- 42.
- Maol ry, 2003, Maol-opas koulukohtaisen opetussuunnitelman tueksi, <http://www.maol.fi/fileadmin/users/Documents/OPS-MAOL-opas.pdf>.
- Mayer, R. & Moreno, R., 2002, Animations an aid to multimedia learning, *Educational Psychology Review*, 14(1), 87- 99.
- Mayer, R. & Anderson, R., 1992, The instructive Animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning, *Journal of Educational Psychology*, 84 (4), 444-452.
- McCarthy, T.,J & Goldfinch, T., 2010, Teaching the concept of free body diagrams, *Proceedings of the 2010 AaeE Conference*, Sydney, 454- 460.
- McGrath, R., E. & Meyer, G., J., 2006, When Effect Sizes Disagree: The Case of r and d, *Psychological Methods*, 11 (4), 386 - 401.
- McCloskey, M., 1983, Intuitive Physics, *Scientific American*, 248 (4), 122- 130.
- McDermott, L.,C.,Schaffer, P., S. & Somers, M.,D., 1994, Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine, *American Journal of Physics*, 62 (1), 46-55.



- McDermott, L., C., Schaffer, P., S. & Physics Education Group at the University of Washington, 2002, *Tutorials in introductory Physics*, Prentice Hall Inc. First Edition. <http://www.physics.oregonstate.edu/~walshke/COURSES/ph201/Homework%20-%20Newton%27s%20Laws.pdf>.
- McDermott, L., C., 1997, Students' conceptions and problem solving in mechanics. Teoksessa Tiberghien, A., Jossem, L., E. & Barojas, J., *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, An International Commission on Physics Education Book*. <http://pluslucis.univie.ac.at/Archiv/ICPE/TOC.html>.
- Meltzer, D., E., 2002, Issues Related to Data Analysis and Quantitative Methods in PER, *Physics Education Research Conference*. <http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=4334>.
- Meltzer, D., E., 2005, Relation between students' problem-solving performance and representational format, *American Journal of Physics*, 73(5), 463- 478.
- Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., & Sams, C., 2004, Reasoning as a scientist: ways of helping children to use language to learn science, *British Educational Research Journal*, 30 (3), 359-377.
- Metsämuuronen, J., 2009, *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*, Gummerus Kirjapaino Oy, 4. laitos, 1. painos
- Miles, M., B., & Huberman A., M., 1994, *An expanded sourcebook, Qualitative data analysis*, second edition, SAGE publications, 277- 280.
- Minstrell, J., 1982, Explaining the "at rest" condition of an object, *Physics Teacher*, 20(10).
- Mislevy, R., J., Behrens, J., T., Bennett, R., E., ym., 2010, On the Roles of External Knowledge Representations in Assessment Design, *Journal of Technology, Learning and Assessment*, 8 (2), 1 - 58.
- Montanero, M., Perez, A., L. & Suero, M., I., 1995, A survey of students' understanding of colliding bodies, *Physics Education*, 30, 277-283.
- Montanero, M., Suero, M., I., Perez, A., L. & Pardo, P., J., 2002, Implicit theories of static interactions between two bodies, *Physics Education*, 37, 318 - 323.
- Mortimer, E. & Scott, P., 2003, *Meaning making in secondary science classrooms*, Open University Press Mc Craw-Hill Education.
- Mualem, R. & Eylon, B., 2007, "Physics with a Smile" - Explaining Phenomena with a Qualitative Problem-Solving Strategy, *The Physics Teacher*, 45, 158 - 163. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.20369/abstract>.
- Muis, K., R., 2007, The Role of Epistemic Beliefs in Self-Regulated Learning, *Educational Psychologist*, 42(3), 173-190.
- Mulhall, P. & Gunstone, R., 2008, Views about Physics held by Physics Teachers with Differing Approaches to Teaching Physics, *Research of Science Education*, 38, 435 - 462.
- Mäkynen, A., Savinainen, A., Nieminen, P. & Viiri, J., 2013, The role of a visual representation of interactions in helping students to construct free-body diagrams, *Esitys ESERA 2013 konferenssissa 2.-7.9.2013, Kypros, Nikosia*.



- Nevgi, A. & Lindholm-Yläne, S., 2002, Teoksessa Lindholm-Yläne, S. & Nevgi, A., *Yliopisto- ja korkeakoulu-opettajan käsikirja*, WSOY, 1. Painos, Dark Oy, Vantaa, s. 82-115.
- Nieminen, P., Savinainen A. & Viiri, J., 2010, Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 6, 020109.
- Nieminen, P., Savinainen, A. & Viiri, J., 2012, Relations between representational consistency, conceptual understanding of the force concept, and scientific reasoning, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 3, 010123-1-10.
- Nummenmaa, L., 2010, *Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät*, 2. Painos, SanomaPro.
- Nurkka, N., Mäkynen, A., Viiri, J., Savinainen, A., & Nieminen, P., 2011, Classroom discourse types and students' learning of an interaction diagram and newton's third law. The Esera conference, Lyon, France Esera Ebook Part 6. Co-editors Welzel-Breuer, M. ja Marquez, C.
- Opetushallitus, 2003, *Lukion opetussuunnitelman perusteet*, Vammalan Kirjapaino Oy.  
[http://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus](http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus).
- Opetushallitus, 2012, *Koulutuksen tilastollinen vuosikirja 2011*, toimittanut Kumpulainen, T., Juvenes Print - Tampereen yliopistopaino.  
[http://www.oph.fi/download/141011\\_Koulutuksen\\_tilastollinen\\_vuosikirja\\_2011.pdf](http://www.oph.fi/download/141011_Koulutuksen_tilastollinen_vuosikirja_2011.pdf).
- Palmer, D. & Flanagan, R., 1997, Readiness to change the conception that "motion implies force": A comparison of 12 year old and 16 year old students, John Wiley & Sons, Inc Science Education, Hewson, P., Section editor, 81, 317-331.
- Physics and Everyday Thinking (PET). <http://petproject.sdsu.edu/assets/C2A1.pdf>.
- Poon, C., H., 2006, Teaching Newton's Third Law of Motion in the presence of student preconception, *Physics Education*, 41 (3), 223 - 227.
- Puri, A., 1996, The art of free-body diagrams. *Physics Education*, 31, 155-157.
- Redish, E., F. & Steinberg, R., N., 1999, Teaching Physics: Figuring out What Works, *Physics Today*, 52 (1), 24 - 30.
- Reif, F., 1995, Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes, *American Journal of Physics*, 63 (1), 17 - 32.  
<http://web.mit.edu/6.969/www/readings/reif-ajp.pdf>.
- Reif, F. & Allen, S., 1992, Cognition for Interpreting Scientific Concepts: A Study of Acceleration, *Cognition and Instruction*, 9(1), 1-44.  
[http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci0901\\_1](http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci0901_1).
- Rincke, K., 2011, It's Rather like Learning a Language: Development of talk and conceptual understanding in mechanics lessons, *International Journal of Science Education*, 33(2), 229-258.

- Robinson, D., H. & Levin, J., R., 1997, Reflections on Statistical and Substantive Significance, with a Slice of Replication, *Educational Researcher*, 26 (5), 21 - 26.
- Rogoff, B., 1995, Observing sociocultural activity on three planes: participatory appropriation, guided participation, and apprenticeship. Teoksessa Wertsch, J., V, Rio, P. & Alvarez, A., *Sociocultural Studies of Mind*, Cambridge University Press, New York, USA, 139 -164.
- Rosengrant, D., 2007; Multiple representations and free-body diagrams: Do students benefit from using them? Väitöskirja, The State University of New Jersey.
- Rosengrant, D., Etkina, E. & Van Heuvelen, A., 2009, Do students use and understand free-body diagrams?, *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5.
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E., 2005, Free-body diagrams: Necessary or sufficient?, *Physics Education Research Conference*, edited by J. Marx, P. Heron ja S. Franklin, American Institute of Physics, 177-180.
- Rosenblatt, R. & Heckler, A., 2011, Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity and acceleration in one dimension. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7, 1-20.
- Rosenblatt, R., Sayre, E. C. & Heckler, A. F., 2009, Modeling students' conceptual understanding of force, velocity and acceleration, *Proceedings of 2009 Physics Education Research Conference*. Melville, New York, AIP Conference Proceedings.
- Sandoval, W., A., 2004, Developing learning theory by defining conjectures embodied in educational designs, *Educational psychologist*, 39(4), 213-223.
- Savinainen, A., 2001, Peer-menetelmä fysiikan käsitteiden opetuksessa, *Dimensio*, 1, 28-32.
- Savinainen, A., Nieminen, P., Viiri, J., Korkea-aho, J. & Talikka, A., 2007, FCI-based Multiple Choice Test for Investigating Students' Representational Coherence, *Physics Education Research Conference* edited by Hsu, L et al., AIP Conference Proceedings.
- Savinainen, A., Nieminen, P., Mäkynen, A. & Viiri, J., 2013b, Teaching and evaluation materials utilizing multiple representations in mechanics, *Physics Education*, 48(3), 372 - 377.
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P. & Viiri, J., 2012, An intervention using an Interaction Diagram for teaching Newton's third law in upper secondary school. Teoksessa Lindell, A., Kähkönen, A-L. & Viiri, J. (Eds.), *Physics Alive*. Proceedings of the GIREP-EPEC 2011 Conference, Jyväskylä: University of Jyväskylä, 123-128.
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P. & Viiri, J., 2013a, Does using a visual-representation tool foster students' ability to identify forces and construct free-body diagrams?, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9, 010104-1-11.

- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P. & Viiri, J., 2013d, The effect of using a visual representation tool in a teaching-learning sequence for teaching Newton's third law, accepted for publication to *Research in Science Education*.
- Savinainen, A., Mäkynen, A. & Viiri, J., 2013c, Does focusing forces as interactions help students to identify forces? Teoksessa Hähkiöniemi, M., Leppäaho, H, Nieminen, P. & Viiri, J., *Proceedings of the annual conference of Finnish Mathematics and Science Education Research Association, Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimusseuran konferenssijulkaisu, Jyväskylän yliopisto*. <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/42264>.
- Savinainen, A. & Scott, P., 2002, Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching, *Physics Education*, 37(1), 53- 58.
- Savinainen, A., Scott, P. & Viiri, J., 2005, Using a bridging representation and social interactions to foster conceptual change: Designing and evaluating an instructional sequence for Newton's third law, *Science Education*, 89, 175 -195.
- Savinainen, A. & Viiri, J., 2005, Vuorovaikutuskaavio - tehokas väline voimakäsitteen opettamiseen, *Dimensio* 3, 63-65.
- Savinainen, A. & Viiri, J., 2008, The Force Concept Inventory as a measure of student's conceptual coherence, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 719-740.
- Scott, P. & Jewitt, C., 2003, Talk, action and visual communication in teaching and learning science, *School Science Review*, 84 (308), 117-124.
- Scott, P., 1998, Teacher talk and Meaning Making in Science Classrooms: a Vygotskian Analysis and Review, *Studies in Science Education* , 32, 45 - 80.
- Scott, P., 2005, Planning science instruction: from insights to learning to pedagogical practices, *International Science Education Research Congress, Granada, Spain*.
- Sharma, S.V. & Sharma, K.C., 2007, Concepts of force and frictional force: the influence of preconceptions on learning across different levels, *Physics Education*, 42(5), 516-521.
- Sim, J. & Wright, C., C., 2005, The kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements, *Journal of American Physical Therapy Association*, 85, 257-268. online at: <http://ptjournal.apta.org/content/85/3/257>
- Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E. & Kariotoglou, P., 2009, Educational software for improving aspects of Newton's Third Law for student teachers, *Educ Inf Technol*, 14, 163-187.
- Stephens, L., A. & Clement, J., J., 2010, Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students, *Physical Review Special Topics*, 6, 020122- 1- 15.
- Stockmayer, S., Rayner, J., P. & Gore, M., M., 2012, Changing the Order of Newton's Laws - Why & How the Third Law Should be First, *The Physics Teacher*, 50, 406 -409.

- Säljö, R., 2001, *Oppimiskäytännöt, sosiokulttuurinen näkökulma*, WSOY.
- Tao, P. & Gunstone, R., 1999, The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 7, 859-882.
- Tavakol, M. & Dennick, R., 2011, Making sense of Cronbach's alpha, *International Journal of Medical Education*, 2, 53 -55.
- The Design-Based Research Collective, 2003, Design-Based research: An emerging paradigm for educational inquiry, *Educational Researcher*, 32 (1), 5-8.
- Van Heuvelen, A. & Zou, X., 2001, Multiple representations of work-energy processes, *American Journal of Physics*, 69 (2), 184- 194.
- Thornton, J., K. & Sokoloff, D., 1998, Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation, *American Journal of Physics*, 66 (4), 228 - 351.
- Turner, L., 2003, System Schemas, *Physics Teacher*, 41, 404-409.
- Tynjälä, P., 2000, *Oppiminen tiedon rakentamisena*, Kirjayhtymä Oy, 1.-2. painos, Tammer-Paino Oy, Tampere.
- Van Heuvelen, A., 1991, Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies, *American Journal of Physics*, 59 (10), 891-897.
- Vavra, K., Janjic-Wathirch, V., Loerke, K., Phillips, L., Norris, S. & Macnab, J., 2011, Visualization in Science Education, *ASEJ*, 41 (1), 22-30.
- Viiri, J. & Savinainen, A., 2008, Teaching-learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction, *Lat. Am. Journal of Physics Education*, 2(2), 80- 86.
- Viiri, J. & Saari, H., 2006, Teacher Talk Patterns in Science Lessons: Use in Teacher Education, *Journal of Science Teacher Education*, 17, 347-365.
- Vosniadou, S., 1994, Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and instruction*, 4, 45 -69
- Vosniadou, S., 2007a, Conceptual Change and Education, *Human Development*, 50, 47 -54
- Vosniadou, S., 2007b, The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change, *Educational Psychologist*, 42(1), 55-66.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Mimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E., 2001, Designing learning environments to promote conceptual change in science, *Learning and Instruction*, 11, 381 -419.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. & Ikospentaki, K., 2005, Reconsidering the role of artifacts in reasoning: Children understanding of the globe as a model of the earth, *Learning and Instruction*, 15, 333-351.
- Ylioppilastutkintolautakunta, *Fysiikan ylioppilaskoetehtävät*, <http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/yo/>.
- Watts, D. & Zylbersztajn, A., 1981, A survey of some children's ideas about force, *Physics Education*, 16, 360-365.

- Wells, G., 2007, Who we become depends on the company we keep and on what we do and say together, *International Journal of Educational Research*, 46, 100-103.
- Wendel, P., 2011, Adding value to force diagrams: representing relative force magnitudes, *The Physics Teacher*, 49, 308 - 311.
- Wertsch, J., V., Rio, P. & Alvarez, A., 1995, *Sociocultural studies: history, action, and mediation*. Teoksessa Wertsch, J., V, Rio, P. & Alvarez, A., *Sociocultural Studies of Mind*, Cambridge University Press, New York, USA, 1 -34.
- Whiteley, P., 1996, Using free body diagrams as a diagnostic instrument, *Physics Education*, 31, 309-312.
- Wilson, D., B., 2010, Practical Meta-Analysis Effect Size Calculator, *The Campbell Collaboration*. [http://www.campbellcollaboration.org/resources/effect\\_size\\_input.php](http://www.campbellcollaboration.org/resources/effect_size_input.php).
- Wong, D., Poo, S., Hock, N & Kang, W, 2011, Learning with multiple representations: an example of a revision lesson in mechanics, *Physics Education*, 46 (2), 178 - 186.
- Wutchana, U., & Emarat, N., 2011 Students' understanding of graphical vector addition in one and two dimensions, *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 3(2), 102-111.
- Zhou, G., Nocente, N. & Brouwer, W., 2008, Understanding student cognition through an analysis of their preconceptions in physics, *The Alberta Journal of Educational Research*, 54 (1), 14-29.

**LIITTEET**

- Liite 1 Opetusjakson FY1 opetuksen suunnitelma
- Liite 2 Opetusjakson FY1 testitehtävät
- Liite 3 Kysely transferopettajille opetusjakson FY1 jälkeen
- Liite 4 Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden konstruointiin suunniteltu harjoitusmoniste opetusjaksossa FY1
- Liite 5 Newtonin lakien opetukseen suunniteltu opetusmoniste opetusjaksossa FY4
- Liite 6 Opetusjakson FY4 opetuksen suunnitelma
- Liite 7 Kysely transferopettajille opetusjakson FY4 jälkeen
- Liite 8 Opetusjakson FY4 testitehtävät
- Liite 9 Opetusjaksolle FY4 suunniteltu harjoitusmoniste vuorovaikutuskaavion, voimakuvion ja N3 lain opettamiseen
- Liite 10 Opetusjaksolle FY4 suunniteltu opetusmoniste Newtonin lakien opettamiseen
- Liite 11 Testikysymysten luokittelu tutkittavan aihealueen mukaan
- Liite 12 Oppilaiden konstruoimien vuorovaikutuskaavioiden jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY4
- Liite 13 Vanhemmilta pyydetyt kuvausluvut tutkimukseen osallistumiseen

### Liite1. Opetusjakson FY1 opetuksen suunnitelma

Oppikirja: Physica 1 sivut 78 -95, Luku 5. Voima ja vuorovaikutus

Oppitunti 1: FCI-testi ennakkokäsitystestinä voimakäsitteestä ja Newtonin peruslaeista

Oppitunti 2: Kappaleen vuorovaikutukset

Tavoite: opettaa vuorovaikutuskaavion käyttö

Aika	Tehtävä	Kommentit
5 min	Kotitehtävien (KT) tarkistus	
15 min	Kirja pöydällä, jonka päällä on kirjaa massiivisempi ”punnus”. Tarkastellaan kirjaan kohdistuvia vuorovaikutuksia. Piirretään vuorovaikutuskaavio kirjalle.  Tässä on hyvä pohtia myös kirjan ja punnuksen välisen vuorovaikutuksen aiheuttamien voimien suuruuseroa (N3. laki)	Opettajan johdolla taululle Vuorovaikutus <ul style="list-style-type: none"> <li>• kahden kappaleen välinen</li> <li>• kaksisuuntainen</li> <li>• puoleensa vetävä (veto) tai työntävä (työntö)</li> <li>• etävuorovaikutus (E): (gravitaatio-, sähkö- tai magneettinen vuorovaikutus) tai kosketusvuorovaikutus (K)</li> <li>• Vuorovaikutuksen suuruutta kuvaa voima</li> </ul>
15 min	Harjoitusmoniste, jossa on <ol style="list-style-type: none"> <li>1) elefantti riippusillalla</li> <li>2) curling-kiekko liikuu jäällä tasaisesti hidastuen</li> <li>3) sangon nosto kaivosta vakionopeudella</li> </ol>	Oppilaat tekevät parityöskentelyä. Lopuksi tehtävät tarkistetaan siten, että eri ryhmät esittävät taululle oman esityksensä. Harjoitellaan luokittelemaan etä- (E) ja kosketusvuorovaikutukset (K)
10 min	Tehtävät 1 ja 2 oppikirjasta	
KT	Tehtävät 3 ja 4	



## Oppitunti 3: Vuorovaikutuksesta syntyy kaksi voimaa.

Tavoite: opettaa

- Voiman vektoriesitys
- Voiman eri lajeja
- Voimakuvio
- Newtonin 3. laki

Aika	Tehtävä	Kommentit
5- 10 min	Kotitehtävien tarkistus	
10 min	Voima on vektorisuure, yksikkö N Voima kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta. Esimerkkinä pöydällä olevan kirja, jonka päällä on punnus, voimakuvio.	Kiinnitetään huomio vektorin suuntaan ja pituuteen toisiinsa nähden. Verrataan vuorovaikutuskaavioon ja todetaan vuorovaikutuskaavioviivan vastaavuus voimavektoriin.
15 min	<b>N3. peruslain opetus</b> kokeellisesti Esim 1. kirja ja punnus pöydällä Esim 2. kivääri ja luoti ammuttaessa Katso kuva. <i>Kahden kappaleen vuorovaikutuksessa syntyy kaksi voimaa: voima ja vastavoima, jotka ovat yhtäsuuret ja vastakaisusuuntaiset kappaleiden eri massoista tai liiketiloista riippumatta</i>	Testataan kahdella ”rullatuolilla” tai rullaluistimilla voimaparien suuruuseroa (henkilöillä vaa’at käsissä voimamittareina). <ul style="list-style-type: none"> <li>• toinen henkilö nojaa tuolillaan seinään ja vain toinen työntää.</li> <li>• kaksi eri massaista henkilöä tuoleilla saavat toisiaan työntäessään erilaisen kiihtyvyyden (syy massan hitaus tai N2. laki)</li> </ul>
10 min	voimien luokittelukalvo kirjan kuvan mukaan	Voi aloittaa tunnilla, jos jäi aikaa. <b>Huom!</b> Vuorovaikutusviivojen lukumäärä vastaa voimavektoreiden lukumäärää muulloin paitsi pinnan vuorovaikutuksessa (kitkavoima ja pinnan tukivoima).
KT	Piirrä voimakuviot harjoitusmonisteen kohteille 1) <b>elefantti</b> riippusillalla 2) <b>curling-kiekko</b> liikuu jäällä tasaisesti hidastuen 3) <b>sangon</b> nosto kaivosta vakionopeudella kirjan tehtävät 7 ja 12	

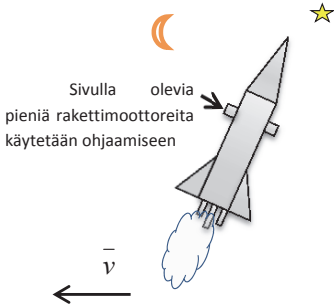
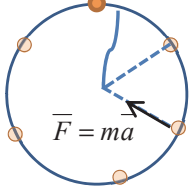
#### Oppitunti 4: Liikkeen muuttamiseen tarvitaan voima

Tavoite: Opetusmonisteen avulla

- kerrataan N3. laki, vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio
- opetetaan, ettei kosketusvoima vaikuta liikkuvaan kappaleeseen kosketusvuorovaikutuksen päättymisen jälkeen
- johdatellaan N1. ja N2. lakiin.

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	Tarkastele curling-kiekon tapauksessa myös voimien vastavoimat.
35 min	Opetusmonisteen vuorovaikutus ja voima käsittely. Kerätään oppilailta monisteesta ainakin osa 1 tutkimusta varten.  Moniste johdattelee N1. ja N2. lakiin.	Oppilaat pohtivat tehtäviä 2 – 3 hengen ryhmissä. Opettaja tai oppilasryhmä suorittaa demonstraation: vaunun nopeus ajan funktiona. Lopuksi käsitellään vastaukset yhdessä.
KT	tehtävät 9, 11, 12 ja 14	

## Oppitunti 5: Newtonin I ja II laki

Aika	Tehtävä	Kommentit
5 min	<b>Testi 1</b>	vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
20 min	<p>Kysymys 1: Avaruudessa kulkeva avaruusalus käyttää rakettejaan 10 s ajan. Tämän jälkeen raketit sammutetaan. Mikä on tällöin aluksen nopeus verrattuna nopeuteen minuuttia myöhemmin.</p> <p>Kysymys 2: poika pyörittää kivilinkea kädessään vaakatasossa. Naru katkeaa tietyllä hetkellä. Miten ja mihin suuntaan pallo liikkuu?</p> <p><b>Opetetaan N1. laki</b></p> <p><b>Opetetaan N2. laki:</b> Jos kokonaisvoima <math>\neq 0</math>, niin liike on kiihtyvää <math display="block">\sum \vec{F} = m\vec{a}</math></p> <p>Tarkastellaan piirrettyjä voimakuvioita: elefantille, curling-kiekolle ja vesisangolle</p>	<p>Voidaan keskustella myös raketin työntövoimasta (N3. laki)</p>   <p>(N2. laki voidaan havainnollistaa kirjan s. 88 tapaisella kokeella.)</p> <p>Kiinnitetään huomiota voimavektorien suhteellisiin pituuksiin sekä kokonaisvoimavektorin suuntaan verrattuna kiihtyvyyteen ja liikesuuntaan.</p>
5 min	Opetetaan kokonaisvoiman laske- mista voimakuvioita sisältävän har- joitusmonisteen avulla. Päätellään liiketila.	
5 min	Massan ja painon ero: Kuinka suuri on 5 kg kappaleen a) paino b) massa $G = mg$	
KT	tehtävät 13, 15, 19 ja 21	

**Oppitunti 6: Kertausta**(Opettajan harkinnan ja aikataulun mukaan)

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
35 min	Lasketaan yhdessä N1. ja N2. lain mukainen laskutehtävä. Kirjan tehtävä 23  Kerrataan opittuja asioita tehtävien 20, 24, 26, (28), 29, 30 ja (31) avulla	Tehdään tehtäviä samoissa 2-3 hengen ryhmissä. Suluissa olevat tehtävät lasketaan, jos on aikaa.

**Oppitunti 7: Testi 2**

Oppilaat tekevät kirjallisena **Testin 2**, kesto n. 30 min

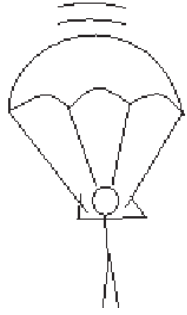

**Testi 3** suoritetaan kurssikokeen yhteydessä. Arvioitu kesto 10 - 15 min.

## Liite 2. Opetusjakson FY1 testitehtävät

### Testi 1: vuorovaikutuksista ja voimista.

Nimi: \_\_\_\_\_ Koulu: \_\_\_\_\_

- a) Piirrä **laskuvarjohyppäjälle** ja **kelluvalle korkille** vuorovaikutuskaaviot, jossa on myös vuorovaikutustyyppi (kosketusvuorovaikutus K ja etävuorovaikutus E) nimettynä.  
 b) Piirrä myös **laskuvarjohyppäjälle** ja **kelluvalle korkille** voimakuviot, jossa on **voimat nimettynä**. (Modeling instruction program, 2009, Free particle model, worksheet 1a v2.1, <http://www.modelingphysics.org/freeparticle/sframe.htm> )

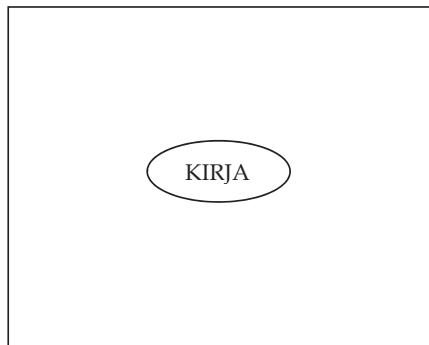
Tilannekuvaus	Vuorovaikutuskaavio	Voimakuvio
<p>1. <b>Laskuvarjohyppääjä</b> putoaa ilmassa vakionopeudella.</p> 		
<p>2. <b>Korkki</b> kelluu nesteessä.</p> 		

Testi 2: Voimat ja Newtonin peruslait.

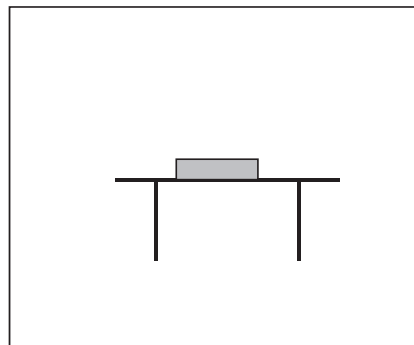
Nimi: \_\_\_\_\_ Koulu: \_\_\_\_\_

1. Vaakasuoralla pöydällä on kirja (Savinainen ym., 2005).

a) Piirrä kirjan vuorovaikutuskaavio.



b) Piirrä kirjaan vaikuttavat voimat voimakuviona.



c) Esitä voimien suurusuhteet perustellen.

---

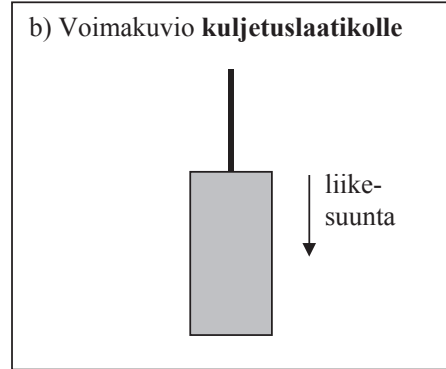
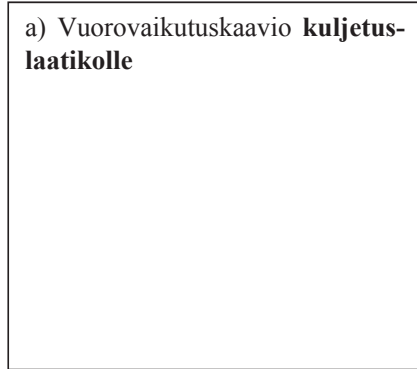


---

d) Mitkä ovat kirjaan piirtämiesi voimien (**nimeä voimat** taulukkoon) Newtonin 3. lain mukaiset vastavoimat. Huom. rivien määrä ei ole välttämättä sama kuin voimien lukumäärä. (Bryce & MacMillan, 2005).

Voima	sen vastavoima

3. Piirrä raskaan kuljetuslaatikon a) vuorovaikutuskaavio ja b) voimakuvio, kun laatikkoa lasketaan vakionopeudella ilmassa hitaasti alas teräsvaijerin avulla. **Nimeä voimat.**



Kerro ja perustele myös voimien suuruussuhteet toisiinsa nähden.

---



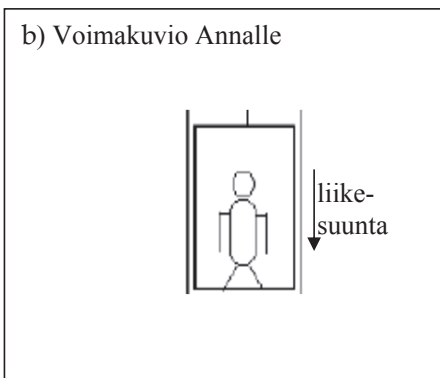
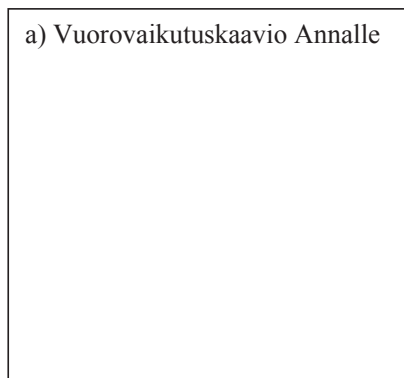
---



---

4. Anna käyttää hissiä päästäkseen neljännessä kerroksesta pohjakerrokseen. Hän seisoo hississä keskellä suorana eikä kosketa mihinkään muuhun. Hissi on juuri lähtenyt kiihtyen alaspäin. (Bao ym., 2002).

Piirrä Annaan kohdistuvat a) vuorovaikutukset vuorovaikutuskaaviona ja b) voimat voimakuviona.





- c) Mikä on Annaan kohdistuvien voimien suuruusjärjestys toisiinsa nähden? Perustele. Nimeä voimat.

---



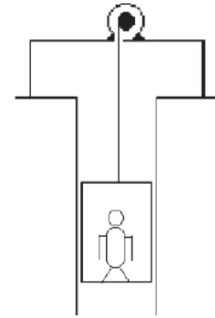
---



---



---


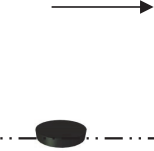



- d) Mikä vaihtoehdoista kuvaa hissien lattian ja Annan jalkojen välisiä voimia oikein?
- Lattia kohdistaa suuremman voiman jalkoihin kuin jalat lattiaan.
  - Jalat kohdistavat suuremman voiman lattiaan kuin lattia jalkoihin.
  - Jalat kohdistavat lattiaan voiman, mutta lattia ei kohdistaa voimaa jalkoihin.
  - Lattia kohdistaa jalkoihin voiman, mutta jalat eivät kohdistaa voimaa lattiaan.
  - Lattia kohdistaa yhtä suuren voiman jalkoihin kuin jalat lattiaan.
  - Mikään vastauksista ei kuvaa tilannetta oikein.
7. Kaksi jalkapallon pelaajaa, Joni ja Tommi, sattuvat olemaan **saman painoisia**. Kumpikin juoksee palloa kohti. Jonin vauhti on **kaksi kertaa suurempi** kuin Tommin vauhti. Valitettavasti pelaajat törmäävät toisiinsa palloa tavoitellessaan. Mikä vaihtoehdoista on oikein törmäyshetkellä? (Bao ym., 2002)
- Joni kohdistaa suuremman voiman Tommiin kuin Tommi Joniin.
  - Joni kohdistaa Tommiin yhtä suuren voiman kuin Tommi Joniin.
  - Tommi kohdistaa Joniin voiman, mutta Joni ei kohdistaa voimaa Tommiin.
  - Tommi kohdistaa Joniin suuremman voiman kuin Joni Tommiin.
  - Joni kohdistaa Tommiin voiman, mutta Tommi ei kohdistaa voimaa Joniin.
  - Mikään vastauksista ei kuvaa tilannetta oikein.

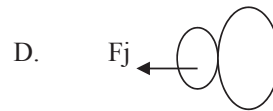
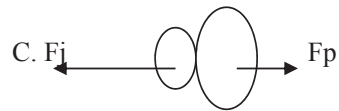
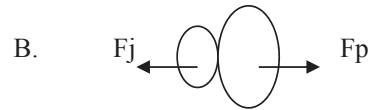
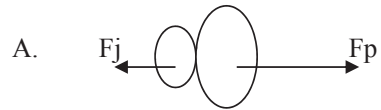
Testi 3: (kurssikokeen yhteydessä) Voimat ja Newtonin peruslait..

Nimi: \_\_\_\_\_ Koulu: \_\_\_\_\_

2. Jääkiekkoilija lyö paikallaan olevaa jääkiekkoa (a). Kiekko liukuu jäällä tasaisesti hidastuen (b) ja lopulta pysähtyy (c). Alla on kuvattu nämä tilanteet. Piirrä **jääkiekolle** vuorovaikutuskaaviot ja voimakuviot näissä kolmessa eri tilanteessa. Huomioi voimavektorien suhteelliset pituudet toisiinsa nähden. Ilmanvastusta ei tarvitse huomioida. **Nimeä** voimat. (McDermott, Schaffer & P.E.G University of Washington., 2002, <http://www.physics.oregonstate.edu/~walshke/COURSES/ph201/Homework%20-%20Newton%27s%20Laws.pdf>).

Lyödään paikallaan olevaa jääkiekkoa oikealle, jolloin maila koskettaa kiekkoa.	Kiekon nopeus hidastuu hitaasti .	Kiekko lopulta pysähtyy ja jää paikalleen.
Vuorovaikutuskaavio a)	Vuorovaikutuskaavio b)	Vuorovaikutuskaavio c)
Voimakuvio d) 	Voimakuvio e) liikesuunta 	Voimakuvio f) 

3. Jalkapallopelissä Joni (J) törmää Pekkaan (P), joka on melkein **kaksi kertaa painavampi** kuin Joni. Kummatkin juoksevat samalla vauhdilla törmäyshetkellä. Mikä vaihtoehdoista kuvaa törmäyshetkellä vaikuttavia voimia oikein? Voimavektori alkaa sen vaikutuskohteesta siten, että  $F_j$  = Pekan Joniin kohdistama voima ja  $F_p$  = Jonin Pekkaan kohdistama voima. (Bao ym., 2002)



F. Mikään vastauksista ei kuvaa tilannetta oikein

Esitä mielestäsi oikean voimakuvion merkitys vielä sanallisesti

---



---

### Liite 3. Transferopettajille suoritettu kysely opetusjakson FY1 jälkeen

Vastaava kysely, josta poistettiin opetusjakson suunnitelmaan liittyvät kysymykset, tehtiin myös vertailuopettajille.

#### 1. Miten opetusjakson suunnitelman toteutus yleisesti onnistui?

Mitkä osat toimivat opetuksessa hyvin, entä mitkä eivät toimineet?

a) vuorovaikutuskaavio-voimakuvio (elefantti, curlingkiekko, sanko) -  
moniste

b) vuorovaikutus- ja voimakuviomoniste

I osa: N3. lain tehtävät: poika työntää elefanttia, jalka potkaisee palloa.

I osa: käsitykset palloon kohdistuvista voimista ja voiman vaikutuksesta liikkeeseen (kuvaaja)

II osa: Demonstraatio voiman vaikutuksesta vaunun liiketilän muutokseen

II osa: potkuvoimasta poisoppiminen

II osa: autoiko N1. ja N2. lain opetusta?

#### 3. i) Miten käytit opetuksessa vuorovaikutuskaaviota?

a) aina b) satunnaisesti c) vain ongelmatapauksissa d) hyvin vähän  
voimakuviota muodostettaessa

ii) Käytitkö kirjallista vai sanallista esitystä vuorovaikutuksen kaksisuuntaisuudesta (N3. laki)?

iii) Miten hyödylliseksi koet vuorovaikutuskaavion käytön

asteikolla erittäin tarpeellinen 5 - ei merkitystä oppimisen kannalta 1?

a) voimien tunnistamiseksi

b) N3. lain voimaparin määrittämiseksi?

c) liikeyhtälön muodostamisessa?

iv) Millaisia ongelmia koet vuorovaikutuskaavion käytössä?

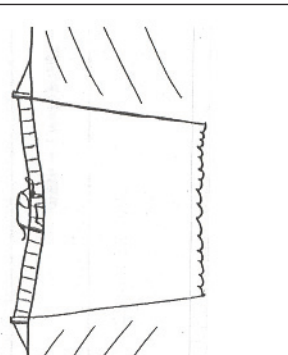
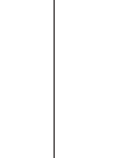
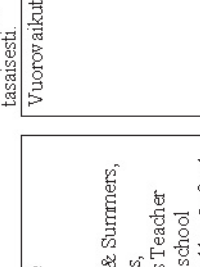
v) Mitä muita etuja (kohdan iii lisäksi) on vuorovaikutuskaavion käytöstä?

#### 4. Miten koet oppilaiden omaksuneen vuorovaikutuskaavion käytön?

5. Miten koet oppilaiden oppineen voimakuvion piirtämisen?  
Oliko havaittavissa jonkin tietyn osaamisalueen ongelmia?
  
6. Oppivatko oppilaat Newtonin lait?  
  
-Auttoivatko monisteen tapausesimerkit (avaruusraketti, kivilinko) N1. lain opetusta?  
  
- Auttoiko kirjan tai monisteen tehtävistä erityisesti jokin kohta oppimista?  
  
- Oliko demonstraatiosta apua N3. lain voimien yhtäsuuruuden osoittamiseksi?
  
7. N2. laki.  
- Oliko oppilailla käsitys, että voima aiheuttaa kappaleelle vakionopeuden vielä voima ja vuorovaikutus -monisteen jälkeenkin?  
-Tuliko sellainen käsitys esille monisteen tekoaikana?  
  
- Kuinka korostit voimavektoreiden suuruuseroja?
  
8. Onko pääaineenasi fysiikka?
  
9. Kuinka pitkä kokemus sinulla on lukion fysiikan opettajana?
  
10. Physica-kirjan käyttöaika?  
  
Kuinka monetta kertaa opetat vuorovaikutuskaaviota?
  
11. Mitä muuta mainittavaa opetuksesta tai minun laatimista opetusmonisteista tai opetuksen suunnitelmasta sinulle tulee mieleen?

Kiitos vastauksistasi! Uskon opettajan käsityksellä olevan merkitystä tutkimukseni kannalta. Kohdassa 11 saa vapaasti esittää näkemyksiä opetuksesta, opetusmateriaalista, testeistä tai tutkimuksesta.

#### Liite 4. Vuorovaikutuskaavioiden ja voimakuvioiden konstruointiin suunniteltu harjoitusmoniste opetusjaksossa FY1

<p>1. <b>Elefantti</b> on pysähtynyt rippusillalle</p>	<p>2. <b>Curling-kiekko</b> liukuu jäällä hidastuen tasaisesti.</p>	<p>3. <b>Sangolla</b> nostetaan vettä kaivosta vakionopeudella</p>
<p>Vuorovaikutuskaavio elefantille</p> <p>Lähde: Kruger, C., Palacio, D., &amp; Summers, M., 1991, Understanding Forces, Understanding Science concepts Teacher education materials for primary school science (PSTS) project. Published by Oxford University Department of Educational studies and Westminster College, Oxford.</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio curling-kiekkolle</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio sangolle</p> <p>Lähde: Modeling instruction program, 2009, Free particle model, worksheet 1a v2.1  <a href="http://www.modelingphysics.org/freeparticle/sframe.htm">http://www.modelingphysics.org/freeparticle/sframe.htm</a></p>
<p>Vuorovaikutuskaavio elefantille</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio curling-kiekkolle</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio sangolle</p>
		
<p>Vuorovaikutuskaavio elefantille</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio curling-kiekkolle</p>	<p>Vuorovaikutuskaavio sangolle</p>

**Liite 5. Newtonin lakien opetukseen suunniteltu opetusmoniste opetusjak-  
sossa FY1**

**Vuorovaikutus ja voima (OSA 1)**

Muokattu Physics and everyday thinking (PET),  
<http://petproject.sdsu.edu/assets/C2A1.pdf>

Fysiikassa kappaleiden välisiä **vuorovaikutuksia** kuvaavat **voimat**.  
Voimat voidaan luokitella työntöihin tai vetoihin. Esimerkiksi jalkapal-  
lopelaajan potkaistessa palloa voimme sanoa:

”Pelaajan jalan ja pallon välillä on **kosketusvuorovaikutus** siten, että  
jalka työntää palloa **tai** jalka kohdistaa voiman palloon kosketushetkel-  
lä. Koska vuorovaikutus on **molemminpuolinen** myös pallo työntää  
jalkaa **tai** pallo kohdistaa voiman jalkaan kosketushetkellä.”

Tällaista samasta vuorovaikutuksesta syntyvää voimaparia nimitetään **voimaksi ja vas-  
tavoimaksi**.



Tarkastele pojan ja rullaluistelevan norsun välistä vuorovaikutusta. Määritä voima ja  
vastavoima.  
Onko voiman ja vastavoiman suuruusero riippuvainen vuorovaikuttavien kappaleiden  
massoista? Jos on, niin miten



Tarkastele tietyllä nopeudella liikkuvan jalan potkaisua paikallaan olevaan palloon.  
Määritä voima ja vastavoima.  
Onko voiman ja vastavoiman suuruusero riippuvainen vuorovaikuttavien  
kappaleiden liiketiloista? Jos on, niin miten?



Voiko voima ja sen vastavoima vaikuttaa samaan kohteeseen? Perustele vastauksesi.

Edellä olevat lainalaisuudet sisältyvät Newtonin 3. lakiin.



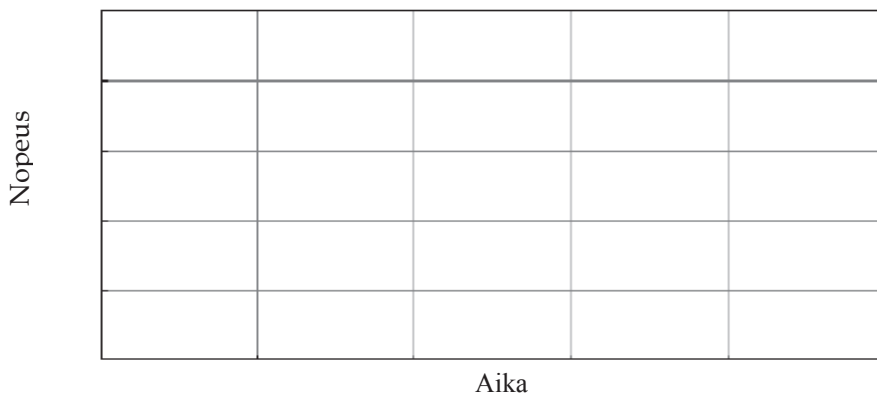
### Käsityksesi voimasta ja liikkeestä

Ajatellaan jalkapallopelaajan potkaisevan paikallaan olevaa palloa. Kun hän potkaisee palloa, pallo alkaa liikkua. Potkun jälkeen se vierii nurmikolla ja lopulta pysähtyy.



Piirrä pallon liikkeestä sen nopeus ajan suhteen. Ota huomioon pallon liike silloin, kun pelaajan jalka on kosketuksissa palloon sekä liike sen jälkeen, kun jalka ei enää kosketa palloa.

Nopeus ajan suhteen






Miksi pallo hidastuu tasaisesti ja lopulta pysähtyy sen jälkeen, kun sitä on potkaistu?

Piirrä nyt **vuorovaikutuskaaviot** pallolle sen liikkeen eri vaiheissa:

a) hetki, jolloin pallo on kosketuksissa jalan kanssa

b) hetki, jolloin pallo vierii nurmikolla potkun jälkeen

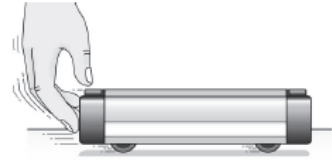
c) hetki, jolloin pallo pysähtyy ja jää paikalleen

Piirrä lisäksi <b>voimakuviot</b> (palloon vaikuttavat voimavektorit) pallolle sen liikkeen eri vaiheissa:		
<p>a) hetki, jolloin pallo on kosketuksissa jalan kanssa</p> 	<p>b) hetki, jolloin pallo vie ri i nurmikolla potkun jälke en</p> 	<p>c) hetki, jolloin pallo pysähtyy ja jää paikalle en</p> 

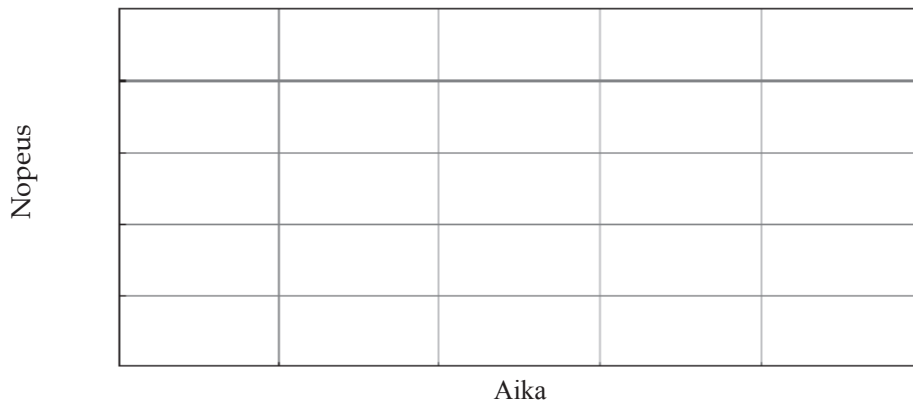
- Keskustelkaa ryhmässä tähänastisista vastauksista. Pyrkikää pääsemään yksimielisyyteen ryhmän vastauksista edellä oleviin kysymyksiin.
- Osallistu rohkeasti keskusteluun. Palauta toinen ryhmän vastauspapereista opettajallesi sellaisena, kuin itse asiat näitte.

## Testataan voiman vaikutusta liikkeeseen (OSA 2)

Vaihe 1 Tutkitaan ultraäänianturin avulla herkkäliikkeisen vaunun liikettä, kun vaunu työnnetään nopealla töytäisyllä liikkeelle anturista poispäin.



Hahmottele vaunun liikkeen (*aika, nopeus*) -kuvaaja.



Millaista on vaunun liike sinä lyhyenä aikana, kun käsi on kosketuksissa vaunuun?

Kun käsi ei ole enää kosketuksissa vaunuun, muuttuuko vaunun liike vai jatkuuko liike samanlaisena kuin käden työntäessä vaunua?

Vaihe 2 Jos on aikaa, voitte toistaa kokeen antamalla kaksi tai kolme eri töytäisyä vaunulle yhden mittauksen aikana.

*Vaihe 3 Kolme oppilasta keskustelee vaunun liikkeestä ja siihen vaikuttavasta työntövoimasta. He ovat yhtä mieltä siitä, että käden työntäessä vaunua siihen kohdistuu voima, mutta he ovat eri mieltä siitä, mitä tapahtuu vaunulle, kun käsi ei ole kosketuksissa vaunuun.*

Käden työntövoima välittyy vaunuun ja vaikuttaa siihen. Siksi vaunu pysyy liikkeessä.



Sanna

Käden työntövoima loppuu, kun kosketus siihen häviää, mutta jonkin muun voiman täytyy pitää vaunu liikkeessä.



Ville

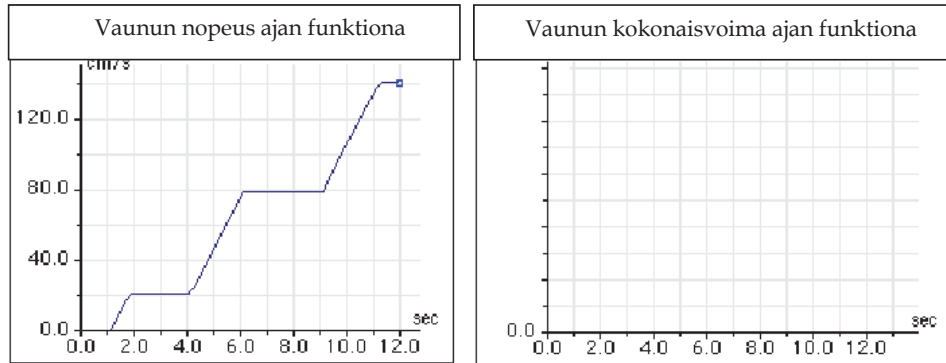
Koska käsi ei kosketa enää vaunuun, niin vaunuun ei vaikuta yhtään voimaa. Vaunun tilanne on jotenkin erilainen, kun sitä ei enää työnnetä, mutta en ole varma millainen se on.



Anna

*Oletko samaa mieltä Sannan, Villen vai Annan kanssa vai et kenenkään kanssa? Selitä päättelysi.*

Vaihe 4 Alla on *(aika, nopeus)*-kuvaaja kokeesta, jossa vaunua on töytäisty lyhyellä aikavälillä useamman kerran peräkkäin.



Katso *(aika, nopeus)*-kuvaajasta, millä aikaväleillä käsi on työntänyt vaunua. Mistä sen tietää?

Oikealla on tyhjä kuvaaja vaunuun kohdistuvasta kokonaisvoimasta ajan funktiona.

Piirrä vaunuun vaikuttavasta voimasta hahmotelma 12 sekunnin aikana siten, että kuvaaja vastaa vasemmalla puolella olevaa *(aika, nopeus)*-kuvaajaa.

Selitä, millä perusteella päädyit piirtämään kuvioon.

## Yhteenvetokysymykset

Vastaa kysymyksiin ensin ryhmäsi kanssa yhdessä. Merkitse, mitkä vastaukset poikkeavat luokan näkemyksistä. Jokaisessa kohdassa tarkastellaan herkkäliikkeistä vaunua, joten kitka ja muut vastusvoimat voidaan jättää huomiotta.

- K1. Kun käsi on kosketusvuorovaikutuksessa vaunun kanssa, siihen kohdistuu työntövoima. Millaista vaunun liike tällöin on? Mikä todistaa käsityksesi oikeaksi?
- K2. Ajatteletko, että käden työntövoima välittyy kädestä vaunuun vuorovaikutuksen aikana ja jatkaa vaikutustaan vaunuun kosketuksen loppumisen jälkeen. Mikä tukee ajatteluasi?
- K3. Millä hetkellä käden työntövoima lakkaa vaikuttamasta vaunuun?
- K4. Millaista vaunun liike on, jos siihen ei vaikuta vaakasuuntaisia voimia? (Oletetaan, että vaunun vierimiskitka on häviävän pieni.)
- K5. Miksi vaunu pysyy pystysuunnassa tarkasteltuna levossa?
- K6. Minkä voidaan ajatella välittyneen kädestä vaunuun: voiman, energian, molempien vai ei kummankaan? Energiasta puhutaan enemmän kurssin FY1 loppuosassa.

**Liite 6. Opetusjakson FY4 opetuksen suunnitelma**

Oppikirja: Physica 4 sivut 50 – 91, luvut 3 - 4: **Vuorovaikutus, voima ja Newtonin lait**


Oppitunti 1: Opetusjakson FY 4 **alkutesti** koostui enimmäkseen samoista tehtävistä kuin opetusjakson FY1 lopputestin tehtävät voimakäsitteestä ja Newtonin peruslaeista



## Oppitunti 2: Kappaleen vuorovaikutukset ja voimat

Tavoite: opettaa

- vuorovaikutuskaavion ja voimakuvion käyttö
- Newtonin 3. laki.

Aika	Tehtävä	Kommentit
5 min	Kotitehtävien (KT) tarkistus	
5 min	Kerrataan vuorovaikutuskaavio ja voimakuvio kirjan esimerkin 2 avulla. (Katso moniste).	Korosta voimakuviota. Siihen piirretään <u>vain laivaan</u> kohdistuvat voimat, jotka tunnistetaan vuorovaikutuskaaviosta.
20 min	Harjoitusmoniste: palautetaan mieleen vuorovaikutukset, voimakuvio ja N3. laki. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oppilaat piirtävät <b>vuorovaikutuskaavion</b> vuorikiipeilijälle.</li> <li>• Pohditaan <b>N3. lakia</b> seuraavissa vuorovaikutuksissa: <ul style="list-style-type: none"> <li>kiipeilijä – naru</li> <li>jalka – kallio (kiinnitetään huomio pinnan vuorovaikutuksesta syntyvään tukivoimaan <math>N</math> ja kitkaan <math>F_{\mu}</math>)</li> <li>kiipeilijä – maa.</li> </ul> <i>Ei kannata piirtää vastavoimia, vaan tunnistetaan ne vuorovaikutuskaaviosta.</i> </li> <li>• Piirretään vuorikiipeilijälle <b>voimakuvio</b>. Kiinnitetään erityistä huomiota siihen, että kuviossa on vain kiipeilijään kohdistuvat voimat. Selvitetään voimakuvion yhteys ja <b>ero</b> vuorovaikutuskaavioon.</li> </ul>	Oppilaat pohtivat ensin ryhmässä kutakin tehtävää. Lopussa opettajan johdolla tarkistetaan kalvolta. 
10 min	Yhteenvedossa todetaan vuorovaikutukset, voimakuvio ja N3. laki.	<p>Vuorovaikutus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kahden kappaleen välinen</li> <li>• kaksisuuntainen</li> <li>• puoleensa vetävä (veto) tai työntävä (työntö)</li> <li>• etävuorovaikutus (E): (gravitaatiovuorovaikutus, sähköinen tai magneettinen vuorovaikutus) tai kosketusvuorovaikutus (K)</li> <li>• vuorovaikutuksen suuruutta kuvaa voima</li> </ul> <p><b>Huom!</b> Vuorovaikutusviivojen lukumäärä vastaa voimavektoreiden lukumäärää vain jos pinnan vuorovaikutus (kitkavoima) ja koko kappaleen aiheuttama tukivoima erotetaan vuorovaikutuskaaviossa toisistaan.</p>
5 min	Esitellään lyhyesti perusvuorovaikutukset, joissa kosketusvuorovaikutuksen todetaan kuuluvan sm-vuorovaikutukseen. (ks. moniste).	
KT	Tehtävät 1, 4 (lisäksi myös voimakuviot) ja 6	

## Oppitunti 3: Kokonaisvoima ja Newtonin 1. ja 2. laki

Tavoite: opettaa N1. ja N2. laki sekä liikeyhtälön muodostaminen.

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
10 min	<b>TESTI 1: Vuorovaikutus ja voima</b>	
5 min	Kerrataan Newtonin 1. laki testiesimerkin avulla. Miten ja mihin suuntaan auton katolta irronnut pallo liikkuu maahan nähden katolta irtoamisen jälkeen?  <i>Lisätehtävä:</i> Linja-auto ajaa vakionopeudella 80 km/h suoralla tasaisella tiellä. Käytävällä seisova henkilö ( $m = 80$ kg) hyppää kohtisuoraan ylös. Mihin hän putoaa? Lähtöpaikan a) taakse b) eteen vai c) samaan kohtaan? Perustele. Samaan aikaan katolle kiivennyt 8 kg painava marakatti hyppää kohtisuoraan ylös. Mihin hän putoaa?	Opetetaan N1. laki kirjan esittämissä muodossa. Tehtävät eivät suoraan liity N1. lakiin.  Lisätehtävä käytettävissä olevan ajan mukaan.
10 min	Newtonin 2. laki: kokonaisvoima $\sum \vec{F} = m \vec{a}.$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kokonaisvoima ei aiheuta liikettä vaan liiketilän muutoksen, joko nopeuden suunnan tai suuruuden muutoksen, josta kappaleelle aiheutuu kiihtyvyys <math>a</math>.</li> <li>Kappale on levossa tai tasaisessa suoraviivaisessa liikkeessä, jos kokonaisvoima = 0 N.</li> <li>Kiihtyvyyden suunta on sama kuin kokonaisvoiman suunta.</li> <li>Sanotaan liikeyhtälöksi.</li> </ul>
10 min	Esimerkki Laskuvarjohyppääjä, jonka massa varusteineen on 80 kg, hyppää lentokoneesta alas. a) Alussa (varjoa ei ole avattu) hänen liikkeensä oletetaan olevan tasaisesti kiihtyvää. Määrittele tällöin laskuvarjohyppääjään kohdistuvat voimat ja niiden suuruuserot. Muodosta liikeyhtälö. b) Laskuvarjon avaamisen jälkeen liike on hidastuvaa. Määritä laskuvarjohyppääjään kohdistuvan ilmanvastuksen suuruus hetkellä, jolloin hidastuvuus on $4,0 \text{ m/s}^2$ ? c) Lopulta hyppääjä saavuttaa rajanopeuden $4,5 \text{ m/s}$ , jolloin liike on tasaista. Määritä tällöin ilmanvastuksen suuruus.	
KT	Tehtävät 7, 8, 10, 12, 13 ja 16	

#### Oppitunti 4: Kokonaisvoima ja liikeyhtälö

Tavoite: opettaa kokonaisvoiman määrittäminen yhdensuuntaisista voimista sekä erisuuntaisista voimista, joissa käytetään hyväksi voimien komponentteihin jakoa; opettaa liikeyhtälön muodostaminen ja sen ratkaiseminen; tarkastellaan kaltevan tason tilanteita.

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
10 - 15 min	<b>TESTI 2: Representaatiotesti</b>	
20 min	Kokonaisvoiman määrittäminen. ks. opetusmoniste <ul style="list-style-type: none"> <li>a) yhdensuuntaiset voimat</li> <li>b) erisuuntaiset voimat</li> <li>c) kalteva taso</li> </ul>	Kaltevan tason voi tarvittaessa ottaa esille vasta kitkan yhteydessä.
KT	Tehtävät 15, 17, 20 (kalteva taso), 21 ja 24	

## Oppitunti 5: Kitkavuorovaikutus

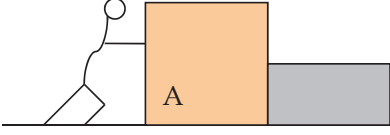
Tavoite: opettaa kitkavuorovaikutuksen eri lajit sekä määrittää liukukitkavoima ja lähtökitkavoima.

Aika	Tehtävä	Kommentit
15 min	Kotitehtävien tarkistus	
20 min	<p>Esitellään voima-anturia (tai valmista graafista mittausta monisteessa) käyttäen kitkan eri lajit: lepokitka, lähtökitka ja liikekitka (joko liuku- tai vierimiskitka). Käytetään apuna Physican työkorttia 1, johon oppilaat voivat merkitä tulokset.</p> <p>Liukukitkan määrittäminen: Lisäämällä erisuuria kuormia palikan päälle nähdään, että <math>F_{\mu} = \mu N</math>.</p> <p>Korostetaan kaltevan tason tapauksessa, että koska <math>N</math> muuttuu, niin kitka pienenee kulman kasvaessa. Täten <math>F_{\mu} \neq \mu mg</math>. <math>N</math>:n muutos voidaan osoittaa esim. digitaalista vaakaa käyttäen.</p>	<p>Huom. Korostetaan, että lepokitka on tilanteen mukaan muuttuva voima. Lähtökitka &gt; liikekitka.</p> <p>Voi käyttää myös valmiiksi mitattuja tuloksia, joista on piirretty <math>(N, F)</math> koordinaatistoon kuvaaja. Kahden erilaista pintamateriaalia käyttäen saadaan <math>\mu</math>:lle kaksi eri kulmakerrointa.</p>
10 min	<p>Esimerkki: a) Määritetään kokeellisesti kappaleen (kirja) ja pöydän välinen lepokitkakerroin kirjan esimerkin 1 tapaan.</p> <p>b) Kirja liukuu vakionopeudella, kun kallistuskulma on esim. <math>25^{\circ}</math> (&lt; kuin edellä mitattu kulma). Määritä alustan ja kirjan välinen liukukitkakerroin.</p>	<p>Jos ei ole aikaa, voi vastaavat asiat opettaa kirjan esimerkkien 1 ja 2 avulla.</p>
KT	Tehtävät 1, 2 (ellei tunnilla ole jo koetta tehty), 3 ja 9	

## Oppitunti 6: Vierimiskitka ja kitkaan liittyviä laskutehtäviä (1. tunti)

Aika	Tehtävä	Kommentit
15 min	Kotitehtävien tarkistus	
10 min	Kysymys: Miksi toistensa suhteen liikkuvien pintojen välissä olevat kuulalaa-kerit vähentävät kitkaa verrattuna kitkaan toisiaan hankaavien pintojen välillä? Määritellään pinnalla vierivälle kappaleelle vierimiskitka.	
20 min	<u>Auton hidastuvuus ja kiihdytys.</u> Näytetään, että pyörän (esim. leikkiauto) pyöriessä pinnalla (paperiarkki välissä) paperiarkki liikkuu alta pois, joten pyörään täytyy kohdistua N3. lain mukaan kiihdyttävä lepokitkavoima.  Esimerkki: a) Kuljettaja pystyy jarruttamalla pysäyttämään auton, jonka massa on 1450 kg, 50 km/h nopeudesta kuivalla vaakasuoralla asfalttitiellä 12 m matkalla. Kuinka suuri on auton liikettä hidastava voima? Piirrä voimakuvio. b) Talvikelillä jäisen tien ja renkaiden välinen lepokitkakerroin on 0,15. Mikä on jäisellä tiellä etuvetoisen auton saama suurin mahdollinen lähtökiihtyvyys? Auton painon voidaan ajatella jakautuneen tasan kaikille pyörille. Piirrä voimakuvio.	
KT	Tehtävät 4, 6, 8 ja 10	

## Oppitunti 7: Newtonin lakien syventävä harjoitusmoniste ( 2. tunti)

Aika	Tehtävä	Kommentit
15 min	Kotitehtävien tarkistus	
20 min	Tehdään harjoitusmoniste (mies työntää kahta laatikkoa A ja B) 	Oppilaat miettivät esim. 3 hengen ryhmässä vastaukset kysymyksiin.
10 min	Harjoitusmonisteen I osan tarkistus	Käydään yhdessä tehtävät läpi. Ryhmät esittävät (= oppivat puhumaan fysiikkaa) omat ratkaisut. Oppilaat eivät korjaa monisteisiin vastauksiinsa. Kerätään ne pois ja jaetaan oppilaille malliratkaisut.
KT	monisteen II osa	Oppilaat pohtivat II osan kotona, jos eivät ehdi tehdä sitä tunnilta.

## Oppitunti 8: Väliaineen vastus

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
20 min	<b>TESTI 3: Newtonin lait</b>	
15min	<p>Koe 1: Pudotetaan kaksi samankokoista ilmapalloa, joista toisessa on hiukan vettä. Mitä havaitaan ja miksi? (Kirjassa on kuva kokeesta.)</p> <p>Koe 2: Pudotetaan samalta korkeudelta kaksi samankokoista, mutta erimassaista palloa (esim. tennispallo ja pesäpallo). Mitä havaitaan ja miksi?</p> <p>Opetetaan lyhyesti väliaineen vastus:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ilmanvastus ja sen riippuvuus nopeudesta.</li> <li>2) nesteen viskositeetti.</li> </ol>	<p>Jos on aikaa, niin demonstroidaan rajanopeutta pudottamalla suodatinpussi, jonka paikka ja nopeus mitataan ultraäänianturilla.</p>
KT	Tehtävät 13, 14 ja 18	



## Oppitunti 9: Noste

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
15 min	Koe: Miten ja miksi vaa'an lukema muuttuu, kun veteen upotetaan langasta riippuva punnus (tehtävä 25).  Määritetään noste hydrostaattisen paineeron aiheuttamaksi voimaksi.  Esimerkki: 10 litran suuruinen säiliö, jonka massa on 4,0 kg, on kiinnitetty järven pohjaan narulla. Naru on pystysuorassa, kun säiliö kelluu puoliksi veden alla. Kuinka suuri on narun jännitysvoima?	
10 min	Tehtävä 29	
10 min	<b>TESTI 4: Voima ja liike</b>	
KT	Tehtävät 26, 27, 28, 30 ja 32	

## Oppitunti 10. Lopputesti

Aika	Tehtävä	Kommentit
10 min	Kotitehtävien tarkistus	
35 min	<b>Lopputesti: FCI – testi</b>	

## Liite 7. Kysely transferopettajille opetusjakson FY4 jälkeen

Vertailuopettajat saivat vastaavan kyselyn, josta oli poistettu opetuksen suunnitteluun liittyvät kysymykset.

Vastaatko alla oleviin kysymyksiin oman käsityksesi mukaan. Otan mielelläni vastaan myös muutosehdotuksia tai kommentteja siitä, mitkä osat suunnitelmassa toimivat hyvin, ja mitkä eivät toimineet.

1. Vuorovaikutuskaavion käyttö
  - Oppivatko oppilaat käyttämään sitä?
  - Oliko sen käytössä joitakin ongelmia?
  - Oliko renkaasta kohteen ympärillä apua siihen, ettei voimakuvioon tule vastavoimia?
  - Muuttaisitko vuorovaikutuskaavion käyttöä? Miten?
  - Sopiiko vuorovaikutuskaavio paremmin tiettyyn tapaukseen?
2. Tuntien suunnitelma
  - Oliko suunnitelma toimiva/ mielekäs?
  - Mitä muuttaisit, poistaisit tai lisäisit?
  - Jos poikkesit opetuksen suunnitelmasta, niin miksi?
  - Oliko aikataulu sopiva?
3. Harjoitusmonisteet (vuorikiipeilijä, kahden laatikon työntö), joita oppilaat tekivät ryhmissä
  - Kokivatko oppilaat ne mielekkäiksi ja opettavaisiksi?
  - Miten itse koit ne, syvensivätkö ne oppimista voimista ja Newtonin lakeista?
  - Oliko ryhmätyöskentely oppimisen kannalta eduksi?
  - Oliko oppilaiden helppo puhua/selittää omia ratkaisujaan? Auttoiko fysiikan puhuminen selvittämään voiman käsitettä tai Newtonin lakeja?
4. Kokonaisuutena
  - Millaista oli opettaa toisen suunnitelman pohjalta?
  - Miten oppilaat kokivat opetusjakson?
5. Muuta palautetta opetuksesta, minun laatimista opetusmonisteista tai opetuksen suunnitelmasta sinulle tulee mieleen?
6.
  - a) Onko pääaineesi fysiikka?
  - b) Opettajakokemus lukion fysiikan opettajana?
  - c) Physica-kirjan käyttöaika?
  - d) Kuinka monetta kertaa opetat vuorovaikutuskaaviota?

**Liite 8. Opetusjakson FY4 testitehtävät**

Alkutestissä 4 kysyttiin testistä 2 seuraavat tehtävät: 1, 2, 3, 4 ja 7 sekä testistä 3 2e) kohta (ks. Liite 2).

## Testi 5: Vuorovaikutus, voima

Nimi: \_\_\_\_\_

Koulu: \_\_\_\_\_

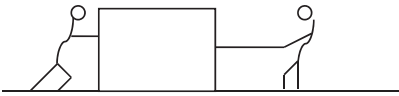
## 1. Laatikon työntö

Kaksi henkilöä yrittää siirtää suurta laatikkoa, mutta laatikko ei kuitenkaan liiku. Matti työntää ja Kalle vetää köydestä laatikkoa.

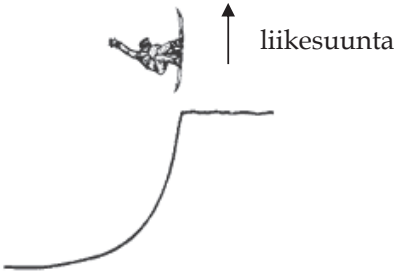
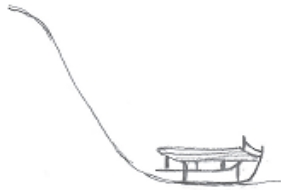


a) Piirrä **laatikolle** vuorovaikutuskaavio. Merkitse vuorovaikutuksen laatu: kosketus- (K) vai etävuorovaikutus (E).

b) Piirrä **laatikolle** voimakuvio. Nimeä voimat.

Vuorovaikutuskaavio laatikolle	Voimakuvio <b>laatikolle</b>
	Muokattu harjoitusmonisteesta: Unit 3 Newtonian Force interactions: Topic 1 Recognizing interactions and forces Worksheet NFI 1-1. 

## 2. Piirrä ja nimeä

a) lumilautailijaan kohdistuvat voimat juuri kourusta irtoamisen jälkeen (YTL, Ylioppilaskoetehtävä 3d, S99).	b) kelkkaan kohdistuvat voimat, kun se liikkuu alamäen lopussa olevaa tasaista osuutta tasaisesti hidastuen
	

3. Käytikö edellä olleiden voimakuvioiden piirtämisessä avuksi **pääasiassa**

a) kohteen vuorovaikutuksia, b) kohteen liiketilaa, c) muistelit aikaisemmissa vastaavissa tilanteissa esiintyneitä voimia, d) muistit ainakin tällaisten voimien olevan olemassa tai e) jotain muuta. Mitä? \_\_\_\_\_

**Testi 6: Eri esitystavat**

Testi sisälsi FCI-testistä tutun N3. lain osaamista mittaavan monivalintatehtävän, jossa poika ja tyttö istuvat rullatuoleissa ja poika työntää tyttöä. Tehtävän vaihtoehdot voiman ja vastavoiman suuruuksista esitettiin neljässä eri representaatiossa: verbaalinen, diagrammi, graafinen ja vektori. Alkuperäinen tehtävä on osa R-FCI testiä (Nieminen ym., 2010).

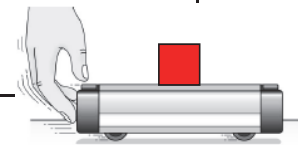
Testi 7: Newtonin lait

Nimi: \_\_\_\_\_

Koulu: \_\_\_\_\_

Muokattu: Physics and Everyday Thinking, PET, CYCLE 2, Developing Ideas ACTIVITY 1: Interactions and Force ja ACTIVITY 8: Explaining Phenomena using Force Ideas. (<http://petproject.sdsu.edu/assets/c2a1.pdf>; <http://petproject.sdsu.edu/assets/c2a8.pdf>)

2. Palikka asetetaan keskelle vaunua, ja kädellä työnnetään herkkäliikkeistä levossa olevaa vaunua. Kitkavoima ja ilmanvastus ovat hyvin pieniä, joten niitä **ei tarvitse ottaa huomioon**. Vaunu lähtee varovasti liikkeelle siten, että palikka pysyy paikallaan vaunun päällä.



- c) Piirrä erikseen vaunulle ja palikalle **voimakuviot** hetkellä, jolloin vaunua pysäytetään. Käytä apuna vuorovaikutuskaaviota (ei pakollinen), jos koet siitä olevan apua voimien tunnistamisessa.

Voimakuvio vaunulle	Voimakuvio palikalle
<p>Diagram showing a hand pushing a cart to the left. An arrow labeled "liikesuunta" (direction of motion) points to the right above the cart. The cart has a red block on top.</p>	<p>Diagram showing a hand pushing a cart to the left. An arrow labeled "liikesuunta" (direction of motion) points to the right above the cart. The cart has a red block on top.</p>

Vuorovaikutuskaavio vaunulle	Vuorovaikutuskaavio palikalle

3. Työnnetään samanlaista vaunua lattialla, mutta nyt otetaan huomioon kitkavuorovaikutus vaunun ja lattian välillä.

- a) Kun vaunun nopeus kasvaa, millainen on käden työntövoiman suuruus vaunuun verrattuna voiman suuruuteen, jonka vaunu kohdistaa käteen?
- käden työntövoima on **suurempi** kuin vaunun käteen kohdistama voima
  - käden työntövoima on **yhtä suuri** kuin vaunun käteen kohdistama voima
  - käden työntövoima on **pienempi** kuin vaunun käteen kohdistama voima

Perustelu:

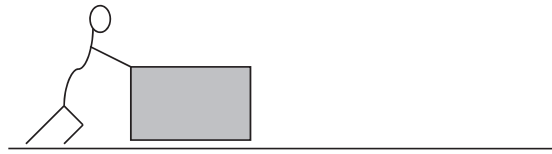


## Testi 8: Voima ja liike

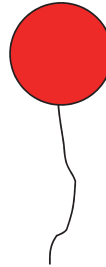
Nimi: \_\_\_\_\_

Koulu: \_\_\_\_\_

2. Mies työntää laatikkoa vaakasuoralla alustalla kuvan mukaan. Laatikko etenee suoraviivaisesti vakionopeudella. Laatikon massa on  $m$ , ja laatikon ja alustan välinen liukukitkakerroin on  $\mu$ . Miehen käsivarret muodostavat työnnettäessä  $30^\circ$ :n kulman vaakatasosta alaspäin.
- a) Piirrä voimakuvio laatikolle. (Ylioppilaskoe tehtävä 1, S88)



3. Vapaaksi päässyt heliumtäytteinen ”ilmapallo” liikkuu kiihtyen ylöspäin.
- a) Piirrä kuvaan palloon vaikuttavat voimat. (Ylioppilaskoe tehtävä 3, K03)



- b) Nimeä voimat ja niille Newtonin 3. lain mukaiset vastavoimat.

Voiman tunnus	Voiman nimi	Vastavoiman nimi

**Liite 9. Opetusjaksolle FY4 suunniteltu harjoitusmoniste vuorovaikutuskaavion, voimakuvion ja N3. lain opettamiseen**

**Voimat aiheutuvat vuorovaikutuksista**



**Vuorovaikutus on**

- kahden kappaleen välinen
- kaksisuuntainen
- puoleensa vetävä (veto) tai työntävä (työntö)
- etävuorovaikutus (E):(gravitaatiovuorovaikutus, sähköinen tai magneettinen vuorovaikutus) tai kosketusvuorovaikutus (K)
- Vuorovaikutuksen suuruutta kuvaa voima

(<http://physics.wku.edu/phys201/Information/ProblemSolving/ForceDiagrams.html>)

- Piirrä a) vuorikiipeilijän **vuorovaikutukset** kaaviona ja b) voimat **voimakuviona** (= kiipeilijään kohdistuvat voimat vektoreina) vuorikiipeilijälle.

a) Vuorovaikutuskaavio kiipeilijälle	b) Voimakuvio kiipeilijälle

- Luokittele, mitkä piirtämistäsi voimista ovat kosketusvuorovaikutuksista (K) tai etävuorovaikutuksista (E) syntyneitä voimia. Nimeä myös voimat.

Voiman tunnus kaaviossa	Voiman nimeäminen	Vuorovaikutustyyppi K/ E

3. Miten voit tietää piirtäneesi voimakuvion oikein? Miten tunnistat voimakuvioon tulevat voimat vuorovaikutuskaaviosta?

---

---

---

---

---

4. Jos voimat ovat yhtä suuret, piirretään voimakuviossa voimavektorit yhtä pitkiksi. Muulloin suurempaa voimaa esittää pidempi voimavektori. Huomaa, että **vastavoimia ei piirretä voimakuvioon**, koska vastavoima ei kohdistu koskaan voiman aiheuttajaan.

a) Miten eroavat suuruudeltaan voima, jolla kiipeilijä työntää vuoren seinää, voimasta, jolla vuoren seinä tukee kiipeilijää?

---

---

b) Mikä on kengän pohjaan kohdistuvan kitkan vastavoima ja sen suuruus kitkavoimaan verrattuna?

---

---

---

c) Mikä on voimien summa eli kiipeilijään kohdistuva kokonaisvoima ja sen suunta, kun kiipeilijä on hetkellisesti paikallaan?

---

---

---

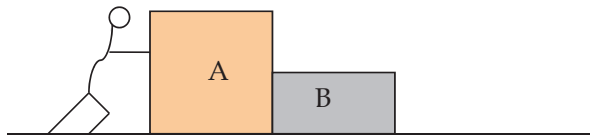
5. Kirjoita omin sanoin **Newtonin 3. laki**:


**Liite 10. Opetusjaksolle FY4 suunniteltu opetusmoniste Newtonin lakien opettamiseen**

Pohdi tehtäviä kolmen hengen ryhmässä. Palauta osa I opettajalle.

Ryhmän jäsenten nimet: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

- I.** Laatikkoa A työnnetään vaakasuunnassa pöytää pitkin siten, että laatikot A ja B liikkuvat **vakionopeudella**. Laatikon A massa on kaksinkertainen B:n massa nähden ( $m_A = 2 m_B$ ).



- a) Vertaa laatikkoon A kohdistuvaa kokonaisvoimaa (suunta ja suuruus) laatikkoon B kohdistuvaan kokonaisvoimaan. Selitä, kuinka päättelit vertailusi.

---



---

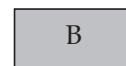
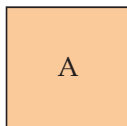


---

- b) Piirrä laatikoille A ja B vuorovaikutuskaaviot.



- c) Piirrä laatikoille A ja B voimakuviot.



- d) Onko laatikon A kohdistama voima laatikkoon B suurempi, pienempi vai yhtä suuri kuin voima, jonka laatikko B kohdistaa laatikkoon A? Perustele.

---

Muuttuisiko vastauksesi, jos käsi työntäisi laatikkoa B vasemmalle sen sijaan, että nyt työnnettiin laatikkoa A oikealle? Jos muuttuu, niin kuinka? Jos ei, niin miksi ei?

---

- e) Määrittele **laatikkoon A** kohdistuvien voimien Newtonin 3. lain mukaiset voimaparit (voima ja vastavoima).

Voiman tunnus	Voiman nimi	Vastavoiman nimi

Millä kriteerillä määrittelit vastavoiman?

---



---

- f) Luokittele erikseen laatikolle A ja B c) kohdassa piirtämistäsi voimakuvioista vaakasuuntaisten voimien suuruudet toisiinsa nähden (muistithan, että systeemi liikkuu vakionopeudella). Vastausmalli:  $A > B = C > D$ .

Laatikon **A** voimien suuruudet vaakasuunnassa: \_\_\_\_\_

Laatikon **B** voimien suuruudet vaakasuunnassa: \_\_\_\_\_

- g) Sovelsitko N2. lakia vaakasuuntaisten voimien suuruusvertailussa? Jos sovelsit, niin kuinka?
- 

Sovelsitko N3. lakia vaakasuuntaisten voimien suuruusvertailussa? Jos sovelsit, niin kuinka?

---

Mitä muuta tietoa Newtonin lakien lisäksi tarvitset vaakasuuntaisten voimien suuruusvertailuun?

---



---

- h) Muuttuuko työntävän voiman suuruus, jos systeemin nopeus puolittuisi? Jos muuttuu, niin kuinka? Jos ei, niin miksi ei?
- 
-



**Liite 11. Testikysymysten luokittelu tutkittavan aihealueen mukaan**

Oikealla olevassa sarakkeessa on viittaukset luvussa 3 esitettyihin tutkimuskysymyksiin, joihin taulukossa esitettyjen testikysymysten avulla haetaan vastauksia. Alkuperäiset testikysymykset on esitetty liitteissä 2 ja 8. Niihin viitataan tässä taulukossa muodossa testi.tehtävä ja alakysymys olevilla testikoodeilla. AT tarkoittaa alkutestiä.

Tutkimuskysymys	Opetusjakso	Testattava aihe	Testikoodi	Tehtävän muoto
1./5.a) - c)	FY1.	Vuorovaikutuskaavion osaaminen	1.1a, 1.2a 2.1a, 2.3a, 2.4a 3.2a, 3.2b, 3.2c	Vuorovaikutuskaavion konstruointi tehtäviä
	FY4	Vuorovaikutuskaavion osaaminen	4.1a, 4.3a, 4.4a 5.1a 7.2e*, 7.2f*	(AT) Konstruointi tehtäviä * Vapaaehtoiset
2.a)/5.a)	FY1	N3. lain osaaminen	FCI: 4, 15, 16, 28 2.4d, 2.7 3.3 2.1d	Mv-tehtäviä voimaparin suuruuserosta. Vektorikuvio Voimaparin nimeäminen
2.b)/5.a)	FY4	N3. lain osaaminen	4.4d, 4.7 6.1, 6.2, 6.4, 6.6 7.3a FCI: 4, 15, 16, 28 4.1d (AT), 8.3b	(AT) (Eri representaatioissa) Mv-tehtäviä suuruuserosta. Voimaparin nimeäminen
3.a)/5.b)	FY1	Voimien tunnistaminen	FCI: 3, 5, 11, 13, 18, 29, 30 1.1b, 1.2b 2.1b, 2.3b, 2.4b 3.2d, 3.2e, 3.2f	Voiman tunnistus monivälilintatehtävässä. Voimakuvion konstruointitehtäviä
3.b)/5.b)	FY4	Voimien tunnistaminen	4.1b, 4.3b, 4.4b, 4.8 5.1b, 5.2a, 5.2b 7.2c, 7.2d 8.2a, 8.3a FCI: 3, 5, 11, 13, 18, 29, 30	(AT) Voimakuvion konstruointitehtäviä Voiman tunnistus monivälilintatehtävässä
4.a)/5.c)	FY1	N2.lain ( $\Sigma F = 0$ ) osaaminen ja oikea voimakuvio	FCI: 10, 17, 24, 25 1.1b, 1.2b 2.1b,c, 2.3b,c 3.2f	Mv-tehtäviä, v = vakio Voimakuviot ja sanallinen perustelu
		N2. lain ( $\Sigma F = ma \neq 0$ ) osaaminen ja oikea voimakuvio	FCI: 1, 2, 22, 26, 27 2.4b,c, 3.2d, 3.2e	Mv-tehtäviä, a = vakio Voimakuviot ja sanallinen perustelu
4.b)/5.c)	FY4	N2. lain ( $\Sigma F = 0$ ) osaaminen ja oikea voimakuvio	4.1b,c, 4.3b,c 5.1b, 8.2a FCI: 10, 17, 24, 25	(AT) Voimakuviot Mv-tehtäviä, v = vakio
		N2. lain ( $\Sigma F = ma \neq 0$ ) osaaminen ja oikea voimakuvio	4.4b,c 5.2a, 5.2b, 7.2c, 7.2d, 8.3a FCI: 1, 2, 22, 26, 27	(AT) Voimakuviot Mv-tehtäviä, a = vakio



**Liite 12. Oppilaiden konstruoiden vuorovaikutuskaavioiden jakautuminen laatuluokkiin opetusjaksossa FY4**

Seuraavassa esitetään lyhyesti vuorovaikutuskaavioiden osaamisen tuloksia opetusjaksossa FY4. Opetusjakson FY4 lopputestissä oppilaiden konstruoidut vuorovaikutuskaaviot olivat selvästi parempia transferkouluissa kuin vertailukouluissa. Transferkouluissa laatikon (Liite8, tehtävä 5.1) vuorovaikutuskaavioista oli 63 % erinomaisia, hyviä 4 % ja heikkoja 33 %, kun vertailukouluissa vastaavat osuudet olivat erinomaisia 7 % ja loput 93 % heikkoja. Koska frekvenssit olivat niin pienet, verrattiin koulutyypin välisiä eroja vuorovaikutusten tunnistamisessa yhdistämällä vuorovaikutuskaavion laatuluokat hyvä tai erinomainen. Tällöin koulutyypin välillä havaittiin vuorovaikutusten tunnistamisessa tilastollisesti merkitsevä ero, ja efektikoko oli suuri ( $\chi^2(1) = 27,0$ ,  $p < 0,001$ ;  $V = 0,59$ ).

### Liite 13. Vanhemmilta pyydytyt kuvausluvut tutkimukseen osallistumiseen

#### Tiedoksi FY1 ryhmän vanhemmille

Olen fysiikan opettajana huomannut, että oppilailla on fysiikassa vaikeuksia ymmärtää voiman käsitettä ja sen vaikutuksia tarkasteltavan kohteen liikkeeseen. Tutkin jatko-opinnoissani sitä osaa fysiikan opetuksesta lukiotasolla. Xxxxx:n lukion fysiikan opettaja on ystävällisesti lupautunut auttamaan tutkimustani toteuttamalla 5 tai 6 oppitunnin opetusjakson, joka otetaan videolle. Videolla kuvataan pääasiassa opettajan opetusta sekä tietyn oppilasryhmän työskentelyä ½ tunnin ryhmätyön aikana. Tutkimuksessa ei arvioida opettajan tai oppilaiden suorituksia, vaan opettajan ja oppilaiden toiminnan ja vuorovaikutuksen avulla pyritään ymmärtämään, mikä auttaa tai ei auta oppilasta ymmärtämään kyseistä fysiikan ilmiötä. Kuvausmateriaali tulee ainoastaan tutkimuskäyttöön, eikä nauhoituksia esitetä julkisesti. Tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti ja raportoidaan nimettöminä niin, ettei kenenkään henkilöllisyys paljastu.

Annan tarvittaessa lisätietoja. Yhteistyöterveisin:

Jatko-opiskelija

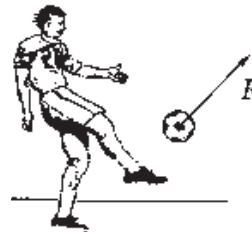
Asko Mäkynen  
matematiikan ja fysiikan lehtori  
osoite, puh. ja email

Tutkimusta ohjaava professori

Jouni Viiri  
professori  
osoite ja puh.

Xxxxx lukion fysiikan opettaja

Matti Mäki  
matematiikan ja fysiikan lehtori  
osoite ja puh.



Kuva: YTL, Ylioppilaskoe-  
tehtävä 1, k99

**Kiitos yhteistyöstä** lukion fysiikan opetuksen kehittämiseksi

Palauta alla oleva osa opettajallesi sovittuna päivänä.

---

Olen tutustunut yllä olevaan kirjeeseen ja annan luvan videoida yllä mainittuja fysiikan tunteja, joilla lapseni on läsnä.

oppilaan nimi: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

huoltajan allekirjoitus

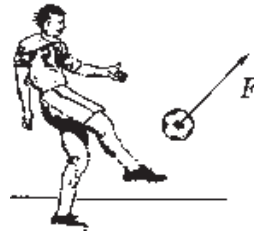
## Tiedoksi FY4 ryhmän vanhemmille

Olen fysiikan opettajana huomannut, että oppilailla on fysiikassa vaikeuksia ymmärtää voiman käsitettä ja sen vaikutuksia kohteen liikkeeseen. Tutkimus käsittelee juuri tätä osaa fysiikan opetuksesta, ja oppitunneista kuvataan videolle noin 10 oppitunnin opetusjakso. Kuvaukset kohdistuvat pääasiassa opettajan opetukseen ja yhden oppilasryhmän työskentelyyn ryhmätyön aikana. Kuvausmateriaali tulee ainoastaan tutkimuskäyttöön.

Katson saaneeni luvan kuvaukseen, ellei yhteydenottoja asian puitteissa ilmaannu.

Yhteistyöterveisin  
Matti Mäki  
Matematiikan ja fysiikan lehtori,  
xxxxx lukio  
Puh. xx-xxxxxxx

Asko Mäkynen  
Matematiikan ja fysiikan lehtori,  
xxxxxx lukio  
puh. xxx-xxxxxxx  
email: [xxx@xxxx.fi](mailto:xxx@xxxx.fi)



Kuva:YTL, ylioppilaskoetehtävä 1, k99