





## **SVETLANA GANINA**

Hajusandmetega ülesanded  
kui üks võimalus füüsikaõppe  
efektiivsuse tõstmiseks



Tartu Ülikooli loodus- ja tehnoloogiateaduskond, füüsika instituut, Eesti

Doktoritöö on lubatud kaitsmiseks filosoofiadoktori kraadi (füüsika haridus) omandamiseks Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi nõukogu poolt 17.06.2011

Juhendaja: dotsent Henn Voolaid  
Tartu Ülikool, Eesti

Oponendid: professor Rein-Karl Loide  
Tallinna Tehnikaülikool, Eesti

professor Andris Broks,  
Läti Ülikool, Riia

Kaitsmine toimub 23. august 2011 Tartu Ülikooli nõukogu saalis.

ISSN 1406–0647

ISBN 978–9949–19–773–6 (trükis)

ISBN 978–9949–19–774–3 (PDF)

Autoriõigus Svetlana Ganina, 2011

Tartu Ülikooli Kirjastus

[www.tyk.ee](http://www.tyk.ee)

Tellimus nr 441

# SISUKORD

PUBLIKATSIOONIDE NIMEKIRI .....	6
ESINEMISED RAHVUSVAHELISTEL KONVERENTSIDEL .....	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	10
2.1. Füüsikaõppe efektiivsuse määramise meetoditest.....	10
2.2. Motivatsiooni tõstmise võimalustest füüsikaõppes .....	12
2.2.1. Õpistiilidest.....	13
2.2.2. Õppemeetoditest ja -tegevustest.....	14
2.3. Füüsikaõppes ülesannete lahendamise rolli kajastavatest uuringutest.....	17
2.3.1. Füüsikaülesannete tüübid.....	18
2.3.2. Ülesannete lahendamise strateegiad.....	21
Kokkuvõtte füüsikaõppe efektiivsuse määramise ja ülesannete lahendamise rolli uuringutest .....	25
3. UURIMUS .....	27
3.1. Meetodid.....	27
3.1.1. Hajusandmetega ülesanded ja kaheosaline ekvivalentsmeetod.....	31
3.1.1.1. Füüsikaülesande lahendamise kaks komponenti .....	31
3.1.1.2. Hajusandmetega ülesannete tutvustus .....	32
3.1.1.3. Kaheosaline ekvivalentsmeetod .....	34
3.1.1.4. Uurimismetoodika valiidsus ja reliaablus.....	35
3.2. Tulemused ja analüüs .....	36
3.2.1. Õpilaste ja õpetajate hinnangud füüsikaõppe motivatsioonile.	36
3.2.2. Füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmisvahend .....	39
3.2.3. Hajusandmetega ülesannete lahendamise mõju füüsikaõppe efektiivsusele .....	44
Lisauuringute tulemused .....	47
4. DISKUSSIOON .....	53
KOKKUVÕTE.....	57
KIRJANDUS.....	60
SUMMARY	
Dispersed Data Problems as an Option to Increase the Effectiveness of Physics Studies .....	67
TÄNUSÕNAD .....	75
PUBLIKATSIOONID.....	77
ELULOOKIRJELDUS.....	127

## PUBLIKATSIOONIDE NIMEKIRI

Väitekiri tugineb üheteiskümnele publikatsioonidele rahvusvahelise levikuga teadusajakirjades. Neli esimest on lisatud käesoleva väitekirja lisadesse ning neile viidatakse rooma numbritega.

- I **Ganina, S.** & Voolaid, H. (2011). Impact of Problem Solving on Physics Studying Effectiveness Example Dispersed Data Problems. *Journal of Science Education*, 12(2), 11–22.
- II **Ganina, S.** & Sõõrd, L. (2011). Opportunities for Increasing Learning Efficiency in Physics through Problem Solving. *Physics Education*, 46 (2011), 376–377.
- III **Ganina, S.** & Voolaid, H. (2010). The Influence of Problem Solving on Studying Effectiveness in Physics. *Estonian National Defence College* 11, 79–92 Tartu: Tartu University Press.
- IV **Ganina, S.;** Voolaid, H. (2009). Влияние задач с рассеянными данными на повышение эффективности обучения физике. *Физическое образование в вузах*, 15(4), 102–109.

**Ganina, S.,** Sõõrd, L., Voolaid, H. (2011). Problem Solving in Physics as a Means of Increasing the Effectiveness of Studying Physics. In: *University teaching as a scholarship?* Tartu, Estonia.

**Ganina, S.;** Voolaid, H.; Sõõrd, L. (2009). The effect of dispersed data problems and the binary equivalent solving method on physics studying efficiency. In: *Development of science and technology education in Central and Eastern Europe: 7th IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe*, Šiauliai, Lithuania, 50–55.

**Ganina, S.;** Voolaid, H. (2009). Binary equivalent solving method and dispersed data problems in studying physics. *Physics at schools and higher educational establishments. The international collection of scientific articles.* Sankt Peterburg: Russian Academy of Sciences, 18–24.

**Ganina, S.;** Voolaid, H.; Sõõrd, L. (2009). Physics studying efficiency. *Natural Science Education at a general School.* Scientia Educologia, 46–51.

**Ganina, S.;** Voolaid, H. (2008). Hajusandmetega ülesannete roll füüsikaõppe efektiivsuse tõstmisel. *KVÜÕA toimetised.* Tartu: TÜ Kirjastus, 150–160.

**Ganina, S.;** Voolaid, H. (2008). Задачи с рассеянными данными как средство повышения эффективности обучения физике. *Физика в школе и ВУЗе: Международный сборник научных статей.* СПб.: Изд-во библиотеки Российской академии наук (БРАН): РГПУ им. А.Герцена, 134–138.

**Ganina, S.;** Voolaid, H. (2007). Füüsikaõppe efektiivsus ja selle tõstmise võimalused. *KVÜÕA Toimetised.* Tartu: TÜ Kirjastus, 106–126.

### **Väitekirja autori panus artiklite valmimisel oli järgmine:**

- I artikkel: uurimuse kavandamine, eksperimendi läbiviimine, andmete kogumine, andmete analüüsimine, artikli kirjutamine.
- II artikkel: uurimuse kavandamine, küsimustiku ja testide koostamine, eksperimendi läbiviimine, andmete kogumine, andmete analüüsimine, artikli kirjutamine.
- III artikkel: uurimuse kavandamine, küsimustiku ja testide koostamine, andmete kogumine, andmete analüüsimine, artikli kirjutamine.
- IV artikkel: uurimuse kavandamine, küsimustiku ja testide koostamine, andmete kogumine, andmete analüüsimine, artikli kirjutamine.

## ESINEMISED RAHVUSVAHELISTEL KONVERENTSIDEL

- Ganina, S., Sõõrd, L., Voolaid, H.** Problem Solving in Physics as a Means of Increasing the Effectiveness of Studying Physics. *University teaching as a scholarship?* January 24th–26th, 2011 in Tartu, Estonia, 2011.
- Ganina, S.; Voolaid, H.; Sõõrd, L.** The effect of dispersed data problems and the binary equivalent solving method on physics studying efficiency. *Development of science and technology education in Central and Eastern Europe: 7th IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe, 14–18.06.09.* Šiauliai, Lithuania, 2009.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** Binary equivalent solving method and dispersed data problems in studying physics. Sankt Peterburg: Russian Academy of Sciences, 12.–13.06.2009.
- Ganina, S.; Voolaid, H.; Sõõrd, L.** Physics studying efficiency. *Natural Science Education at a general School – 2009: Natural Science Education at a general School – 2009*, Lietuva, Kedainiai, 24–25 april, 2009.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** Задачи с рассеянными данными как средство повышения эффективности обучения физике. Международная научно-практическая конференция “Актуальные проблемы обучения физике в средней и высшей школе” Физика в школе и ВУЗе. СПб.: РГПУ им. А.Герцена. 12.-13-06.2008.

### VALMINUD METOODILISED ÕPPEMATERJALID:

- Voolaid, H.; **Ganina, S.** (2011). Füüsika ülesannete kogumik. Ülesandeid koos lahendustega. Tartu: Atlex.
- Voolaid, H.; **Ganina, S.** (2010). Füüsika. Riigieksamite ülesandeid ja soovitusi lahendamiseks. Tartu: Atlex.
- Voolaid, H.; **Ganina, S.** (2009). Füüsika riigieksamite ülesandeid ja soovitusi lahendamiseks. Tartu: Atlex.
- Ganina, S.** (2007). Füüsika konspekt. Tartu: Kaitseväge Ühendatud Õppeasutused.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** (2004). Põhikooli füüsika ülesannete kogu lahendustega. Tartu: Atlex.



# I. SISSEJUHATUS

Rahvusvahelised uuringud on tõestanud, et täppis- ja loodusteaduste populaarsus on langenud nii Eestis kui ka mujal maailmas (Hewitt, 2004). Loodusteaduslike ainete õpetamise elukaugus ja liigne teoretiseerimine viib lõppkokkuvõttes õpilaste õpimotivatsiooni langusele. Füüsikaõppe olukorra parandamiseks on püütud Eestis erinevatel tasanditel konkreetseid samme astuda, näiteks on muudetud gümnaasiumi riikliku õppekava füüsika ainekava (Riigi Teataja, 2010, 2011), Internetis on avatud Eesti füüsikaportaal (2008), teaduskeskus AHHA (1997) korraldab loodusteaduslikke näitusi ja üritusi, populaariseerimistööd teevad ka teadusbussid Suur Vanker ja Väike Vanker (2010), korraldatakse füüsika õpikodasid (2009) jmt.

Reeglina seostatakse õppeaine ebapopulaarsust selle raskustasemega ja kasutatavate õppemeetodite madala õppe-efektiivsusega.

Järgnevalt esitatakse ülevaade füüsikaõppe efektiivsuse uurimustest ning uurimustest ülesannete rollist füüsikaõppes. Ülevaates keskendutakse peamiselt sellele, kuidas ülesannete lahendamine õppemeetodina mõjutab füüsikaõppe efektiivsust.

Käesoleva väitekirja teises peatükis antakse ülevaade uuringutest, mis käsitlevad füüsikaõppe efektiivsust ning selle määramise võimalusi. Samuti vaadeldakse, millised faktorid avaldavad mõju füüsikaõppe motivatsioonile ja selle kaudu ka efektiivsusele. Käsitlemist leiavad sealhulgas õpetaja roll, õpilaste õpistiilid ning õppemeetodid ja põhjalikumalt arutletakse füüsikaülesannete tüüpide ning nende lahendamise strateegiate üle.

Väitekirja kolmandas peatükis püstitakse vastavalt uurimisteesmale uurimisküsimused ning kirjeldatakse uurimismetoodikat. Keskendutakse eelkõige hajusandmetega ülesannete koostamise põhimõtetele ning lahendamismetoodika kavandamisele. Samuti kirjeldatakse füüsikaõppe-efektiivsuse määramiseks välja töötatud matemaatilist mudelit. Peatüki lõpus on esitatud peamised tulemused ning nende analüüs.

## 2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

### 2.1. Füüsikaõppe efektiivsuse määramise meetoditest

Õppe- efektiivsuse määramisel võrdsustatakse sageli tulemuslikkus ja efektiivsus, kui tulemus on saavutatud, öeldakse, et õpetamine või õppimine oli tulemuslik ehk efektiivne. Efektiivsuse all peetakse vahel silmas õpitulemusi: kui õpitulemused on positiivsed, tehakse järeldus, et õpetamine oli efektiivne. Eri- nevates rahvusvahelistes allikates kasutatakse erinevaid termineid: õppe- efektiivsus (*efficiency*), õpetamise efektiivsus (*teaching effectiveness*) ja õppi- mise-efektiivsus (*learning efficiency, studying efficiency & learning effec- tiveness*), efektiivne õpetamine (*effective teaching*), efektiivne õppimine (*effec- tive learning and studying*) jm.

Akadeemik Jaak Aaviksoo rõhutas juba 1997. a ettekandes “Hariduse rah- vuslikud ülesanded”, et Eesti hariduselu võtmesõnad on efektiivsus, adek- vaatus, kvaliteet ja õiglus. Tema arvates tähendab *efektiivsus* haridussüsteemi korraldust, mis tagab kokkulepitud kvaliteedis hariduse minimaalsete majan- duslike ja sotsiaalsete kuludega.

*Efektiivsus* on mõiste, mida kasutatakse laialdaselt kõikidel elualadel, näiteks nii majanduses, meditsiinis kui hariduses. AltaVista otsingumootorisse sisestades sõna *effectiveness*, saadi 123 miljonit vastust. Kuid kuigi mõistet kasutatakse palju, on täpset definitsiooni, mis puudutab haridusvaldkonda raske leida. Tuginedes paljudele definitsioonidele, vaadeldakse antud töö kontekstis õppe-efektiivsust järgmiselt: *õppetöö efektiivsus tähendab maksimaalselt või- malikku uute teadmiste ja oskuste hulga saamist minimaalsete olemasolevate ressurssidega.*

Füüsika ja üldse reaalteaduste õpetamise probleemid pole omased ainult Eestile. Euroopa Liidu Lissaboni strateegias rõhutatakse, et “EL haridus- ja koolitussüsteemide kvaliteedi ja efektiivsuse tõstmiseks tuleb parandada õpe- tajate koolitussüsteemi, arendada teadmispõhisele majandusele vajalikke oskusi, tagada igähele ligipääs IKT-vahenditele, suurendada vastuvõttu tehni- listel erialadel ja kasutada efektiivselt olemasolevaid ressursse” (INNOVE, 2011).

Teostades ERIC andmebaasis otsingut märksõnadega “füüsikaõppe efektiiv- sus” (“*Physics Teaching effectiveness*” ja “*Physics Studying effectiveness*”), selgus, et kõige rohkem ilmus seda teemat puudutavaid töid aastatel 1988–1989.

Õppe-efektiivsuse hindamise meetodeid on kasutatud mitmeid, näiteks kasu- tatakse uurimisfirmade abi (*Horizon Research – Johnson jt, 2007*) või kasu- tatakse sissetöötatud mõõtskaalasid (*STAS II – Turkmen, 2007; SAI II – Moore, 1997*), rakendatakse ka statistilisi meetodeid (näiteks *Raschi analüüsi – Boone, Scantlebury, 2006*) jne. Alljärgnevalt tutvustatakse meetodeid füüsikaõppe efek- tiivsuse määramiseks, mida pakutakse füüsikaõpetajatele nende reaalses õpeta- mistöös. Seetõttu ei mainita siin erinevad statistilisi võtteid ja hinnanguid, mida on võimalik leida mitmetest statistikaõpikutest.

Väga tihti kasutatakse füüsika õpetamisega seotud uurimistöodes (Turkmen, 2007; Selcuk, 2008) õppeefektiivsuse määramiseks eel- ja järeltestide vahet (*Gain, Change*), näidates sellega n-ö teadmiste juurdekasvu või protsentuaalset õppeedukuse muutust (Pinarbasi, 2007; Šlekiene, 2006). Selle meetodi plussiks on kindlasti see, et seda on lihtne kasutada ning selle kaudu tulemusi esitada. Eriti mugav on see õpetajate jaoks, kes oma õppetöös mõne uue meetodi või võtte katsetamise järel soovivad selle rakendamise mõju teada saada. Samas raskendab selle meetodi kasutamist asjaolu, et eel- ja järeltestid on reeglina erineva pikkuse ja väärtusega, st erinevaid uuringuid on raske omavahel võrrelda.

Füüsikaõppe efektiivsuse määramiseks (Sahin, 2010; Meltzer, 2002) kasutatakse samuti nn Hake valemit (Hake 1998a, 1998b, 1998c):

$$\bar{g} = \frac{(posttest\%) - (pretest\%)}{100\% - (pretest\%)} \quad [1]$$

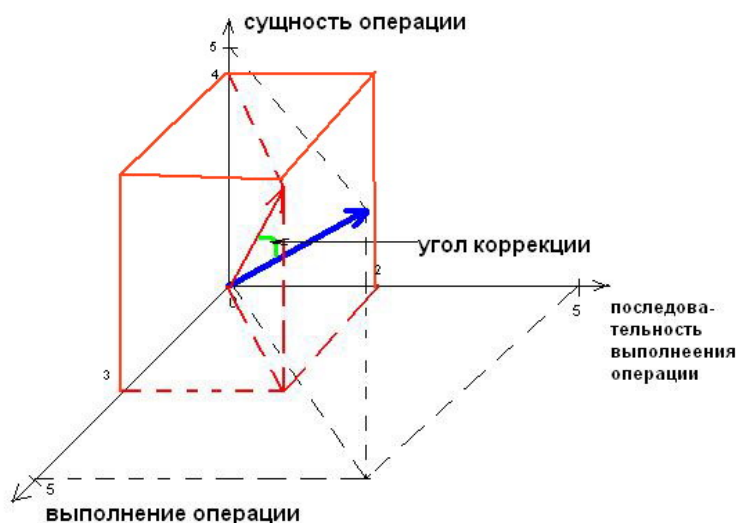
või sama valemit teisel kujul:

$$\langle g \rangle = \frac{\%post - \%pre}{100 - \%pre} \quad [2]$$

Eespool mainitud valemite kasutamine on arusaadav, aga nende valemitega saab kontrollida ainult konkreetseid teadmisi (nn kvantitatiivsed vastused). Hake valemid sobivad väga hästi valikvastustega testide jaoks. Niisuguse valemi puudusena võib välja tuua selle, et efektiivsuse väärtustel puudub kindel proportsionaalne skaala. Näiteks kui eeltesti tulemus on maksimaalne, ehk %pre = 100%, siis valemi nimetaja oleks võrdne nulliga, st efektiivsus läheneb lõpmatusse, mis peab näitama teadmiste lõputut juurdekasvu ja on antud väitekirja autori arvates ebaloogiline.

Arvestada on vaja veel asjaoluga, et antud valemi kasutamisel saadud tulemus ei ole normeeritud ning interpreteerimiseks on vaja kasutada uurija (Hake, 1998c) poolt koostatud tabelit.

Kušenko (2006) pakub huvitava võimaluse õpetamise ja õppimise efektiivsuse hindamiseks – teadmiste omandamise vektori või efektiivsuse vektori. Uurija soovib kasutada kolmedimensioonilist teljestikku, kus x-teljel märgitakse operatsioonide täitmise järjekorda, y-teljel konkreetse õppeoperatsiooni sisu ja z-teljel operatsiooni täitmist. Õppeoperatsiooni all mõtleb autor nii arvutustehteid kui ka näiteks ühikute teisendamist, samuti ka valemitega oopeerimist. Teadmiste omandamise vektorit on kujutatud joonisel 1.



**Joonis 1.** Teadmiste omandamise vektor (õppe-efektiivsuse vektor) (Kušenko, 2006). Joonis on esitatud originaalkeeles, vastavad terminid eesti keeles on *сущность операции* – konkreetse õppeoperatsiooni sisu, *выполнение операции* – operatsiooni täitmine; *последовательность выполнения операции* – operatsiooni täitmise järjekord; *угол коррекции* – korrigeerimise nurk.

Punase vektoriga on märgitud reaalne tulemus, sinine vektor näitab prognoositavat tulemust ja roheline kaar tähistab  $n$ -õ korrigeerimisnurka, mille järgi saab õpet korrigeerida. Kušenko (2006) väidab, et efektiivsem on selline õpetamine, mille tulemusena efektiivsuse vektor kattub kuubi diagonaaliga. Vastavalt vektori asendile saab korrigeerida õpilase ja õpetaja tegevust. Hinde panemisel soovib autor arvestada ka ajaga, mille käigus õpilane antud tulemuse saavutas. Mida lähemal on õppimisaeg õpetaja poolt arvestatud ajale, seda parem on hinne. Vaatamata sellele, et antud efektiivsuse määramise meetodika on loogiline ja näitlik, tundub see praktikas kasutamiseks väga keeruline.

Tuginedes käesoleva väitekirja autori kogemustele ning erinevate uurimuste tulemustele, käsitletakse alljärgnevalt olulisi füüsikaõppe efektiivsusele mõju avaldavaid õpetamise komponente nagu õpistiilid, õppemeetodid ja õpetaja roll õppeprotsessis.

## 2.2. Motivatsiooni tõstmise võimalustest füüsikaõppes

Peeter Olesk rõhutab oma artiklis "Füüsika õpetamisest" (2005), et "...*Ühtegi ainet ei tohi kunagi õpetada hermeetilisena, ilma nende eluliste või ka interdistsiplinaarsete seosteta, mis võivad tekkida vägagi ootamatult ja mille suhtes*

*on alati kasulikum olla eelnevalt ette valmistatud*". Lähtudes väitekirja eesmärkidest, piirduakse selles peatükis selliste füüsikaõppe motivatsiooni mõjuvate faktoritega nagu õpistiilid ja eelteadmistega arvestamine ning füüsikatunnis kasutatavad õppemeetodid ja -tegevused. Lähtutakse füüsikaülesannete rollist füüsikatundides.

### 2.2.1. Õpistiilidest

Iga inimene õpib talle ainuomasel viisil, mis on seotud tema tunnetuse, tunde-, väärtus- ja veendumusvaldkonna, käitumise ja palju muuga, lõpetades ühe või teise ajupoolkera domineerimisega. Viisi, kuidas õpilane informatsiooniga toimib, võibki lugeda tema õpistiiliks. Õpetaja teadlikkus õpilaste õpistiilidest aitab õpetamise efektiivsemaks muuta. Samuti võimaldab õpilaste eneseteadlikkus valida õige õppimisvormi, vahendid ning meetodid. Efektiivseima tegevuse teadvustamine aitab õppimisel teadlikult ära kasutada individuaalseid eeliseid ning kompenseerida puudusi. Õpistiile ja nendele vastavaid käitumusmudeleid on palju uuritud, Gardneri (1983) uuringute põhjal võib välja tuua, et on olemas järgmised õpistiilide liigid ja nendele vastavad käitumisstrateegiad:

**visuaal-verbaalne** (õppija töötleb teksti värviliste pliiatsitega, kodeerib teksti värvidega, kirjutab samm-sammult kõikide diagrammide ja valemite seletused; neile peaks õppematerjalid esitama kirjalikus visuaalses vormis, kasutades loengukonspekte, raamatuid, veebilehekülgi jne);

**visuaal-mitteverbaalne** (märgib teksti üles piltide ja sümbolitena ning kasutab värvikoode; sellise õpistiiliga õppijate puhul peaks õppematerjalid olema illustreeritud piltide, jooniste, videote ja helidega);

**visuaal-ruumiline** (kasutab värvilisi skeeme, kujundeid ja mustreid, joonistab, armastab ülesandeid, mis nõuavad näitlemist ja kujutlusvõimet);

**taktilis-kinesteetiline** (konspekteerib, räägib kujutatut-loetu üle, õpib kõndides või õppematerjale käeliselt korduvalt järjestades, rühmitades, sorteerides, talle sobivad interaktiivsed multimeediale baseeruvad õppevahendid);

**audio-verbaalne** (õpib rääkides, teisi õpetades, oma ning teiste juttu kuulates – on seega kuulmismäluga);

**verbaal-lingvistiline** (armastab lugeda ja rääkida, vaidleb, jutustab, kirjutab loovalt ja analüütiliselt, kõige efektiivsem on kasutada diskussioone (foorumid), video- ja audiokonverentse);

**loogilis-matemaatiline** (kasutab sümboleid, teeb skeeme, armastab arvutada, ülesandeid lahendada ning valemeid kasutada);

**kehalis-kinesteetiline** (kasutab miimikat, kehakeelt, armastab rollimänge) jne.

Gardner (1983) väidab, et erinevaid andelaade kasutades saab õppija erinevates olukordades ja õppeainetes tähelepanelikumaks ja edukamaks õppijaks. Sama autori teooria kohta kasutatakse ka mõistet multiintelligentsus või mitmik-intelligentsus.

Õpilaste õpistiili väljaselgitamiseks on võimalik teha läbi erisuguseid teste, mida võib leida Internetist (*Learning Style Inventory*, 2007; *Learning Styles and Strategies*, 2007; *Learning Style Survey for College*, 2007) või kasutada kooli psühholoogi või sotsiaalpedagoogi abi.

Osa autoreid on uurinud, kas poisid ja tüdrukud saavutavad erinevates ainetes samu tulemusi (Mikk ja Luik, 2005; Stadler, 2000 jne). Stadler'i jt (2000) uuringust ilmnis huvitav fakt, et poisid on rohkem huvitatud füüsika õppimisest ning nende jaoks on füüsika tähtis juba iseenesest, tüdrukud aga arvasid, et nad saavad mõistetest ja seaduspärasusest aru ainult sel juhul, kui seda seostatakse ümbritseva maailmaga.

Mainitakse (Gardner, 1983; Franklin ja Peat, 2001), et õpilaste õpimotivatsiooni tõstmiseks on vaja õppemeetodeid või -tegevusi valides arvestada õppijate õpistiilide ja andelaadidega.

## 2.2.2. Õppemeetoditest ja -tegevustest

Iga füüsikaõpetaja ees seisab küsimus, kuidas organiseerida füüsika õppeprotsess otstarbekamalt, nii et oleks võimalik arvestada nii õppijate õpistiilide kui ka kõikvõimalike ressursidega kõige laiemas mõttes (õpetaja oskused ja võimed, kooli materiaalsed ressursid jne), selleks et õppeprotsess oleks maksimaalselt efektiivne. Iga õpetaja peab leidma enda jaoks sobiva võimaluse. Õpilaste arvates on füüsika koolis keeruline aine, kus tutvustatakse valemeid, lahendatakse ülesandeid ja õpikud on väga kaugel reaalsest elust (Redish jt 1998). Chu jt (2008) panid oma uuringus tähele, et reeglina pööratakse füüsika õppimise alguses rohkem tähelepanu valemitele, füüsikaliste suuruste tähistele ja arvutusülesannete lahendamisele, eesmärgiga tutvustada olulisi mõisteid ja seaduspärasusi. Samas teevad mõned uurijad (Hammer, 1994; Whiteleggy ja Parry, 1999) oma uuringutest järelduse, et kui füüsika kursust liigselt teoretiseeritakse, muutub ta õpilastele arusaamatuks, ebameeldivaks ja raskeks.

Millised õppemeetodid on füüsikatunnis kõige otstarbekamad?

Nagu selgub McLaughlin'i ja Tambet'i uuringust (2001), on üks füüsikaõpetaja välja jätnud kõik õppetekstid ning pannud õpilased õppima laboratoorse tööde kaudu. Õpitulemused olid tunduvalt kõrgemad ja – mis on käesoleva väitekirja kontekstis väga oluline – püsivamad. Õpilased tegid laboratoorseid töid ja katseid väikestes rühmades või paarides ja õpetaja abi oli neile kättesaadav. Mõnede katsete puhul puudus isegi täpne tööjuhend, tulemusi arutati väikestes ja suuremates rühmades ning tehti seejärel järeldusi ja kokkuvõtteid. Uurijate arvates lubab antud õppemeetod õpilastel paremini areneda ja valmistab neid paremini ette tulevasteks probleemideks ja nendele lahendamiskäikude

leidmiseks. Ka Hammer ja Schifter (2001) teevad oma uuringutest järelduse, et praktika kaudu õpetamine on palju tulemuslikum.

Timpmann (2005) toob oma töökogemusele tuginedes välja probleemi, et isegi juhul, kui suur osa õpilasi (enamik on tüdrukud) on elektriõpetuse materjali edukalt omandanud, ei pruugi see tähendada, et nad oma teadmisi ka mitmesugustes elulistes olukordades kasutada oskavad. Lahenduseks pakub Timpmann teha näiteks juba põhikoolis elektriõpetuse teema käsitlemisel katseid "Elekter kodus". Autor väidab, et neid katseid ongi otstarbekam läbi viia põhikooli kursuses, sest osade õpilaste haridustee piirdub tänapäeval vaid põhikooliga. Lisaks sellele on füüsika eksperimentaalne teadus ja katsed meeldivad õpilastele, mida tõestab ka meie uuring. Katsete abil on võimalik õpilasi paremini õppima motiveerida. Sama seisukohta, et praktilised tööd on reaalteaduste õppeainetes efektiivsed, toetavad ka teised uurijad (Woolnough ja Allsop, 1985; Millar, 2005).

Esimesel aastal, kui koolis hakatakse füüsikat õppima ega ole seost reaalse eluga, leiavad õpilased, et füüsika on väga raske aine (Hammer, 1994; Trumper, 2006). Sama arusaamaga lähevad nad keskkooli ning seda hoiakut on väga raske muuta. Õpilased arvavad, et füüsikas edukas olemiseks peab neil olema kõrgel tasemel abstraktne mõtlemine ja matemaatiline võimekus (Capizzo jt, 2006).

Et muuta õpilaste arusaama sellest, et füüsika on liiga abstraktne, elukauge, ebahuvitav, igav ja raske, on vaja seostada füüsika õpetamist igapäevaeluga ning muuta kasutatavaid õppemeetodeid (Hammer, 1994; Whiteleggy ja Parry, 1999; Ornek jt, 2008). Pritchard jt (2009) uurimused näitavad, et enne füüsika õppimist tahtsid õpilased teada, mis seos on füüsika ja neid ümbritseva keskkonna vahel. Prosser jt (1996) teevad oma uuringutest samalaadsed järeldused: õpilased õpivad füüsikat paremini, kui õpetamine on seotud reaalse eluga, ja nad ise tahavad füüsikat õppida, kui näevad seoseid füüsika, igapäevase elu ja neid ümbritseva maailma vahel. Õpilased on väitnud, et kõige parem viis füüsikat õppida on aru saada, kuidas maailm nende ümber toimib. Riikliku gümnaasiumi õppekava füüsika ainekavas väidetakse, et "*Erilist tähelepanu pööratakse kõrgemat järku mõtlemisoperatsioonide arendavatele tegevustele, loova ja kriitilise mõtlemise arendamisele*" (Riigi Teataja, 2010). Eesti koolides loodusainete õpetamisel taotletav ühine eesmärk on kujundada noortes positiivne suhtumine loodusainete õppimisse, sest see loob eeldused elukestva õppimise vajaduse mõistmiseks. Selle saavutamiseks märgitakse vajadust aktsepteerida õpilase individuaalset eripära (Riigi Teataja, 2011).

Olina ja Sullivan (2004) soovivad konstruktivistlikust lähenemisest lähtudes kaasata õpilasi hindamisprotsessi. Nende uuringutest selgus, et õpilased, kes lisaks õpetajapoolsele hindamisele hindasid ennast ise, saavutasid paremad õpitulemused. Samuti annab see õpetajale tagasisidet vajadusest vaadata üle õppemeetodid, hindamisprotseduurid ja tunni eesmärgid. Süzük jt (2011) uurisid sellele tulemusele toetudes õpilaste enesehinnanguid füüsika õppimisel ja tegid sellest uuringust järelduse, et õppimist raskendas füüsika abstraktsus, elu-

kaugus ning matemaatika liigne kasutamine. Õppe-efektiivsus, mis määrati Hake (1999) valemiga, oli kõrgem, kui õppimisel toodi reaalseid näiteid ning seostati õpitu tegeliku eluga ning tugineti õpilaste kogemustele ja eelteadmiste.

Gümnaasiumi riikliku õppekava füüsika ainekavas määratletakse, et “*kvantitatiivülesandeid lahendades ei ole nõutav valemite peast teadmine*”. Edaspidi lubatakse õpilastel eksamil kasutada valemilehti, sest oluliseks peetakse kujundada “*oskust mõista valemite füüsikalist sisu ning valemid õiges kontekstis kasutada*” (Riigi Teataja, 2011).

Mõned uurijad juhvivad tähelepanu sellele, et eriti tänapäeval on vaja arvestada nii õpilaste õpistiilide kui ka nende harjumuste, ootuste ja õppimisvõimekusega. Näiteks Franklin ja Peat (2001) väidavad, et tänapäeval, kui infotehnoloogia vallas on toimunud suured muutused, tasub õpilaste õpimotivatsiooni tõstmiseks loobuda vaid traditsioonilisest õpetajakesksest õpetamisest ja liikuda õppijakeskse õpetamise suunas, kus õpilasel on õppeprotsessis aktiivne roll.

Villako ja Adoan (2005) väidavad, et projekti “Põhikooli loodusainete uurimusliku õppe mudelid” (2005) käigus bioloogia, keemia ja füüsika õpetamiseks loodud virtuaalsed mudelid aitavad tõsta õpimotivatsiooni ning nende veebipõhiste mudelite ja eesmärgipäraselt koostatud töölehtede abil on võimalik ainetundide sisu mitmekesisendada ning looduslike protsesside mõistmist lihtsustada.

Hammer (2000) rõhutab olulist fakti, et harjutamine ning põhjalik probleemi uurimine ja teemast arusaamine lubavad häid tulemusi ja aitavad põhilistest väärarusaamadest vabaneda.

Paljud autorid väidavad, et õpetamise efektiivsusele ei ole suur mõju ainult meetoditel ja see ei sõltu ainult õpilase õpistiilist, vaid tähtis osa on ka õpetajal. Darling-Hommond (2000) väidab näiteks, et õpetajatel peab olema ühine ja selge visioon sellest, milline peab olema hea ja efektiivne õpetamine, et seda oleks võimalik järgida õppimisel. Lisaks sellele peab õppimises olema õige teooria ja praktika osakaal. Mis aga toimub, kui see eesmärk on teada ainult õpetajale? Fullani (2006) uurimustest tuli välja, et õpilaste õpimotivatsioon langeb, kui nad tajuvad, et õpetaja ei tunne huvi nende eelteadmiste vastu, vaid õpetab seda, mis programmis on. Fullan rõhutab seda, et vähem kui üks viiendik uurimuses osalenud õpilastest väitis, et õpetajad küsivad nende mõtteid ja võtavad kuulda nende arvamusi, enne kui otsustavad, mida ja kuidas õpetada.

Õpilased kurdavad (Sarason, 1982), et nad ei saa kaasa rääkida selles, kuidas töö tunnis toimuma peaks. Sarason viis läbi mitteametliku uurimuse, jälgides õppetööd, et näha, kuidas tunnitöö reeglid kujunevad ja millised on õpetajate ootused õpilaste suhtes. Uurija märkas, et õpetaja kehtestas alati ise reeglid ega küsinud, mida õpilased neist arvavad või kuidas end tunnevad. Sarason pani vaatluse käigus tähele mitmeid õpetajate ootusi õpilaste käitumise suhtes: õpetaja teab kõige paremini; õpilased ei saa reeglite väljatöötamises kaasa rääkida;



õpilased ei olegi arutelust huvitatud; reeglid on õpilaste, mitte õpetaja jaoks. Paljudele õppijale meeldib koosõppimine (Chang ja Lederman, 1994).

Uibu (2010) leidis oma doktoritöös õpetajate rolle uurides, et traditsiooniline õpetamine ja mehaanilised õpetamistevõimed toetavad õpilaste kognitiivset arengut ja akadeemilisi saavutusi. Konstruktivistlik õpetamine on vajalik, arendamaks kõrgema taseme mõtlemisoskusi.

Et üheks väga levinud meetodiks füüsika õpetamisel on ülesannete lahendamine ning käesoleva töö autori arvates on kõige soodsam selle kaudu muuta füüsikaõppe efektiivsemaks, kirjeldatakse alljärgnevalt ülesannete lahendamise rolli füüsikaõppes.

### **2.3. Füüsikaõppes ülesannete lahendamise rolli kajastavatest uuringutest**

Teiste õppemeetodite kõrval on füüsika õpetamisel üheks traditsiooniliseks meetodiks ülesannete lahendamine (Karu, 1996). Ülesannete lahendamist kasutatakse füüsikatundides reeglina teadmiste kinnistamiseks või teadmiste rakendamise oskuse kontrollimiseks. Ülesannete lahendamise abil on võimalik ka füüsikaõppe efektiivsust tõsta. Kuid tasub rõhutada, et ülesannete lahendamisel õige vastuse leidmine ei taga veel teadmiste kvaliteeti ega püsivust. Redish (2003) väidab, et füüsikaülesannete lahendamise õpetamine sõltub sellest, milline on sealjuures õpetaja eesmärk: kas õppekava täitmine, eksamiks valmistamine, füüsikalise mõtlemise arendamine või veel midagi muud. Füüsikaülesannete tähtsust rõhutavad näiteks Loide (2002) ja Plotzner (1994), kes väidavad, et füüsika õppimise kõige efektiivsemaks teeks on lihtsamate probleemide ja ülesannete iseseisev lahendamine. Kuid paljud uurijad (Styer, 1998, Bolton, 1997, Van Heuvelen, 1991) kurdavad, et õppijad lahendavad enamasti ülesandeid mehaaniliselt, mõtlemata ülesande sisule. Sel juhul on eesmärgiks etteantud arvude abil jõuda õige arvuni, mida nimetatakse vastuseks. Traditsioonilises ülesannete lahendamise metoodikas (Reif, 1995, Heller et al., 1992a, Karu, 1996) nähakse ette, et õpilane kordab füüsikaliste suuruste nimetusi ja tähiseid, nende ühikuid, õpib ja harjutab ühikute teisendamist, kordab seadusi ja jätab meelde vastavad valemid, õpib analüüsima füüsikalisi probleeme ning neid lahendama. Kahjuks ei tegutse õpilased alati nii. Ülesannete tekstist otsitakse füüsikalised suurused, tuletatakse meelde või otsitakse neile vastavad tähed, nende järgi valemid, kus need tähed esinevad. Tihti ei peeta oluliseks, kas valemis on suur või väike täht (nt.  $v$  – kiirus ja  $V$  – ruumala;  $p$  – impulss (ka rõhk) ja  $P$ -kaal jne), avaldatakse valemist otsitavale suurusele vastav täht, asendatakse valemis tähed arvudega ja vastus on leitud (Ganina ja Voolaid, 2005). Sellist lahendamist soodustab asjaolu, et reeglina sisaldab traditsiooniline füüsikaülesanne täpselt sama palju andmeid, kui lahendamiseks vaja läheb. Reaalses elus ei vasta tegelik olukord reeglina sellele mudelile.

Füüsikaülesanded tunduvad õpilastele tihti rasked ja esialgu on võimatu aru saada, mida neis tahetakse. Ülesannete koostajad (Heller jt, 1992a, 1992b; Fuller, 1982; Loide, 2005) arvavad, et need ei ole midagi muud kui probleemid, mis nõuavad lahendajalt õpitud teooria rakendamist. Selleks on vaja analüüsivõimet ja oskust probleemi lahendada. Väga hea selgituse õpilastele innustamiseks pakub Loide (2005a) Õpetajate Lehes ilmunud artiklis “Mis on lahti koolifüüsikaga?” Ta ütleb, et “*füüsikaülesanne on meid ümbritseva maailma kõige põhilisemate ja olulisemate seaduspäraste selgitamine. Füüsikaseadused ei ole tekkinud juhuslikult, vaid aastasadu kestnud uuringute tulemusena. Tehes katseid, püütakse nende tulemusi üldistada ja leida selliseid üldisi seaduspärasusi, mis kehtiksid võimalikult paljude nähtuste puhul ja annaksid teiste analoogiliste nähtuste kirjeldamisel katsega kooskõlas oleva tulemuse*”.

Eesmärgiga analüüsida, milliseid nõuandeid on võimalik anda õpilastele ja õpetajatele selleks, et ülesannete lahendamine ei oleks formaalne tegevus ja samas toetaks teadmiste omandamist ning arendaks analüüsivõimet, on tarvis teada, millist tüüpi ülesandeid füüsika õpetamisel kasutatakse.

### 2.3.1. Füüsikaülesannete tüübid

Füüsika riigieksami eristuskirjas (Riiklik õppekava, 2011) on toodud ülesannete tüübid, mille lahendamist oodatakse füüsika riigieksami valinud gümnaasiumilõpetajatelt. Need on järgmised:

- A. valikvastustega ülesanded – õige vastus tuleb leida etteantud loetelu hulgast,
- B. avatud vastustega ülesanded – õiged vastused tuleb kirjutada etteantud ridadele,
- C. seostamata redelülesanded – ülesande tekstile järgneb vähemalt kolm alaküsimust, mis ei ole üksteise tulemustega seotud,
- D. seostatud redelülesanded – alaküsimuste tulemused on üksteisega seotud, ülesannet ei saa lahendada eelnevat alaküsimust vastamata;
- E. funktsionaalsele lugemisoskusele toetuvad ülesanded – ülesanne sisaldab kirjeldavat teksti ja küsimust, lahendamiseks peab tekstist leidma õiged suurused ja teostama nendega õigeid arvutustehteid; ülesanded võivad sisaldada ka tabeleid või graafikuid, millelt tuleb lugeda algandmeid.

Mõned autorid (Voolaid ja Ganina, 2009, 2010) liigitavad kolm viimast ülesannete tüüpi arvutusülesanneteks.

Alljärgnevalt tutvustatakse erinevaid ülesannete tüüpe esialgu eestikeelse nimetusega (väitekirja autori tõlkes) ning vajadusel antakse sulgudes nimetus originaalkeeles.

**Arvutusülesanded** (*Estimation Problems* – Redish, 2003; *Вычислительные задачи* – Usova jt, 1992). Seda tüüpi ülesandeid nimetatakse kirjanduses mõnikord ka **traditsioonilisteks ülesanneteks** (*Traditsional Physics Tascos* – Redish,

1999; *Data and Traditional problems* – Companario, 1998). Need on ülesanded, kus esitatakse konkreetne küsimus ning antakse teatud hulk lähteandmeid.

**Valikvastustega ülesanded** (*multiple-choice tasks* – Redish, 1999). Õige või vale väite leidmine; mõistete äratundmine; õige valemi või ühiku leidmine; õige graafiku või joonise leidmine; graafikute ja jooniste lugemine (Voolaid ja Ganina, 2009).

**Avatud vastustega ülesanded**, ka kvalitatiivsed küsimused (*Qualitative Questions* – Redish, 2003). Seda tüüpi ülesannetes kontrollitakse definitsioonide, seaduste, valemite, ühikute, tähiste, graafikute, jooniste ning faktide teadmist (Redish, 2003; Voolaid ja Ganina, 2010). Mõnedel juhtudel tahetakse kontrollida mitte ainult teadmiste, vaid ka oskuste osa (Reemann, M, 2005).

**Hinnangulised ülesanded** (*Estimation Problems* – Redish, 2003). Antud tüüpi ülesande raames kirjeldatakse mingit konkreetset elulist olukorda või avalikus meedias või teabes olevat infot, kus reeglina kasutatakse arvulisi andmeid. Õpilastele antakse ülesanne arvutustele toetudes kontrollida andmete tõepärasust ning anda hinnang info usaldusväärsuse kohta (Redish, 2003, Companario, 1998).

**Graafilised ülesanded** (Teel füüsika standardile, 1998–2004; Voolaid ja Ganina, 2010). Püstitatud ülesande aluseks on graafik või diagramm, kust lahendaja peab ise vajalikud algandmed leidma. Üheks graafiliste ülesannete alaliigiks on ülesanne, kus graafikut on vaja täiendada või tuleb õpilasel endal graafik koostada.

**Füüsikale orienteeritud ülesanded** (*physics-oriented tasks*) (Šlekienė ja Ragulienė, 2006). Need on ülesanded, mis koostatakse ja pakutakse lahendamiseks konkreetsest eesmärgist lähtudes, nt soovitakse kujundada teadmisi, harjutada valemite meeldejätmist ja seoste loomist jne. Need võivad olla kas arvutus- või graafiliste ülesannete alaliigiks.

**“Tagurpidi ülesanded”** (*Working Backwards Task or “Physics Jeopardy” task* – Van Heuvelen ja Maloney, 1999). Ülesanne esitatakse joonisega või graafikuga, mis kirjeldab näiteks teatud füüsikalist protsessi. Lahendaja peab konstrueerima vastava ülesande, mis peab olema kooskõlas esitatud graafiku või joonisega. Antud tüüpi ülesandeid kasutatakse erinevate füüsikaprotsesside analüüsi kaudu tutvustamiseks. Sama nimetuse alla võib paigutada õpilaste poolt **koostatud ülesanded või fantaasiaülesanded**. Sel juhul koostavad õpilased ise näiteks seaduspärasuse, seaduse, nähtuse jmt kontrollimiseks ülesande ja lahendavad selle.

**Veaotsinguprobleemid** (*Troubleshooting* – Redish, 2003). Õpilastele esitatakse juba lahendatud ülesanne või mõni probleem koos lahendusega. Õpilaste ülesandeks on leida viga kas lahenduskäigus või arvutamisel. Siia kuuluvad ka need valikvastustega ülesanded, kus palutakse leida mitte õige, vaid vale vastus (Teel füüsika standardile, 1998–2004).

**Essee-tüüpi ülesanded** (*Essay Questions* – Redish, 2003). Ülesanne on esitatud pikema jutustusena, kus on kirjeldatud mõni elulist või probleemset situatsiooni ning esitatakse erinevatest füüsika valdkondadest lähtuvalt rida küsimusi, mis vajavad vastust. Uurija hoiatab, et selliste ülesannete tekstiga tutvumine võib võtta palju aega ning õpilaste tähelepanu võib hajuda.

**Temaatilised ülesanded, situatiivsed ülesanded, probleemülesanded** (*Тематические задачи* – Larchenkova, 2008; *Context-Based Reasoning Problems* – Redish, 2003). Need on ülesanded, kus lähtutakse konkreetsest kehas, situatsioonist, teemast või kontekstist, näiteks “Auto” (Larchenkova, 2009), “Pizza” (Redish, 2003) ja selle kaudu kutsutakse esile õpilaste kogemus konkreetsest valdkonnast. Nende ülesannete kaudu on võimalik uurijate (Larchenkova, 2008; Redish, 2003) arvamusel läbida rohkem õppematerjali ning seostada omavahel mitte ainult erinevaid füüsika osi, vaid ka erinevaid õppeaineid ja tegelikku elu. Antud ülesandetüüp langeb suures osas kokku arvutusülesannetega, kuid ei ole nii teoreetiline, sest abstraktsed kehad ja mudelid on asendatud reaalseste esemete ning situatsioonikirjeldustega.

**Tolerantsed ülesanded** (*Толерантные задачи* – Krasin, 2005). Ülesanne on sõnastatud või illustratiivne joonis on kujutatud nii, et n-õ peidus on erinevad võimalused, kuidas lahenduseni jõuda. Ülesande lahendamiskäigu valib õpilane ise. Lõppvastuse hindamisel arvestatakse õpilase valikut ning rõhutatakse, et lõppvastuseni jõudmiseks on palju võimalusi. Autori väitel võimaldavad antud tüüpi ülesanded arendada õpilase uurimisvõimet, planeerimisoskust ning mudelite ehitamise, objektide ja nähtuste idealiseerimise ning vastuse tõepärasuse hindamise oskust.

**Katseülesanded** (*Experiment Problems* – Redish, 2003). Need on ülesanded, mis vajavad lahendamist katse või eksperimendi kaudu. Selleks, et katseülesanne lahendada, peavad õpilased tegema päris mitu sammu: määratlema probleemi, planeerima eksperimendi või katse, jagama probleemi osadeks, lahendama need osad ja panema kokku osade tulemused selleks, et vastata üldküsimusele. Samuti peab õpilane otsustama, millised andmed on antud ülesande lahendamiseks olulised ja milliseid võib ignoreerida. Õpilane peab olema suuteline tegema vastavaid mõõtmisi ning analüüsima tulemusi, et hinnata lõppvastuse tõepärasust.

**Alternatiivsed (laiendatud) kodused ülesanded** (*Alternative (Extended) Homework Assignments* – Redish, 2003). Need ülesanded kujutavad endast n-õ miniprojekti laadi koduseid töid. Ülesanded esitatakse reeglina mingi loona või probleemi kirjeldusena ning suunatakse õpilasi tekkinud küsimustele arvutuste või tõestuste abil vastuseid leidma. Ülesanded on jagatud konkreetseteks lahendamise sammudeks või etappideks. Nende ülesannete käigus on võimalik kasutada käsiraamatuid, leida infot Internetist või teha iseseisvat uurimistööd. Autor (Redish, 2003) väidab, et erinevalt traditsioonilistest ülesannetest, on nende

ülesannete lahendamise käigus võimalik ühendada kontseptuaalset lähenemist analüüsivõimega.

Ülaltoodu kokkuvõtteks on kasulik teha võrdlusanalüüs selle kohta, mida nõutakse Eestis gümnaasiumi füüsika riigieksamil ning milliseid ülesandeid kasutatakse mujal maailmas. Eesti riigieksamil on üldjuhul kolme tüüpi ülesandeid: valikvastustega ülesandes, avatud vastustega ülesanded ning arvutusülesanded. Võib arvata, et sellest lähtudes kasutatakse füüsika tundides Eestis neid ülesandeid kõige rohkem (põhjalikum ülevaade tuuakse alapunktis 3.2.1.). Mujal maailmas kasutatakse ülalnimetatud ülesannetele lisaks palju teisi ülesandetüüpe.

Paljudes Eesti ilmunud ülesannete kogumikes (Ugaste ja Saukas, 2002, 2003, 2004; Reemann ja Ainsaar, 2007, 2009, 2010; Paju ja Paju, 2009) on ülesanded grupeeritud õpetatavate teemade, mitte nende tüüpide järgi. Seetõttu on vahel raske anda õpilastele nõu, kuidas neid lahendada. Eestis on seda püütud teha Reemanni (2005) füüsika *Seeriaülesannete kogumikus* ning Voolaiu ja Ganina (2009, 2010) poolt koostatud *Riigieksamite ülesannete kogumikus*. Ülesannete kogumikes *Teel füüsikastandardile* (1998, 2000, 2002, 2003, 2004) on küll ülesanded esitatud füüsika valdkondade kaupa (mehaanika, termodünaamika, elektromagnetism jne), kuid nendes on ülesanded järjestatud tüüpide kaupa: valikvastustega ülesanded, arvutus- ja graafilised ülesanded, katseülesanded ning antakse soovitusi ülesannete lahendamise meetodika kohta.

Alljärgnevas peatükis antakse ülevaade uurimistööst, mille käigus püüti anda õpilastele soovitusi, milliseid ülesannete lahendamise etappe on vaja järgida selleks, et jõuda korrektsete lahendusteni.

### **2.3.2. Ülesannete lahendamise strateegiad**

Erinevad teadlased (Styer, 2002; Hollabaugh, 1993; Heller jt, 1992a, Iljasov, 1992; Karu, 1996, Krasin, 2005, Kameneckij ja Soloduhin, 1982; Kondratjev jt, 1996) pakuvad oma strateegiaid probleemide ja ülesannete lahendamiseks, kasutades erinevaid teooriaid, kuidas lahendada füüsika ülesandeid efektiivsemal moel.

Huvitava faktina ilmneb uurimistöödega tutvumisel see, et ühed teadlased (Irodova ja Putina, 2009; Gerace ja Beatty, 2005) pakuvad väga üldisi suundi ülesannete lahendamiseks, teised (Styer, 2002; Hollabaugh, 1993; Mudd, 1997; Heller jt, 1992b) kirjeldavad väga põhjalikke kolme- või viiesammulisi algoritme, kolmandad (Krasin, 2005; Krasin, 2008) püüavad leida ülesannete lahendamise algoritme ülesandetüübist lähtudes, neljandad (Karu, 1996; Mudd, 1997) lähtuvad õpetatavast teemast.

Karu (1996) arvates kasutavad lahendajad ühe ja sama ülesande lahendamisel sõltuvalt eelnevast kogemusest ja individuaalsetest iseärasustest erinevat arvu mudeleid, mida toetavad nii Redhshi (2003) kui ka Krasini (2005) uurin-

gud. Paljudest võimalikest mudelikombinatsioonidest toob Karu (1996) välja need, mille kasutamine osutub kõige efektiivsemaks. Neid kombinatsioone nimetab ta ülesandetüübi lahendamise meetodiks (mehaanika teema näitel):

1. *ülesande tekstiga tutvumine;*
2. *ülesande tingimuste lühikirjeldus;*
3. *taustsüsteemi valimine ja joonise valmistamine;*
4. *võrrandi (süsteemi) koostamine;*
5. *võrrandi (süsteemi) lahendamine;*
6. *vastuse tõepärasuse kontroll.*

Paljud uurijad (Styer, 2002, Hollabaugh, 1993, Mudd, 1997, Heller jt, 1992a, Heller jt, 1992b, Halloun ja Hestenes, 1987 jne) on püstinud küsimuse, kas on võimalik leida selliseid adekvaatseid lahendamisalgoritme, mis aitaks õpilastel paremini õppida ülesandeid lahendada.

Alljärgnevana vaadeldakse milliseid variante on pakutud.

Styer (2002) väidab, et füüsikaülesannete lahendamine jaguneb tavaliselt kolme etappi ning pakub järgmist jaotust:

- 1) *strateegia kavandamine (otsustada, mis ülesande tüübiga on tegu, teha joonis või graafik, pidada silmas, mida on vaja lõpuks leida);*
- 2) *lahendamise taktika (tähiste ja mõõtühikute väljakirjutamine ja vajadusel teisendamine, sobiliku valemi leidmine, valemite tuletamine ja arvutamine);*
- 3) *vastuse kontroll (vastuse tõepärasuse hindamine (sealhulgas märk), mõõtühiku lisamine, vajadusel mõõtevea arvutamine).*

Hollabaugh (1993) leiab, et ülesannete lahendamisel on kaks faktorit, mis aitavad õpilasi. Esiteks peab õpilane teadma ja mõistma füüsika põhimõtteid. Teiseks peab õpilane oskama kasutada neid strateegiaid uues olukorras. Just siin ta näeb probleeme ja toob välja paljude õpilaste tüüpilise arusaama: “*Ma saan teooriast aru, kuid ma ei oska ülesandeid lahendada*”. Uurija arvates vajavad õpilased abi oma ülesannete lahendamise oskuste arendamiseks. Heller ja Hollabaugh (1992a), Heller jt (1992b) märgivad, et samuti nagu paljude õppimistegevuste puhul on kasulik jaotada ülesannete lahendamise strateegiad väiksemateks sammudeks. Nad pakuvad järgmist viit strateegiasammu (*Five-step algorithmic structure*):

- 1) *probleemi fokuseerimine,*
- 2) *füüsikaline kirjeldus,*
- 3) *lahendamise plaan,*
- 4) *lahendamine,*
- 5) *vastuse hindamine.*

Suuremas osas kattub see strateegia Styer'i (2002) strateegiaga.

Erinevate lahendamisstrateegiatega tutvumisel ning nende võrdlemisel ilmneb, et paljud uurijad pakuvad just viit etappi ülesannete lahendamiseks, näiteks Mudd (1997) soovib mehaanikaülesannete lahendamisel kasutada järgmisi samme ja toob välja ka kasulikke soovitusi õpilastele:

1. *Joonista nii palju jooniseid või graafikuid, kui ülesandes on kirjeldatud, ning nii palju kui on vaja selleks, et teha ülesanne endale selgeks.*
2. *Loe küsimus või probleem läbi nii mitu korda kui vaja, et aru saada, mida tahetakse ülesande lahendamise igas osas. Otsusta, kuidas teha arvutusi ja mitmel erineval viisil on võimalik seda teha.*
3. *Otsusta, milliseid andmeid on vaja, tee vastav joonis või diagramm. Otsi sobilikud valemid, vajadusel teisenda neid, tee kindlaks, et kõik tähised ja mõõtühikud on õiged ning teisendatud.*
4. *Veendu, et kasutad õigeid füüsikalisi suurusi ja valemuid. Kui vajalikud arvutused on tehtud, kontrolli tulemuse õigsust dimensionaalselt.*
5. *Kontrolli, kas vastus on reaalne füüsikalises mõttes. Kui ei ole, siis arvuta uuesti. Samuti veendu, et kasutad õiget valemit.*

Samalaadset strateegiat ülesande lahendamiseks kirjeldavad Aleven ja Koedinger (2002). Nad soovivad alustada ülesande lahendamist olukorra ettekujutamisest, millele võib vajadusel lisada joonise või graafiku. Järgmise sammuna tuleb leida olulised mõjutavad faktorid, koostada võrrandid või leida sobilikud valemid. Nad soovivad kindlasti pöörata õpilaste tähelepanu vastuse tõeõigsuse kontrollimisele.

Hoolikalt ülaltoodud analüüsides selgub, et erinevate uurijate poolt välja töötatud strateegiad järgivad sarnaseid samme ülesannete lahendamisel.

Loide (2005) kirjeldab protsessi aga seitsmeastmelisena ja lisab juurde näpunäited nende läbimiseks (tsiteeritud):

1. *Loe, mõtle. Loe lahendatavat ülesannet hoolikalt ja püüa seda siduda tunnis õpitud materjaliga. Teisisõnu, püüa selgitada, millise liikumise, protsessi või nähtusega on tegemist ja millistele üldistele seadustele see allub.*
2. *Algandmed, otsitavad suurused, joonis. Kirjuta välja ülesande algandmed ja suurused, mida on vaja leida. Vajaduse korral tee ülesannet iseloomustav joonis, skeem või diagramm.*
3. *Teooria, valemid, võrrandid. Kirjuta välja vajalikud valemid ja võrrandid. Soovitatav on valemitele lisada ka lühike sõnaline kommentaar, selgitamaks, millise nähtusega on tegemist ja milliseid üldisi printsiipe oleks vaja rakendada.*
4. *Lahenda, arvuta. Lahenda vajalikud võrrandid ja arvuta algandmetest lähtudes tulemus. Võrrandite lahendamine on enamasti mingit tüüpi matemaatikaülesanne. Seejärel arvuta välja oma algandmetest lähtudes numbriline tulemus.*

5. *Ühikud. Arvutamisel kontrolli, et kõik kasutatavad ühikud oleks samast ühikute süsteemist ja sellest lähtudes kirjuta tulemusele õige ühik. Et ühikutega probleeme ei tekiks, on soovitatav nad peale algandmete välja kirjutamist kohe ühte süsteemi teisendada.*
6. *Analüüsi tulemust, kontrolli: Analüüsi saadud tulemust ja püüa selgusele jõuda, kas see on mõistlik. Enamasti kipuvad vead tulema eksimustest arvutustes, kuid vahel võime ka ülesande tingimustest valesti aru saada ja kasutada ebaõigeid valemeid.*
7. *Analüüsi veel kord: Kui lahend on leitud ja analüüsitud, vaata probleem veel kord üle. Püüa selgitada, kas on ka teisi teid antud ülesande lahendamiseks.*

Tähelepanu väärib viimane soovitus, kus autor (Loide, 2005) soovitab lõpus ülesannet uuesti analüüsida ning leida teisi lahendamisevõimalusi. Väitekirja autori arvates on see üks võimalustest arendada kõrgema taseme mõtlemis- oskusi, mida toetab konstruktivistlik õpetamine (Uibu, 2010). Mõned uurijad rõhutavad, et traditsioonilised õpetamismeetod, kus õpetaja on aktiivne ja õppija pigem passiivne, ei ole tänapäeval efektiivsed. Gerace ja Beatty (2005) uurimustest tuli siiski välja, et traditsiooniliste füüsikaülesannete lahendamine on ennast tõestanud ja tagab tugevaid teadmisi füüsikast. Samas soovivad uurijad ülesandeid traditsioonilisel viisil lahendades ja teatud strateegiad ja algoritme kasutades pöörata rohkem tähelepanu füüsikalisele sisule, muuta lahendamis- protseduuri aktiivsemaks, enesereflekteerivamaks teadmiste loomiseks.

On tehtud palju uuringuid selgitamaks, kuidas õpilased ülesandeid ikkagi lahendavad. Larkin ja Reif (1979) teevad oma uuringutest järelduse, et kogenumad õppijad kipuvad lahendama ülesandeid väikeste sammude ja üksikute valemite kaudu. Need õpilased, kes on juba omandanud ülesannete lahendamis- strateegiad, jõuavad jälgida kogu lahendamisprotsessi algusest lõpuni. Täpset lahendamisstrateegia olemasolu ja selle kasutamist toetavad ka Leonard jt (1996).

Krasin (2005) pakub huvitava võimaluse, kuidas lahendada tolerantseid ülesandeid. Alustada tuleb ülesande teksti tähelepanelikust lugemisest, minna küsimustelt ülesande tingimustele ja kõrvaldada üleliigne informatsioon. Järg- misena on vaja välja selgitada terminite tähendused ning loogiliselt struktu- reerida informatsioon. Selle alusel on vaja idealiseerida objektide tunnused. Võimaluse korral on tarvis dekodeerida tekst skeemiks. Vajadusel tuleb leida lisaandmeid, näiteks konstante. Ning üks tähtsamatest soovitustest on alustada kõige lihtsamatest ülesande situatsioonidest ning need lahendada, samas mitte unustada selle kasutamist teistel mudelitel. Tema nagu Gerace ja Beatty (2005) arvavad, et kui traditsiooniliste ülesannete lahendamisstrateegiad on omandatud ning õpilased oskavad jagada ülesande väiksemateks osadeks (Larkin ja Reif, 1979), on võimalik rakendada juba kõrgema taseme oskusi: selekteerimist, sünteesimist ja analüüsi.



Uurides, mida annab õpilasele traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamine, tasub mainida Maloney (1994) arvamust, kes leiab, et traditsioonilised ülesanded aitavad õppida füüsikat mitte sellepärast, et õpilased tahavad seda, vaid sellepärast, et see ongi kõige parem füüsika õppimise viis. Ta väidab, et õpilasi on vaja ikkagi suunata ja motiveerida lahendama erinevaid füüsika ülesandeid, ka mittetraditsioonilisi. Tema uuringutest tuli välja see, et nende lahendamine suunab õpilasi teoreetilist materjali põhjalikumalt läbima.

Võttes eelneva kokku ning tuginedes uuringute tulemustele (Neuman jt, 2000; Palincsar ja Brown, 1984) võib väita, et ülesande lahendamiskäik sõltub suuresti ülesande esitamiseviisist ning sellest, kuidas on lähteandmed esitatud.

## **Kokkuvõte füüsikaõppe efektiivsuse määramise ja ülesannete lahendamise rolli uuringutest**

Võttes kokku eelnevalt esitatu, saab märkida järgmist. Ülesannete tüüpe, nende lahendamise etappe ja strateegiaid ning ülesannete rolli füüsikaõppes on uuritud valdavalt lähtudes nende mõjust õpitulemustele, sealhulgas ka üksikute ülesandetüüpide mõju õpilase analüüsivõimele. Erinevad autorid on esitanud erinevate ülesandetüüpide kirjeldusi ning nende seost erinevate füüsikateooria osadega. Samas ollakse paljuski üksmeelel selles, et kõige rohkem kasutatakse füüsika õpetamisel n-õ traditsioonilisi ülesandeid (arvutusülesandeid), mis on otstarbekamad teadmiste ja faktide kinnistamisel. Oskuste ja teadmiste rakendamiseks on soovitatud kasutada erinevat tüüpi ülesandeid. Eesti koolifüüsika ainekava, õpikute ja ülesannete kogumike analüüsist selgus, et Eesti koolides on ülesannete lahendamine füüsikaõppe lahutamatu osa, kuid valdavas osas on seal esindatud just traditsioonilised ülesanded. Nimetatu viitab vajadusele uurida võimalust kasutada Eesti koolides ka mittetraditsioonilisi füüsikaülesandeid ja õpetada nende lahendamise strateegiaid ning uurida, kuidas see on seotud füüsikaõppe efektiivsusega. Samuti on tarvis täpsustada õppe-efektiivsuse mõistet, leida sobiv vahend selle mõõtmiseks, seda katsetada ja leida võimalikud faktorid, mis võimaldavad füüsika õpetamise efektiivsust suurendada.

Käesoleva väitekirja autori andmetel pole Eestis taolist uuringut varem läbi viidud.

Toetudes konstruktivistlikule lähenemisviisile õpetamisele ja õppimisele, on paljud uurijad üksmeelel, et oluline on arvestada õpilaste eelteadmistega, nende õpistiilidega, võimaluse korral seostada püstitatud ülesanded õpilaste kogemustega ning anda õpilastele rohkem vabadust ülesannete lahendamisprotseduuri valimisel. Eelnimetatu viitab vajadusele uurida, milliseid erinevaid võimalusi kasutavad Eesti õpetajad füüsikatunnis, mis aitab kaasata õpilasi aktiivsesse ülesannete lahendamise protsessi ning vajadusel soovitada õpetajatel valida ülesandeid teadvustades, kuidas nende lahendamise protsess õpilasi arendab.

Ülaltoodu arvestades tõstatab käesoleva väitekirja autor kolm uurimisteemat:

- I. Kuigi on leitud, et traditsioonilised ülesanded on otstarbekad faktide ja teadmiste omandamiseks, pole piisavalt teaduslikke andmeid selle kohta, kuidas mõjutab õpitulemusi mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamine. Uued uuringud selles valdkonnas aitaks õpetajatel paremini orienteeruda ülesandetüüpide valimisel, lähtudes konkreetsest õpieesmärgist.
- II. Kuigi õppe-efektiivsuse määramiseks kasutatakse erinevaid instrumente, pole Eesti õpetajad üksmeelel, kuidas seda mõõta saab. Õppe-efektiivsuse määramiseks adekvaatse matemaatilise mudeli kui füüsikaõpetajatele vajaliku indikaatori väljatöötamine aitaks neil hinnata valitud õppemeetodit, ka ülesandetüüpi ning selle kasutamise otstarbekust.
- III. Füüsikatundides teadmiste ja oskuste omandamise püsivust uurivad Eestis tehtud teadustööd väitekirja autori andmetel puuduvad. Teadmiste ja oskuste püsivust on tarvis uurida, aitamaks õpetajat õpetamistegevuste planeerimisel ning konkreetse õppetunni eesmärgi püstitamisel, adekvaatsete õppemeetodite valimisel ja õpilaste eelteadmiste arvestamisel.

### 3. UURIMUS

Lähtudes ülalnimetatud uurimisteemadest, seati uurimuse üldeesmärgiks välja selgitada, millist mõju avaldab hajusandmetega ülesannete lahendamine füüsikaõppe efektiivsusele.

Tõstatati uurimisküsimused:

- (1) Kas esineb erinevusi gümnaasiumi õpilaste ja õpetajate hinnangute vahel, millised õppemeetodid motiveerivad õpilasi füüsikaõppes rohkem ning milliste meetodite kasutamine on nende hinnangul efektiivsem?
- (2) Kuidas on võimalik mõõta füüsikaõppe efektiivsust?
- (3) Kas füüsikaülesanded, mis on seotud reaalse eluga, on faktide ja teadmiste omandamisel sama efektiivsed kui traditsioonilised ülesanded?
- (4) Kas esineb erinevusi traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamisel omandatud teadmiste ja oskuste püsivuse vahel?
- (5) Kas hajusandmetega ülesanded motiveerivad õpilasi rohkem ning suurendavad füüsikaõppe efektiivsust?

Uurimisküsimustele vastuste leidmiseks püstitati järgmised uurimisülesanded:

- 1) Võrrelda gümnaasiumi õpilaste ja õpetajate hinnanguid õppemeetoditele, mis nende arvates motiveerivad õpilasi füüsikatundides rohkem. Kas nende hinnangud õppemeetodite kasutamise efektiivsusele on erinevad?
- 2) Uurida teadaolevaid mudeleid õppe-efektiivsuse määramiseks, võrrelda need omavahel, töötada välja oma mudel ning katsetada selle rakendamise võimalusi.
- 3) Võrrelda traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamise mõju faktide ja teadmiste omandamisele.
- 4) Võrrelda traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamise mõju teadmiste ja oskuste püsivusele.
- 5) Leida hajusandmetega ülesannete mõju füüsikaõppe motivatsioonile ja efektiivsusele.

#### 3.1. Meetodid

Eesmärgi täitmiseks otsustati valida alljärgnevad uurimismeetodid.

Esimese uurimisülesande täitmiseks kasutati õpilaste ja õpetajate poolt täidetud küsimustikku õpimotivatsiooni ja füüsika tunnis kasutatud õppemeetodite efektiivsuse hindamiseks. Nende õpilaste poolt Likerti skaalal antud hinnangute võrdlemiseks kasutati erinevate õpilaskontingentide (poisid-tüdrukud, linna- ja maakoolide õpilased) korral Mann-Whitney U-testi. Wilcoxon testi abil võrreldi ühe õpilaskontingendi erinevaid hinnanguid, näiteks uuringus osalenud tüdrukute hinnanguid erinevate õppemeetodite kasutamise sobivusele.

Teise uurimisülesande täitmiseks otsustati olemasolevaid füüsikaõppe efektiivsuse määramise mudeleid võrreldes ning õpetajate küsitluses tehtud ette-

panekuid kasutades tuletada õppe-efektiivsuse määramiseks uus valem, mis oleks õpetajatele lihtsalt kasutatav ja mille abil saadud tulemused oleksid normeeritud ning ühtlaselt ja arusaadavalt tõlgendatavad, ning katsetada seda valemit. Väljatöötatud valemile andsid eksperthinnangu kaks sõltumatut kõrgkooliõppejõudu. Tuletatud valemit katsetati MS Exceli juhuslike arvude katsemeetodiga ning kontrolliti testidega, mida on allpool kirjeldatud.

Kolmanda, neljanda ja viienda uurimisülesande täitmiseks otsustati kasutada pikaajalist pedagoogilist eksperimenti ning kontrollida selle tulemust eel- ja järeltestidega. Antud eksperimendis taheti välja selgitada, millised ülesannete lahendamise strateegiad on õppimise seisukohast efektiivsed (annavad teadmisi ja oskusi juurde), seega oli vaja eelteadmiste tase erinevate füüsika osade korral ühtlustada. Tuginedes Luige doktoritöös (2006) tõestatud meetodika kasutamise adekvaatsusele, kasutati selleks kovariatsioonianalüüsi. Arvutati korrigeeritud järeltesti tulemused, kus faktoriks oli võetud aine konkreetne osa (näiteks elektromagnetism) ja kovariandiks eeltesti tulemus. Korrigeeritud järeltestide tulemused näitavad, millise tulemuse oleks saanud õpilased juhul, kui eeltestide tulemused oleksid kõikide füüsika osade korral võrdsed. Selline analüüs võimaldab arvestada ka eelteadmiste taset. Testide valiidsust ja reliaablust kontrolliti eksperthinnangute ja Cronbachi  $\alpha$ 'ga.

Kuna füüsikaõppes õppemeetodite kasutamise ja õpimotivatsioonile ning selle kaudu õppe-efektiivsusele mõjuvate faktorite hulk on suur, polnud võimalik kõiki neid ühe uuringu raames uurida. Sellest lähtuvalt otsustati uurida ainult ühte, kuid väga levinud (uuringutele ja õpetajate küsimustiku tulemustele ning autori pikaajalisele töökogemusele toetudes) ja Eestis vähe uuritud õppemeetodit – ülesannete lahendamist ja sellega seotud strateegiaid ning katsetada uut tüüpi (hajusandmetega) füüsika ülesannete lahendamist.

Uurimuse läbiviimiseks kasutati kahte õpilaste ja ühte õpetajate valimit. Esimese uurimisülesande täitmiseks kasutati kahte uuringut, millest esimene (osales 1418 õpilast) käsitles õpilaste sisemist õppemotivatsiooni füüsikatundides, nende eelistusi õppemeetodi suhtes ning hinnanguid õpetajate poolt kasutatavatele õppemeetoditele. Teine (osales 73 füüsikaõpetajat kogu Eestist) käsitles õpetajate hinnanguid õpilaste sisemotivatsioonile füüsikatundides, reaalselt kasutatud õpetamismeetoditele ning nende valikute eelistustele. Samas küsiti õpetajate käest, mida nad peavad silmas õppe-efektiivsuse all, kas ja kuidas seda määravad. Õpetajate andmeid saadi Eesti füüsika seltsi andmebaasist. Õpilaste uuringus osalesid õpilased 53st koolist ning neljast kutsekoolist üle Eesti, nende andmed ja kontaktid saadi õpetajate kaudu, kasutades elektroonilise õpikeskkonna Miksike andmebaasi. Valimi koostamise põhiprintsiibiks oli katta võimalikult lai ja esinduslik hulk Eesti koole. Küsimustik oli vormistatud eFormularis ning kättesaadav elektroonilises õpikeskkonnas Miksike. Õpilased täitsid küsimustikud kooli arvutiklassis informaatika või füüsika tunnis, aega vastamiseks oli 15 minutit. Küsimuste puhul, kus oli vaja märkida eelistusi õppemeetodite kohta või õpetaja poolt kasutatud õppe- ning kontrollmeetodi kohta, kasutati Likert-tüüpi skaalat, kus number üks tähendas “kõige vähem” ja

viis “kõige rohkem”. Hindamiseks oli pakutud 13 erinevat õppemeetodit. Analüüsikõlblikuks osutusid 1418 ankeeti.

Teise, kolmanda, neljanda ja viienda uurimisülesande täitmiseks kasutati teist õpilaste valimit ning aastal 2005 läbiviidud pilootuuringu tulemuste põhjal viidi aastatel 2005–2009 läbi pikaajaline pedagoogiline eksperiment, mille käigus kasutati eel- ja järelteste ning eksperimentaalgrupis paluti õpetajal lahendada hajusandmetega ülesandeid, mille koostas antud väitekirja autor. Samas katsetati väitekirja autori poolt tuletatud uue õppe-efektiivsuse valemi rakendusvõimalusi. Töös kasutati eel- ja järeltesti meetodikat, sest seda meetodit on lihtne rakendada, see võtab vähe aega ja kuna testid olid anonüümsed, ei häirinud need õpilasi (Rockwell ja Kohn, 1989; Howard, 1980). Samuti kasutati õpilaste eneserefleksiooni (Rockwell ja Kohn, 1989; Howard, 1980) uut tüüpi ülesannete lahendamise kohta, st küsiti õpilaste subjektiivset arvamust, paluti hinnata ennast õppijana ning uuriti, kas katsetatud meetodika rakendamise raames on toimunud muutusi füüsikaõppe motivatsioonis.

Eel- ja järeltestid olid koostatud erinevatest gümnaasiumifüüsika valdkondadest (mehaanika, termodünaamika, elektromagnetism, aine ja väli, optika ja astronoomia) ja eesmärgiga uurida teadmiste püsivust viidi testid läbi erinevatel ajavahemikel (eeltest – enne teema läbimist; järeltestid – kohe pärast teema läbimist, kuu aja pärast, aasta pärast, võimaluse korral kahe ja kolme aasta pärast). Testide tase teemade lõikes oli sama ja need vastasid üldtunnustatud reeglitele (Mikk, 1980; Mikk, 2002). Toetudes uuringutele, et poisid ja tüdrukud õpivad erinevat moodi (Mattern ja Schau, 2002) ning uuringutele (Quaiser-Pohl ja Lehmann, 2002; Luik, 2004), kus väidetakse, et poistel on parem ruumiline ettekujutus ning võimekus kui tüdrukutel, ning kus soovitatakse tüdrukute puhul vältida keerulisi, ruumilisi ja liiga detailidesse laskuvaid illustratsioone, arvestati testide koostamisel ka sellega.

Testiküsimusi koostati nii, et neid oli võimalik kategoriseerida: ühed neist kontrollisid füüsikaliste suuruste, nende mõõtühikute ja mõistete teadmist ning neist arusaamist – nn faktide ja teadmiste osa; teised kontrollisid ülesannete lahendamist ja järelduse tegemist – nn oskuste ja teadmiste rakendamise osa, visuaalse õpistiili toetamiseks oli üks lihtsa joonisega küsimus ja graafikuga ülesanne. Tegu oli valikvastustega testidega, kus iga test koosnes kümnest küsimusest. Lisaks testis õige vastuse märkimisele oli palve võimaluse korral lisada põhjendus, miks valiti just selline vastusevariant ning vajadusel põhjendada valikut arvutuste, joonise, graafiku või selgitustega.

Testide esitus (definiitsioonid, tähised, joonised jne) tugines järgmistele füüsikaõpikutele ja materjalidele: *Teel füüsikastandardile* (Mehaanika, 1998; Molekulaarfüüsika, 2000; Elekter ja magnetism, 2002, Elektrodünaamika, 2003; Aine ehitus, 2004) ning *Põhikooli füüsika ülesannete kogu lahendustega* (Ganina ja Voolaid, 2004), *Füüsika riigieksami ülesanded* (REKK, 2004).

Testimine eel- ja järeltestidega viidi läbi kahes etapis. Esimeses etapis taheti välja selgitada teadmiste püsivus erinevatel füüsikateemadel ning katsetada käesoleva väitekirja autori poolt koostatud efektiivsuse valemi kõlblikkust.

Aastatel 2005–2007 osales uuringus 1125 õpilast 26-st Eesti koolist ning 4-st kutsekoolist.

Enne järgmise uurimisetapi alustamist viidi läbi pilootuuring, millega taheti välja selgitada, millised ülesannete komponendid võiksid mõjuda õpilaste motivatsioonile neid lahendada, ning uurida, kas nende kaudu on võimalik tõsta õppe-efektiivsust. Tulemust kontrolliti ühe muutuja kaupa, kasutades testi ANOVA. Uuriti ükshaaval kõikide faktorite mõju traditsioonilistele arvutus-ülesannetele. Esiteks uuriti, kuidas mõjub traditsioonilise ülesande tekstist arusaamisele (Mikk, 1980) fakt, et arvandmed on esitatud eraldi ülesande probleemist ja küsimusest. Teise faktorina uuriti, kuidas mõjub ülesannete lahendamise motivatsioonile liigsete, otseselt püstitatud probleemiga mitteseotud andmete lisamine. Kolmandana faktorina uuriti, kuidas mõjub lahendamisele fakt, et ülesande lahendamiseks pole piisavalt andmeid antud ja neid on vaja õpilastel endil otsida. Neljandaks sõnastati traditsioonilised ülesanded ümber nii, et nendes kirjeldatud probleem seostati reaalse elu või olukorraga. Pilootuuringu tulemustest lähtudes sõnastati hajusandmetega ülesanded (vt. p. 3.1.1.2.) ja viidi läbi põhiuuring.

Järgmise etapina püüti aastatel 2007–2009 kontroll- ja eksperimentaalrühma võrdlemisega välja selgitada, millist mõju avaldab füüsikaõppe efektiivsusele hajusandmetega ülesannete lahendamine ning võrrelda omandatud teadmiste ja oskuste püsivust. Antud uurimises osales 620 õpilast 14-st koolist. Siinkohal tasub mainida, et eksperimenti alustasid 1035 õpilast, kes täitsid esimese eeltesti, ning 24 õpetajat andsid esialgse nõusoleku osaleda pikaajalisel eksperimentil. Õpetajate valimisele seati üsna ranged reeglid: sama õpetaja pidi õpetama koolis füüsikat paralleelklassides või -rühmades, eesmärgiga võrrelda kontroll- ja eksperimentaalrühma ning minimaliseerida õpetaja isikuomaduste ja õpetamisstiili mõju. Paralleelklasside õppeedukus (ka õppeedukus füüsikas) ei tohtinud olla väga erinev, selle faktoriga edaspidises andmeanalüüsis ei arvestatud. Õpetajaid instrueeriti, kuidas kasutada õppetöös uut ülesannete lahendamise metoodikat ja tutvustati hajusandmetega ülesandeid ning anti nõu, kuidas suunata õpilasi iseseisvale lahendamisprotsessile. Analüüsikõlblikuks osutusid need järeldest tulemused, kus õpetaja läbis väitekirja autori poolt läbiviidud instrueerimise hajusandmetega ülesannete lahendamise metoodikast, jälgis õpetamisel kindlaid reegleid, viis järjepidevalt pärast uue teema õpetamist läbi järeldestite ning perioodiliselt edastas neid uurijale. Kokku osales selles eksperimentis lõppkokkuvõttes 14 õpetajat.

Testid olid anonüümsed, kuid kodeeritud, kuna niimoodi on võimalik analüüsida eraldi iga õpilase tulemusi ja seda, kas antud metoodika mõjus õpilase õppe-efektiivsusele. Testi juurde oli vaja märkida sugu ning klass. Õpetajale oli palve uue metoodika kasutamise jooksul teha vabas vormis märkmeid, kuidas õpilased uutele ülesannetele reageerisid, kuidas nad hindasid ennast õppijana (eneserefleksioon), kuidas neile sobis see, kuidas ülesandeid lahendati – kas individuaalselt, paaris või grupis, kui palju neid kasutati kodutöö ülesannetena.

Ekspriimendi lõpus oli palve õpilastel soovi korral anda hajusandmetega ülesannete kasutamisele kirjalik anonüümne tagasiside.

### **3.1.1. Hajusandmetega ülesanded ja kaheosaline ekvivalentsmeetod**

Uurimistöõ püstitatud uurimiseesmärkidest lähtudes sõnastati (väitekirja ja artiklite I ja III autorid) uut tüüpi ülesanded – *hajusandmetega ülesanded* (*Dispersed Data Problems (DDP)* – artiklite I ja III autorite tõlge) ning töötati välja uue lahendamismetoodika abimaterjal õpetajatele – *kaheosaline ekvivalentsmeetod* (*binary equivalent solving method (BESM)* – artiklite I ja III autorite tõlge). Pilootuuringust, millega taheti välja selgitada võimalikke õpilaste motivatsioonile mõjutavaid ülesannete komponente ning seda, kas selle kaudu on võimalik tõsta õppe-efektiivsust, järeldati järgmist.

Kontrollides tulemusi ühe muutuja kaupa, uuriti üksikhaaval kõikide faktorite mõju ülesannete lahendamisele. Selgus, et kui traditsioonilise ülesande tekstis esitada arvandmed eraldi ülesande probleemist ja küsimusest, tõdesid õpilased, et tekst on paremini mõistetav. Kui traditsioonilise ülesande korral anda rohkem või vähem andmeid kui vaja, läks klassis alati aruteluks, mis aitas lahenduseni jõuda. Faktor, et ülesande tekst oli seotud reaalse elulise situatsiooniga, motiveeris õpilasi rohkem ülesande teksti süvenema. Pilootuuringu tulemustest lähtudes sõnastati hajusandmetega ülesanded, kus ühendati kõik ülalnimetatud komponendid.

Metoodika väljatöötamise ning ülesannete sõnastamise põhimõtteid tutvustati instrueerimisel õpetajatele ning neid käsitleti alljärgnevalt.

#### **3.1.1.1. Füüsikaülesande lahendamise kaks komponenti**

Füüsikaülesande lahendamine koosneb kahest osast: füüsikalisesest ja matemaatilisesest (Ganina, Voolaid, 2008). Füüsikalises osas tuleb enne lahendamist saada ülevaade olukorrast: mis toimub ja kuidas. Tehakse lihtsustusi, valitakse mudelid, leitakse sobivad valemid, koostatakse vajalikud võrrandid. Pärast lahendamist hinnatakse vastuse tõepärasust. Füüsikalises osas toimub ülesande sisuline lahendamine.

Matemaatilises osas teisendatakse valemeid, lahendatakse võrrandeid, teisendatakse ühikuid, arvutatakse otsitav suurus. See on ülesande formaalne lahendamine.

Tihti piirduakse õpetamisel füüsikalises osas ainult valemite väljaotsimise ja võrrandite koostamisega. Olulisemaks peetakse matemaatilist osa, sest seda on lihtsam kontrollida. Kuid füüsika õppimise seisukohalt on olulisem just füüsikaline osa (Ganina, Voolaid, 2005).

Selline formaalne lahendamine on arvatavasti tingitud praegu Eesti koolis kasutusel olevast arvutusülesannete lahendamise metoodikast, kus kõik algab

andmete väljakirjutamisest. Kui andmed on kirjas, valitakse sobivad valemid ja algab lahendamine. Kuid õpilane valib valemeid formaalselt. Andmetest näeb ta, millised “tähed” (füüsikaliste suuruste tähised) on “teada” ja otsib välja samade tähtedega valemid. Selle võtte kasutamisel saavad õpilased tihti eba-realistlikud vastused, mida nad ei suuda ega oska seletada (Neuman jt, 2000, Palincsar ja Brown, 1984).

Lähtudes ülaltoodud uuringute tulemustest (esitatud alapeatükis 2.3.2), tuleks alustada olukorra ettekujutamisest, vajadusel teha joonist. Seejärel tuleks valida olukorra kirjeldamiseks sobivad mudelid: näiteks ühtlane või mitte-ühtlane liikumine, taustkeha, kas nt õhutakistust on vaja arvestada või mitte jne. Pärast seda tuleks arutleda selle üle, kas tuleb koostada võrrand või ei, kas võrrandi koostamiseks võib mingid jõud omavahel võrdseks lugeda vms.

### **3.1.1.2. Hajusandmetega ülesannete tutvustus**

Hajusandmetega ülesanne koosneb mingi olukorra kirjeldusest ja küsimusest. Algandmed on toodud eraldi ja neid on kas rohkem või vähem, kui lahendamiseks vaja läheb. Lähtuti sellest, et eluliste situatsioonide puhul ei ole kunagi nii, et kõik vajalikud andmed on ette antud, neid peab kas kuskilt otsima või kellegi käest küsima. Reaalses situatsioonis tuleb otsustada, kas kõiki asjaolusid tuleb arvestada või võib vähemolulised kõrvale jätta. Eeldati, et selliste ülesannete lahendamine võtab rohkem aega ja õpetajatele tehti ettepanek lahendada ühe õpetatava füüsikaosa piires vähemalt seitse hajusandmetega ülesannet, arvestades sellega, et teema läbimise tempo ning ajaline piirang on mõlemal, nii kontroll- kui ka eksperimentaalrühmal sama. Teoreetiline alus (Reif, 1995; Heller jt, 1992b) ülesannete lahendamiseks on sama nagu traditsioonilistes füüsikaülesannetes: ainepõhine, didaktiline, praktiline jne. Ülesannete põhiline erinevus seisneb selles, et andmeid on rohkem või vähem, kui lahendamiseks on vaja, ning andmed on esitatud ülesande küsimusest eraldi. Hajusandmetega ülesanded ühendavad mitu ülesandetüüpi (esitatud alapeatükis 2.3.1.): arvutus-, avatud vastusega, hinnangulisi, graafilisi, probleem-, situatiiv-, veaotsingu, temaatilisi, tolerantseid, katse- ja alternatiivseid ülesandeid, mis omakorda lubab prognoosida, et nende lahendamisel on võimalik arvestada õpilaste eelteadmistega, nende õpistiilidega, aktiveerida õpilasi ning kutsuda esile erinevaid õppimismotivaatoreid (esitatud alapeatükis 2.2.). Tasub mainida, et ülesannete piloteerimisel ilmnes oluline faktor, mida kasutati edaspidi hajusandmetega ülesannete sõnastamisel: kõikidel kehadel on konkreetsed omadused – nimetused, konkreetne kuju ja vorm, mass, maht, värv jne. Ülaltoodu suunab väitekirja autori arvates õpilasi põhjalikumalt olukorda analüüsima ja ise leidma lahendamiseks vajalikke andmeid, mis kutsuvad esile süvaõppimise ning annab õpilastele vajaliku kogemuse igapäevases elus eluliste situatsioonidega seotud probleemide lahendamiseks.



Hajusandmetega ülesanded koostas väitekirja autor, tuginedes füüsika ainekavas läbitavatele teemadele, ülesande teksti ja sisu korrigeerimiseks kasutati piloteerimist ja eksperthinnangut.

Järgnevalt tuuakse näide *traditsioonilise ja hajusandmetega ülesannete võrdlusest teemal mehaanika* (Artikkel I):

***Traditsiooniline arvutusülesanne:***

*Keha, mille mass on 10kg tõsteti kõrgusele 1,3m. Kui suur töö tehti?*

***Vastav hajusandmetega ülesanne:***

*Inimene sõitis jalgrattaga auto juurde ja tõstis ratta auto katusel olevale katuserestile. Kui palju tööd pidi ta tõstmisel tegema?*

*Andmed:*

*Auto: maksimaalne kiirus 160 km/h, mass 1200 kg, värv – sinine, iste-kohti – 5, kiirendus pidurdamisel (aeglustus)  $-5 \text{ m/s}^2$ , õhu rõhk auto sisekummis 2,3 at, 1 at  $\approx 10^5 \text{ Pa}$ , hõõrdetegur 0,3, mootori töömaht 1,6 l; võimsus 55 (75) kW/hj*

*Jalgratas: kiirus 9 km/h, mass 10 kg, värv – must.*

*Inimene: mass 70 kg, pikkus 186 cm, sugu – mees, juuste värv – must, reaktsiooniaeg 0,4 s.*

*Vajalikud, aga puuduvad andmed leidke ja lisage ise.*

Järgnevalt tuuakse veel üks näide ülesandest, mille küsimus ei ole esitatud tava-pärasel vormis, nagu see on kombeks traditsiooniliste ülesannete puhul:

*Sain sõbralt USAst kirja, kus ta mainib, et kulutab palju vaba aega maja ees oleva muruplatsi niitmiseks. Kuid õnneks ei ole tehtav töö elektri-muruniidukiga kallisk – ühe niitmiskorra kulu on ainult 80 senti.*

*Huvitav, kui suure muruplatsi saab selle rahaga Eestis niita? (Kas näiteks on võimalik niita muru Sinu maakodus?)*

*Andmed muruniiduki passist: mootori võimsus 1,6 kW, niitmislaius 48 cm, pöörlemiskiirus 2880 pöört/minutes, mass 16 kg, müra 96 dB, hind 1550 Eesti krooni. Niiduki keskmine kiirus 3,6 km/h, keskmine jõud niiduki liigutamiseks 80N.*

Lahenduse võimalik arutluskäik.

*Sõbra kirjast saime teada ainult seda, kui palju niitmine maksab. See on arvatavasti küsimus energiatarbimisest. **Probleem:** kas me maksame tarbitud elektri töö või võimsuse eest? Kui see asjaolu saab selgeks, siis tekib teine **probleem:** kuidas leida, kui palju tööd oli tehtud. See vahest sõltub elektrienergia hinnast. Kui me ei tea, kui suur on elektri hind USAs, siis esialgu võib teha lihtsustuse ja otsustada, et see on sama nagu Eestiski. Tekib järgmine **probleem:** kui suur on 0,8 USD kroonides? Saab teada, kui palju makstakse tehtud töö eest, siis ilmneb uus **probleem:** Kui palju tööd saab teha selle raha eest? Jne jne.*

Peale sellise ülesande lahendamist tuleb vastust kindlasti kontrollida: kas enda, oma või sõbra, õpetaja, lapsevanema jne kogemusest lähtudes. Antud ülesande lahendamisel selgub, et selliseid andmeid nagu mootori pöörded, mass, müratase, kiirus ja hind polnud vaja.

Meetodit, kus kasutati hajusandmetega ülesandeid, nimetati *kaheosaliseks ekvivalentsmeetodiks*. Nimetus tuleneb sellest, et ülesannete lahendamisel selle meetodi abil tõstetakse füüsikaline komponent matemaatilise komponendiga samale tasemele. Väitekirja autori arvates lubab antud meetod paremini arendada õpilase transformatiivseid oskusi (probleemi määratlemine; uurimisküsimuse sõnastamine; hüpoteesi püstitamine; uuringu planeerimine; uuringu läbiviimine; andmeanalüüs ja tõlgendamine; tulemuste esitamine) ja regulatiivseid oskusi (õpiprotsessi planeerimine; õpiprotsessi jälgimine; õpiprotsessi hindamine) (De Jong ja Njoo, 1992).

### 3.1.1.3. Kaheosaline ekvivalentsmeetod

Kaheosalise ekvivalentsmeetodi (*binary equivalent solving method – BESM*) korral alustatakse iga ülesande lahendamist ülesande analüüsist, mille käigus on vaja täpsustada algandmeid, selgitada välja, milline on ülesande küsimus, milles seisneb probleem ja miks ei saa kohe küsimusele vastata. Ülesannet analüüsides õpilane abstrahereerib, idealiseerib objekte ja nähtusi, leiab olulised protsessid, otsib lisaandmeid (mälust, õpikust, käsiraamatust, Internetist jne), ignoreerib liigseid andmeid ja tingimusi, mis tulemust oluliselt ei mõjuta, koostab mudelid jne. Tuleb jälgida, et lihtsustatud mudelis ei läheks kaotsi kehade ja nähtuste olulised omadused, mis võiks viia valedele, ebareaalsetele tulemustele.

Kaheosalise ekvivalentsmeetodi võib jaotada etappideks:

- andmete ja probleemi analüüs;
- mudeli või skeemi koostamine/joonistamine;
- andmete kodeerimine (tähistamine) ja ühikute teisendamine;
- omaduste ja nähtuste idealiseerimine;
- liigsete andmete ignoreerimine;
- lisatingimuste ignoreerimine;
- lisaandmete leidmine;
- lahendusmudeli ja lahenduskäigu valik;
- valemite valik;
- võrrandi(te) koostamine;
- ülesande lahendamine;
- tulemuste tõlgendamine ja esitamine;
- mõõtevea hindamine.

Tulemuse tõlgendamise all peetakse silmas ka vastuse reaalsuse hindamist. Instrueerimisel paluti õpetajatel võimaluse korral jälgida, milliseid samme ja milli-

ses järjekorras õpilased teevad, eesmärgiga kontrollida, kas need on sobivad lahendussammud ning esitatud õiges järjekorras.

Tuleb mainida, et hajusandmetega ülesandeid koostati ainult kolmest füüsika valdkonnast: mehaanikast, termodünaamikast ja elektromagnetismist. Selline otsus tehti sellest lähtudes, et nende füüsikaosade puhul oli võimalik sõnastada sobilikke ülesandeid, mis olid seotud reaalse eluga ja õpilaste kogemustega. Valikut mõjutas veel asjaolu, et teiste teemade omandamise püsivust oli võimatu uurida, sest neid käsitletakse reeglina kooli lõpuklassides ning gümnaasiumi lõpetanuid oleks raske või võimatu korduseksperimentideks leida.

### **3.1.1.4. Uurimismetoodika valiidsus ja reliaablus**

Valiidsus tähistab meetoodika kehtivust või adekvaatsust ning näitab, missugusel määral mõõdab meetoodika seda, mille mõõtmiseks on ta ette nähtud (Tooding, 2007; Hinton, 2004; Luik, 2004).

Ankeedi sisuline valiidsus tähendab, et küsimuste vastused mõõdavad seda aspekti, mida nendega mõõta plaaniti (Hinton, 2004). Kuna ankeetküsitluste puhul kasutatakse valiidsuse tagamiseks kõige enam eksperthinnanguid (Mikk, 2002), kontrollisid antud eksperimentides õpilastele ja õpetajatele jagatud ankeetide sisulist valiidsust eksperdid. Erilist tähelepanu pöörati ankeedis kasutatavatele terminitele, et kõik küsimused, sh ka õppemeetodite nimetused, oleks õpilastele üheselt arusaadavad. Ekspertideks kasutati kaht sõltumatut füüsikaõpetajat, kes õpetavad samas kooliastmes, kahte sõltumatut gümnaasiumõpilast ja üht kutsekooliõpilast.

Testide puhul on kõige olulisem sisuline valiidsus, mis toetub ka ekspert hinnangutele (Mikk, 2002). Antud uurimuses kasutati testide sisulise valiidsuse tagamiseks kolme sõltumatu eksperdi abi, kelleks olid füüsikaõpetajad. Väitekirja autor koostas kuus testi erinevatest füüsikavaldkondadest ning õpetajad kontrollisid, kas testid mõõdavad antud teemal õppe-eesmärkideks seatud õpitulemusi. Samas kontrolliti, et testiküsimused kataksid õpetatavat teemat ühtlaselt. Ka hajusandmetega ülesannete katsetamise puhul kontrolliti, kas nad aitavad õpilastel harjutada ja kinnistada just neid oskusi ja teadmisi, mida nõuti vastavas ainetestis.

Reliaablus näitab, milline osa testi tulemuste dispersioonist on tingitud mõõdetavast suuruselt ehk kui hästi langevad kokku kordusmõõtmiste tulemused (Mikk, 2002). Reliaabluse all mõistetakse meetoodika stabiilsust ning meetoodika sisemist kooskõla, mille määramiseks viiakse läbi sama meetoodikaga uurimused erinevatel kontingentidel. Sisemise kooskõla näitajaks on reeglina Cronbachi  $\alpha$  (Tooding, 2007; Hinton, 2004). Nii efektiivsuse valemi otstarbekuse testimiseks kui ka hajusandmetega ülesannete lahendamise mõju kontrollimiseks kasutati samu teste. Testide reliaabluse (sisemise kooskõla) määramiseks arvatud Cronbachi  $\alpha$  oli ainetestide puhul 0,71–0,83.

Ankeetides õppemeetoditele antud hinnangute puhul arvatud Cronbachi  $\alpha$  oli 0,77 ja õpimotivatsioonile antud hinnangute puhul 0,85.

On teada, et meetodika sisemine kooskõla (Cronbachi  $\alpha$ ) peaks olema vähemalt 0,7 ning meetodika stabiilsuse näitaja vähemalt 0,5. Tuginedes Luige doktoritöös (2004) kirjeldatud protsessile ja hinnates seda otstarbekaks ka antud uuringu juures, kasutati meetodika stabiilsuse näitaja leidmiseks järgmist protseduuri. Kahe klassi õpilastele jagati ankeetid ja teatud järjekorranumbriga testid juhusliku valiku põhimõttel, pärast järjestati need järjekorranumbri järgi ning õpilased jaotati kahte rühma. Mõlema rühma puhul arvutati nii ankeedi kui ka eel- ja järeltesti tulemused ühe füüsika valdkonna kohta ning kasutades kovariatsioonianalüüsi leiti ka korrigeeritud järeltestide tulemused. Järgmise sammuna leiti kahe rühma eeltestide, järeltestide, ankeetide ning korrigeeritud testide tulemuste vahelised seosed.

Kahe rühma eeltestide tulemuste vaheline korrelatsioon oli 0,78 ( $p < 0,01$ ), järeltestide tulemuste vaheline korrelatsioon 0,69 ( $p < 0,01$ ) ja korrigeeritud järeltestide tulemuste vaheline korrelatsioon 0,61 ( $p < 0,01$ ). Ankeetidevaheline korrelatsioon oli 0,68 ( $p < 0,01$ ). Antud eksperimentides kasutatud ankeetide näitaja Cronbachi  $\alpha$  polnud väiksem kui 0,77 ning testide näitaja oli vähemalt 0,71. Meetodika stabiilsuse näitaja oli vähemalt 0,61. Ankeetide ja testide valiidsus oli tagatud eksperthinnangutega.

## 3.2. Tulemused ja analüüs

Alljärgnevalt tutvustatakse uuringu tulemusi, mis on osaliselt esitatud artiklites I–IV, ning lisaks esitatakse järeldused, mis osutusid sobimatuks artiklite formaadiga arvestades või on täiendatud lisaeksperimenti ning andmete detailsema analüüsiga. Uurimusest saadud andmete töötlemiseks kasutati läbiviidud uurimises programmi MS Excel ja programmi SPSS 17 statistikapaketti.

### 3.2.1. Õpilaste ja õpetajate hinnangud füüsikaõppe motivatsioonile

**Esimesele uurimisküsimusele** seati uurimisülesanne võrrelda gümnaasiumi-õpilaste ja -õpetajate hinnanguid õppemeetoditele, mis motiveerivad õpilasi füüsikatundides paremini ning seda, kas nende hinnangud meetodite kasutamise efektiivsusele on erinevad. Uurimisküsimusele vastuse saamiseks viidi läbi ankeetküsitlus, milles osales 73 õpetajat ning 1418 õpilast eesti ja vene õppekeelega koolidest. Kuna ei ilmnenud statistiliselt olulist erinevust eesti ja vene õppekeelega koolide vahel (õpilased:  $r = -0,12$ ,  $p < 0,05$ ; õpetajad:  $r = 0,23$ ,  $p < 0,05$ ), ning linna- ja maakoolide vahel (õpilased:  $r = 0,24$ ;  $p < 0,05$ ; õpetajad:  $r = 0,11$ ,  $p < 0,05$ ), siis neid faktoreid ignoreeriti ja andmeanalüüsiks kasutati kõiki saadud andmeid. Leiti statistiliselt olulisi erinevusi õpetajate ja õpilaste hinnangutes motivatsioonile ja kasutatavate õppemeetodite efektiivsusele (Mann-Whitney testiga  $< 0,05$ ).

Ankeetküsitluse eesmärgiks oli välja selgitada õpetajate ja õpilaste hinnangud füüsikatundides kasutatavatele õppemeetoditele, ning saada teada, milliseid tegureid peavad õpetajad ja õpilased olulisteks füüsikaõppe motivatsiooni tõstmisel ja millised õppemeetodid on nende hinnangul efektiivsemad (annavad teadmisi juurde).

Väitekirja autor peab oluliseks mainida, et küsimustiku tulemused, mis olid võetud aluseks edasise uurimuse planeerimiseks, pärinevad aastast 2006, seega ei pruugi nad peegeldada tänapäeva reaalsust.

Selgus, et õpilaste hinnangute keskmised ei erinenud oluliselt õpetajate hinnangute keskmistega võrreldes sellise meetodi efektiivsuse osas nagu ülesannete lahendamine (Mann-Whitney testiga  $< 0,05$ ).

Õpetajate ankeetküsitlusest tuli välja, et õpetamismeetoditest kasutavad õpetajad kõige rohkem seletamist ja katsete näitamist (80% õpetajaist), ülesannete lahendamist (80%), õpilase iseseisvat tööd õpiku ja töövihikuga (20%), laboritööd (20%), rühmatööd (20%), loeng-presentatsiooni (10%). Teiste meetodite (näiteks õpilaste iseseisvate katsete, diskussiooni, uurimistöö, ajurünnaku, ekskursiooni, arvutipõhiste õpiprogrammide) kasutamine jäi alla 3%. Põhjusiks, miks kasutatakse suhteliselt vähe laboritööd ja katseid, toob enamik õpetajaid (82%) esile katseseadmete vähesuse. Alternatiivina soovitatakse kasutada õpetavaid arvutiprogramme ja simulatsioone. Seda infokanalit peetakse perspektiivikaks näiteks selliste teemade käsitlemisel, nagu *aatomifüüsika*, *tuumafüüsika*, *kosmoloogia*. Lisainformatsioonina peab väitekirja autor vajalikuks välja tuua asjaolu, et viimastel aastatel on tekkinud erinevaid võimalusi: on avatud Eesti füüsikaportaali (2008), kust saab vaadata ja uurida ETVs tehtud õppefilme ning kasutada videoloenguid; teaduskeskus AHHAA (2011) korraldab loodusteaduslikke näitusi ja üritusi äsja valminud hoones, populaariseerimistööd teeb ka teadusbuss Suur ja Väike Vanker (2010), korraldatakse gümnaasiumi füüsika õpikodasid (2009).

Antud uurimuse ankeetküsitluse põhjal polnud statistiliselt olulist erinevust õpilaste ja õpetajate hinnangutes füüsikatunnis realselt kasutatavatele õppemeetoditele (Mann-Whitney testiga  $> 0,05$ ).

Sellise küsimuse osas nagu millised olid arvamused õppemeetodite kohta, mis õpilasi rohkem motiveerivad või tekitavad huvi füüsika õppimise vastu, ei olnud õpetajad ja õpilased üksmeelsed. Uuringu tulemused näitasid, et õpetajate arvates tõstavad õpilaste füüsikaõppe motivatsiooni kõige rohkem õpetaja kompetentsus (83%), laboritööde tegemine (62%), multimeedia vahendite kasutamine abstraktsete teemade käsitlemisel (21%). Õpetamismeetoditest hinnati kõrgelt aktiivõppe meetodeid, kuid nende praktilisel rakendamisel ollakse tagasihoidlikud. Suurem osa õpetajatest (90%) arvab, et aktiivõppe meetodid tõstavad õpimotivatsiooni, kuid staažikamad õpetajad rõhutavad ka traditsiooniliste õppemeetodite olulisust (korrelatsioon:  $r = 0,54$ ,  $p < 0,05$ ).

Aktiivõppe meetodite all peavad õpetajad silmas järgmist (kirjapilt muutmata):

Mõned õpetajad rõhutasid õpilaste sotsiaalsete oskuste arendamist ning visuaal-verbaalse, verbaal-lingvistilise, audio-verbaalse ning interpersonaalse jne õpistiili toetamist:

*Õpilased tunnis kaasa mõtlevad, räägivad;*

*Erinevad mõtlemist aktiveerivad strateegiad, diskussioon, ajurünnak jne.;*

*Väiksem rõhk faktiõppel, rohkem avastamist, grupitööd jne;*

*Rühmatööd (diskussioon, TTS-tabel, mõiste- ja definitsioonikaardid, Venni diagrammid, tõhustatud loeng, insert-lugemine, ümarlaud, jalutus-käik galeriis, ühine analüüs, ajurünnak, laboratoorsed tööd);*

*Kirjutavad essee, lugusid; õppeesmärgilised mängud;*

*Seminarivorm teemade käsitlel;*

*Referaatide ettekandmine, konverentside korraldamine.*

Teised õpetajad leiavad, et on vaja pöörata tähelepanu õpilaste iseseisvusele (kehalis-kinesteetilise, loogilis-matemaatilise, visuaal-mitteverbaalne jne õpistiil):

*See tähendab, lahendab probleemi, otsib teavet, uurib mudelit või teeb uurimuslikku katset; Õpilased jõuavad katsete, lab. tööde või tööjuhendite abil ise (individuaalselt või rühmatööna) vajalike järeldusteni. Õpetaja oleks suunaja ja heakskiitja;*

*Õpilane on otsija, leidja ja avastaja rollis;*

*Teevad praktilisi töid, lahendavad ülesandeid;*

Tehti ettepanekuid, mis olid uurimuslikule õppele suunatud:

*Õpilased saaksid ise teha katseid, praktilisi töid; et nad suudaksid õpitut näha ka hoopis teistes situatsioonides, kui klassis üles antud; projektõpe;*

*Õpilane ise on aktiivselt kaasatud uue materjali õppimises ja uurib seda, sobivaid katseid sooritades ja tulemuste põhjal järeldusi tegema;*

*praktilise sisuga ülesannete lahendamine, praktikumid (laboratoorsed tööd katsevahenditega).*

Mõned tähelepanekud interpersonaalse tegevuse kohta:

*Osa õpilaste individuaalsele tööle suunatud meetodid;*

*Töötavad ise materjaliga;*

*Õpilaste iseseisev mõttetgevus uute tulemusteni jõudmisel;*

*Sellised meetodid, mis suunavad õpilast iseseisvalt omandama teadmisi ja oskusi;*

*Iseseisev töö kirjanduse ja arvutiga;*

*Igasugused järeldused ja kirjeldused, materjali leidmised ja otsused, olgu või kasutades õpiku abi.*

Praktilistele tegevustele suunatud:

*Aktiivõppe meetodite kasutamise korral omandavad õpilased teadmisi praktiliste tegevuste käigus;*

*Õppekäigud, õppekursioonid väljaspool kooli tegeliku rakendustega tutvumiseks.*

Paljud õpetajad olid üksmeelel selles, et *aktiivõppe on igasugune õpilase tegevus, kus ta on aktiivselt ainet omandamas.*

Toetudes saadud tulemustele ning arvestades seni tehtud uuringute tulemusi kasutati neid arvamusi viiendale uurimisküsimusele (Kas hajusandmetega ülesanded motiveerivad õpilasi rohkem ning suurendavad füüsikaõppe efektiivsust?) vastamiseks.

Õpetajate ja õpilaste hinnangute põhjal õppemeetodite kohta, mis meeldivad õpilastele kõige rohkem leiti statistiliselt olulisi erinevusi (Mann-Whitney testiga  $< 0,05$ ). Selgus, et õpilaste hinnangute keskmised olid võrreldes õpetajate hinnangute keskmistega kõrgemad selliste motivatsiooni mõjutavatele faktorite korral nagu teema huvitavus ja teoreetilise materjali seos reaalse eluga.

Õpilaste ankeetküsitlusest tuli välja, et kõige rohkem meeldib õpilastele katsete (78%) ja filmide vaatamine (63%) ning ekskursioonid (30%). Üheks põhjuseks saadud tulemusele võib olla fakt, et õpilased hindasid ankeetküsitluses oma ootusi õppemeetodile kõrgemalt, võrreldes realselt kasutatavate meetoditega (Wilcoxon'i testiga  $p < 0,01$ ).

Mainiti ka multimeedia võimalusi füüsikatunnis: virtuaalsed katsed, simulatsioonid ja arvutipõhised õppematerjalid (43%).

Õpilaste arvates (niimoodi arvab 80% vastanutest) kasutavad õpetajad kõige enam loengu-tüüpi tunde, näitavad katseid (65%) ja lahendavad ülesandeid (60%). Samas arvavad nad, et kõige efektiivsem õppimisviis on iseõppimine ( $M = 4,82$ ,  $p < 0,05$ ).

### **3.2.2. Füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmisvahend**

Teisele uurimisküsimusele seati uurimisülesanne võrrelda omavahel teadaolevaid füüsikaõppe-efektiivsuse määramise mudeleid (esitatud peatükis 2.1.) ja pakkuda oma matemaatiline mudel ning katsetada selle rakendamisvõimalusi. Põhilised tulemused on esitatud artiklites II ja IV.

Eesmärgiga pakkuda füüsikaõpetajatele korruga nii lihtsat kui ka normeeri-  
tud vahendit füüsikaõppe efektiivsuse määramiseks küsiti õpetajate arvamust  
selle kohta, mida nad peavad silmas efektiivsuse all ning kuidas nad seda mõõ-  
davad.

Järgnevalt tuuakse mõned õpetajate kategoriseeritud ettepanekud, mis on seotud  
antud töö kontekstiga (kirjapilt muutmata):

**Tabel 1.** Õpetajate arvamused, mis tähendab füüsikaõppe efektiivsus (N = 73)

Õppimisele kulutatud aeg	<i>saavutatud tulemus/kulutatud aeg; ettenähtud aja jooksul omandavad õpilased nõutavad teadmised <math>N = A/t</math>; Vähema ajaga saab rohkem selgeks; Kui materjali õpetamisele kulub ebaloomulikult palju aega ja energiat ning tulemus on pigem küsitav õpilase seisukohast, siis see ei ole efektiivne; õpilane omandab midagi uut suhteliselt kiiresti jne</i>
Teadmiste püsivus	<i>Etteantud aja jooksul omandatud teadmised on püsivad, kui faktid ununevad, siis meenuvad vajalikud seosed ja seaduspärasused; kui kiiresti kui palju õigesti selgeks saab; Hästi seostatud mõisted teadmi- sed püsivad kauem meeles; Peale õppimist ei unune asi paari päevaga; Minimaalse närvikuluga parim püsiv teadmiste hulk; et see ka meelde hiljemaks jääks; teadmiste ja oskuste püsivus jne</i>
Seos reaalse eluga	<i>Teadmised kinnistuvad oskusteks, kui neid saab ka praktikas kasutada; Teemast on ülevaade, aru saamine, oskab tuua näiteid elust, paneb edasi mõtlema; Et lapsed õpitust aru saaksid, seda kasutada oskaksid; kaasneb mingi emotsionaalne külg (kogemuslik); luua seosed varemõpitudga nii, et uus kinnistuks meeldejäädvalt jne</i>
Mõistmine	<i>Õpitava mõistmine ja mälu salvestamine kõige väiksema vaevaga; kui õpilane hakkab mõistma ja aru saama tema ümber toimuvast; koos- õppimine ja paarilisega mõistlik arutamine; oskab pärast teoreetilisi teadmisi rakendada jne</i>

Saadud vastused kategoriseeriti ning töötati välja ja katsetati (vahemikus 2003–  
2006), tuginedes oma kogemusele ja läbi viidud katsetustele, efektiivsuse valem  
(Ganina ja Voolaid, 2007a, 2007b):

$$E = T_j - T_e \quad [3]$$

kus  $T_e = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n}$  – eeltesti keskmine tulemus (  $N$  on vastanud õpilaste arv,  
 $n$  küsimuste arv testis ja  $n_i$  ühe õpilase poolt antud õigete vastuste arv);

$T_j = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n}$  – järeltesti keskmine tulemus (  $N$  on vastanud õpilaste arv,  
 $n$  küsimuste arv testis ja  $n_i$  ühe õpilase poolt antud õigete vastuste arv).



Selliselt leitud efektiivsuse  $E$  väärtused on normeeritud ning jäävad vahemikku  $-1$  ja  $1$ . Tasub mainida, et suuremas osas jääb efektiivsuse valemi tulemus ikkagi vahemiku  $0 \leq E \leq 1$ .  $E$  negatiivne väärtus peaks tähendama, et järeldestide tulemused on madalamad kui eeltesti tulemused, ehk toimunud õpetamisega teadmised halvenesid. See fakt väärrib loomulikult tähelepanu vääramis- ja teadmiste tekkimisel õppimise jooksul.

Valemi kasutamist võrreldi alapeatükis 2.1 kirjeldatud mudelitega ning saadud tulemusi kontrolliti korrelatsiooni analüüsiga. Kõige lähedasemaks mudeliks osutus eel- ja järeldestide keskmiste tulemuste esitamine ning nende vahe (*Chang*'i või *Gain*'i) kasutamine ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,00$ ). Kuid antud töös tuletatud valemi kasuks räägib fakt, et antud vahendi kasutamise korral pole vaja võrrelda erineva kallakuga teste (kus nende maksimaalsed piirid on erinevad ning vastavate tabelite uurimine võtab palju aega), valem annab kohe normeeritud tulemuse vahemikus  $-1$  ja  $1$  (Ganina ja Voolaid, 2007; 2008; 2008a; Ganina jt, 2009). Tulemused on esitatud artiklites I, III ja IV.

Paljudel õpetajate poolt pakutud efektiivsuse määramise mudelites (Tabel 1.) oli selline faktor nagu „Aeg“ (nii õppimise ka teadmiste püsivus), väitekirja autori kõik võimalikud katsetused arvestada selle faktoriga valemi tuletamisel ei toonud kaasa korralikku matemaatilist mudelit. Otsustati piirduda sellise ajalise komponendiga, et uue õppemeetodi või -vormi katsetamisel ei kulu üldjuhul rohkem aega konkreetse teema õpetamisele kui kontrollrühmal ning lisaeesmärgiks seati vaadelda teadmiste püsivust (unustamise kõverana) pikaajalise eksperimentina. Põhilised tulemused on esitatud artiklites III ja IV.

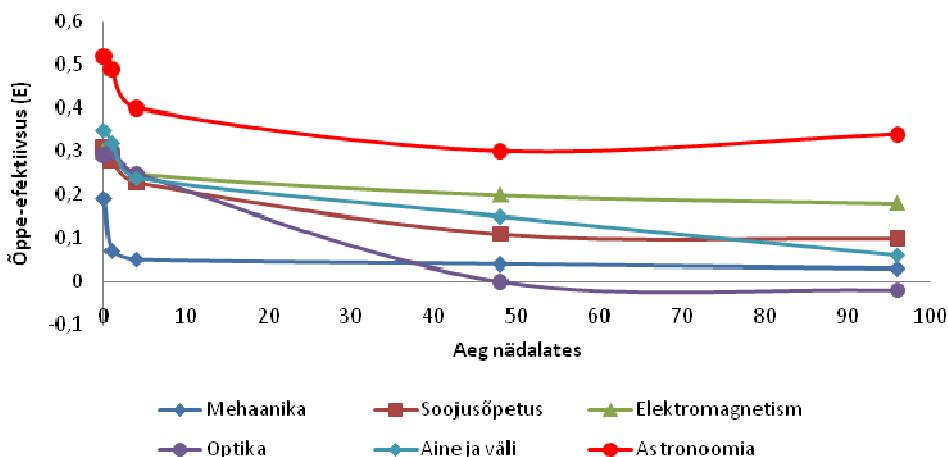
Saadud tulemused on esitatud järgnevalt.

**Tabel 2.** Füüsikaõppe efektiivsus erinevates füüsika valdkondades erinevate ajavahe-  
mikega (Kus  $E_0$  – õppe efektiivsus kohe peale teema läbimist;  $E_1$  – õppe efektiivsus  
nädala pärast;  $E_2$  – õppe efektiivsus kuu aja pärast;  $E_3$  – õppe efektiivsus aasta pärast;  $E_4$   
– õppe efektiivsus kahe aasta pärast).

	Efektiivsus*				
	$E_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$
Mehaanika	0,19	0,07	0,05	0,04	0,03
Soojusõpetus	0,31	0,28	0,23	0,11	0,10
Elektromagnetism	0,30	0,30	0,25	0,20	0,18
Optika	0,29	0,30	0,25	0,00	-0,02
Aine ja väli	0,35	0,32	0,24	0,15	0,06
Astronoomia	0,52	0,49	0,40	0,30	0,34

\* $p < 0,05$

Järgneval joonisel näidatakse, kuidas näevad välja erinevate teemade unustamiskõverad (Ebbinghaus, 1885). Joonisel on toodud kaheaastased õppe-efektiivsuse tulemused (aeg on esitatud nädalates).



**Joonis 2.** Kaheaastase uuringu tulemused: gümnaasiumi füüsikaõppe efektiivsuse unustamiskõverad.

Tabeli ja graafiku andmetest saab järeldada, et kõige kiirem unustamine toimub esimese aasta jooksul, edaspidi teadmiste tase märkimisväärselt ei muutu. Olulisel määral langeb see tulemus kokku klassikalise Ebbinghausi unustamiskõveraga (Ebbinghaus, 1885).

Unustamiskõverate võrdlusest ja tabeli 2 andmetest võib järeldada, et kõige suurem õppe-efektiivsus on astronoomia osas (0,52). Unustamiskõver näitab, et teadmised on ka püsivamad. Kõvera lõpus olev tõus vajab lisauurimist: jäi antud uurimisest väljapoole. Kuigi võib oletada, et see teema on õpilastele huvitav olnud ja lisateadmisi nad saavad näiteks avalikust meediast.

Kõige madalam õppe-efektiivsus on mehaanika õpetamisel (0,19). Seda tulemust võib arvatavasti selgitada asjaoluga, et põhikoolis oli suurem osa õpetatavast materjalist läbitud ja gümnaasiumi osas palju uut infot juurde ei tulnud. Mehaanika eeltesti tulemused olid kõige kõrgemad.

Tähelepanu väärib see fakt, et optika aineosa unustamiskõver langeb järsult ja juba aasta pärast on õppe-efektiivsus selles valdkonnas negatiivne (-0,02). Sama järsk langus on ka teema „Aine ja väli“ juures. Autori arvates käsitletakse neid teemasid koolis liiga teoreetiliselt või polnud õpilastel pärast õppimist võimalust ega tahtmist (nagu astronoomia teema korral) oma teadmisi täiendada. See fakt vajab põhjalikumat uurimist.

Huvitava tulemusena ilmnis see, et mehaanika ja elektromagnetismi teemade unustamiskõverate kuju on väga sarnane, ehk unustamine toimub sama seaduspärasuse järgi.

Antud uurimuse läbiviimisel küsiti õpetajatelt, milliseid õppemeetodeid olid nad valdavalt antud teema käsitlemisel kasutanud. Selleks, et teha kindlaks need faktorid, millised võiksid oluliselt mõjutada õppe-efektiivsust, teostati korrelatsioonianalüüs. Analüüsi tulemustest võib teha järgmised järeldused.

Esines tugev korelatsioon õppeasutuse ja õppe-efektiivsuse vahel, vastav korelatsiooninäitaja on  $r = 0,86$ ,  $p < 0,05$  (lineaarkorelatsiooni kasutamise õigsust kontrolliti hajuvusdiagrammidena, vastav determinatsioonikordaja on  $R = 0,74$ ). See näitas, et gümnaasiumi õpilastel oli õppimine tunduvalt efektiivsem kui kutsekoolides õppijatel. See tulemus võib tunduda triviaalsena, kuigi otsustati seda aspekti rõhutada. Pärast kutsekooli lõpetamist on õppijal õigus sooritada füüsika riigieksam ja minna edasi õppima. Uurides Eesti riikliku õppekava füüsika ainekavasid (Riiklik õppekava, 2011), selgus, et suuremas osas nad langevad kokku. Kui võrrelda gümnaasiumi ja kutseõppeasutuste õppekavasid, siis üldjuhul nad on samasugused, teemade mahud on samad ja aega teemade läbimiseks on ettenähtud sama palju. Millised faktorid põhjustavad siis väga madala õppe-efektiivsuse? Üheks põhjuseks on arvatavasti see, et traditsiooniliselt tulevad kutsekoolidesse madalama õppeedukusega õpilased. Teiseks põhjuseks võib olla see, et kutseõppeasutustes käib õpetamine perioodide kaupa, st väga lühikese aja jooksul läbitakse intensiivselt kogu teema või kursus (reeglina üks füüsika osa viie nädalaga, gümnaasiumis on selleks ette nähtud neli-viis kuud). Seda argumenti toetab antud uuring – füüsika õpetamise efektiivsus kohe pärast teema läbimist oli kutsekoolis õppijatel ainult 10% madalam kui gümnaasiumi õpilastel, aga järgmistel etappidel efektiivsus langes järsult, sõltumata füüsika osast. See tähendab, et probleem on teadmiste püsivusega, arvatavasti käib õpilastel õppimine järgmise skeemi järgi: õpin – vastan – unustan. Tasub rõhutada, et see on käesoleva töö autori subjektiivne arvamus, mis vajab põhjalikumat uurimist. Kolmandaks põhjuseks võib olla see, et kutseõppeasutustel on traditsiooniliselt prioriteediks erialaainete õpetamine, nn üldained jäävad õpilastel tagaplaanile ja motivatsioon nende õppimiseks on madalam. Töö autor arvab, et kutseõppeasutustes võiks üldainete õpetamine võrreldes gümnaasiumiga efektiivsem olla just selletõttu, et on võimalik seostada õpetavat ainet tulevase erialaga ja arvestada õppijate huvidega. Selle eesmärgi saavutamiseks peab õpetaja tegema palju tööd ja autori arvates on toetavad seda rakenduslikud ülesanded, laboritööd ja uurimistööd.

Tüdrukutel, kes õpivad gümnaasiumis, olid parimad tulemused teemade *mehaanika* ning *aine ja väli* osas: vastavad korelatsioonid on 0,7 ( $p < 0,05$ ) ja 0,55 ( $p < 0,05$ ). Tasub mainida, et võrreldes kutsekooli neidudega oli gümnaasiumis õppivate tüdrukute õppe-efektiivsus optika osas 38% kõrgem.

Huvitava tulemusena ilmnes, et poistel, sõltumata sellest, kas nad õppivad gümnaasiumis või kutsekoolis, oli õppimise efektiivsus suurem, kui õppetöö käigus viidi läbi arvutipõhiseid uurimis- või laboritöid:  $r = 0,71$ ,  $p < 0,05$ .

Rühmades/klassides, kus õppetöö käigus üle poole õppetunnist kulutakse ülesannete lahendamisele ei olnud õppe-efektiivsus suurem kui teistel rühmadel:  $r = 0,26$ ,  $p < 0,05$ . See oli huvitav tulemus edaspidiseks uurimiseks: kas ülesannete lahendamine peaks suurendama füüsika õpetamise efektiivsust. Arvatavasti oli siin tegu nn ülesannete formaalse lahendamisega, kuid põhjalikult plaaniti kontrollida, kas ülesannete lahendamine uue meetodika järgi suurendab efektiivsust. Tugev korelatsioon esines soo ja nn teadmistega seotud küsimuste

vahel:  $r = -0.8$  ( $p < 0,05$ ), st tüdrukud vastasid paremini küsimustele, kus oli vaja leida kas õige valem, mõõtühik või defineerida mõiste. Selline traditsiooniline tulemus, et tüdrukutel on paremad tulemused teadmiste osas, suunas autorit uurima, kas sama tendents säilib, kui õpetamise käigus lahendatakse hajusandmetega ülesandeid.

Tuginedes õpetajate ankeetküsitluse ning pilootuuringu tulemustele, katsetati uut tüüpi ülesannete – hajusandmetega ülesannete lahendamist.

Alljärgnevalt tuuakse välja selle uurimuse tulemused.

### 3.2.3. Hajusandmetega ülesannete lahendamise mõju füüsikaõppe efektiivsusele

Kolmandale, neljandale ja viiendale uurimisküsimustele seati uurimisülesandeks võrrelda traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamise mõju teadmiste ja oskuste omandamisele, võrrelda nende ülesannete lahendamise mõju teadmiste püsivusele ning leida hajusandmetega ülesannete mõju füüsikaõppe efektiivsusele.

Olulise vahetulemusena võib välja tuua hajusandmetega ülesannete lahendamise strateegia, kaheosalisega ekvivalentsmeetodi (esitatud alapeatükis 3.1.1.3) väljatöötamist, mis toob füüsika ülesannete lahendamisel füüsikalise sisu ja olulisuse esile ning lubab minimaliseerida ülesannete lahendamise liigse formaalsuse.

Alljärgnevas tabelis tuuakse välja poiste ja tüdrukute eel- ja järeltestide keskmised tulemused, see annab põhjalikuma ülevaade sellest, kuidas testide tulemused sõltuvad õppija soost.

**Tabel 3.** Kontroll ja eksperimentaalrühma keskmised (M) eel- ja järeltesti tulemused (1st 10ni).

Rühm	sugu	n	eeltest		järeltest		Vahe
			M	SD	M	SD	
Eksperimentaalrühm	poiss	156	3,84	0,27	8,12	0,43	+4,28*
	tüdruk	144	4,23	0,33	7,14	0,38	+2,92*
	<b>kokku</b>	<b>300</b>	<b>4,04</b>	<b>0,37</b>	<b>7,76</b>	<b>0,44</b>	<b>+3,36*</b>
Kontrollrühm	poiss	158	4,01	0,30	6,01	0,35	+2,02*
	tüdruk	162	3,85	0,31	5,86	0,37	+2,02*
	<b>kokku</b>	<b>320</b>	<b>3,93</b>	<b>0,33</b>	<b>5,94</b>	<b>0,32</b>	<b>+2,01*</b>

\*statistiliselt oluline olulisusnivool  $p < 0,001$

Saadud tulemustest saab järeldada, et eksperimentaalrühmas, kus kasutati hajusandmetega ülesandeid, suurenes õppe-efektiivsus statistiliselt olulisel määral.

Selgus, et poistele sobisid hajusandmetega ülesanded paremini, järeltestide keskmised näitajad kontroll- ja eksperimentaalrühmas on vastavalt 6,01 ja 8,12 (+4,28,  $p < 0,001$ ). Tüdrukutel on samad näitajad vastavalt 5,86 ja 7,14 (+0,02,  $p < 0,001$ ).

Arvestades sellega, et tabelisse 3 on koondatud kõigi kolme füüsikaosa – mehaanika, termodünaamika ja elektromagnetism – tulemused, on otstarbekas esitada need tulemused ka teemade kaupa. Kuna eelnevalt tõestati, et nii eel- kui ka järeltestide tulemused ning nende vahe on tugevas omavahelises korrelatsioonis ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,00$ ) efektiivsuse valemiga, esitatakse see tulemus efektiivsuse valemist lähtudes.

Tõestati, et hajusandmetega ülesanded suurendavad füüsikaõppe efektiivsust: õppe-efektiivsus suureneb kõikidel teemadel uue lahendamismetoodika rakendamisel keskmiselt 20% võrra.

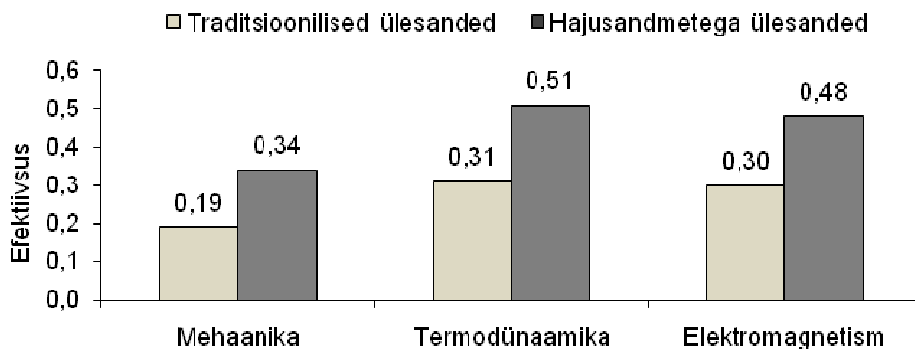
Järgnevas tabelis esitatakse eel- ja järeltestide tulemused ning valemiga arvatud õppe-efektiivsus [3].

**Tabel 4.** Kontroll ja eksperimentaalrühma keskmised eel- ja järeltesti tulemused õpetavate teemade kaupa statistiliselt olulisusnivool  $p < 0,001$ . (vt valem [3];  $E_k$  – õppe-efektiivsus kontrollrühmas,  $E_e$  – õppe-efektiivsus eksperimentaalrühmas).

	Kontrollrühm n = 320			Eksperimentaalrühm n = 300		
	$T_e$	$T_j$	$E_k$ (SD=0,04)	$T_e$	$T_j$	$E_e$ (SD=0,04)
Mehaanika	0,41	0,59	0,19	0,39	0,74	0,34
Termodünaamika	0,27	0,58	0,31	0,32	0,81	0,51
Elektromagnetism	0,20	0,50	0,30	0,19	0,68	0,48

Selgus, et füüsikaõppe efektiivsus eksperimentaalrühmas ( $E_e$ ), kus kasutati kõikide õpetavate teemade läbimisel hajusandmetega ülesandeid, on keskmiselt 0,44, kontrollrühmas ( $E_k$ ) aga 0,27.

Alljärgneval diagrammil esitatakse eksperimendi koondtulemusena traditsioonilise ja kaheosalise ekvivalentsmeetodi (kirjeldatud alapeatükis 3.1.1.3) kasutamise võrdlus.



**Joonis 3.** Õppe-efektiivsuste võrdlus mehaanika, termodünaamika ja elektromagnetismi teemade õpetamisel traditsioonilise ja kaheosalise ekvivalentsmeetodiga (SD = 0,04).

Tähelepanu väärrib fakt, et kõige väiksem oli õppe-efektiivsus mehaanikas: 0,19 kontrollrühmas ja 0,34 eksperimenterühmas. Antud tulemust põhjustavaid faktorid vajavad lisauuringuid. Kõige suurem õppe-efektiivsus oli termodünaamika õpetamisel: kontrollrühmas 0,31 ja eksperimenterühmas 0,51.

Selleks, et teha kindlaks, millised faktorid olid omavahelises seoses, teostati korrelatsioonianalüüs (lineaarse korrelatsiooni õigsust kontrolliti hajusdiagrammide ja determinatsioonikordajatega).

Poiste tulemused olid paremad, kui küsimusele oli lisatud pilt ja küsimuses kasutati graafikut kui küsimuse konteksti ( $r = 0,64$ ,  $p < 0,05$ ). Huvitava tulemusena ilmnes, et poiste vastuste kohaselt olid küsimused, kus oli lisatud pilt, skeem või graafik nende arvates liiga kerged ning tekitasid tunde, et need on kahtlased küsimused. Olid sellised kommentaarid: „*Kas on nipiga küsimus?*“; „*Kas siin on mingi tera sees?*“; „*Nalja teete – on ju graafikust näha!*“ jmt.

Selgus, et järeltesti tulemused olid kõrgemad eksperimenterühmas ( $r = 0,74$ ,  $p < 0,05$ ). Huvitava tulemusena ilmnes, et järeltestide puhul andsid poisid rohkem selgitusi vastuse valiku põhjendamiseks ( $r = 0,64$ ,  $p < 0,05$ ), kuid selgituste õigsus kontrollrühmas ei olnud sooga seotud ( $r = 0,12$ ,  $p < 0,05$ ) ja oli keskmises seoses eksperimenterühmas ( $r = 0,53$ ,  $p < 0,05$ ). Seega andsid poisid, kes lahendasid füüsikatundides hajusandmetega ülesandeid rohkem õigeid selgitusi järeltestis valitud vastustele. Siin tasub rõhutada, et selgituse eest lisapunkte ei antud. Õigeks seletuseks loeti need variandid, kus õpilane kasutas õiget lahenduskäiku, õiget seaduspärasust, ühikute teisendamist ja valemist tuletamist. Selgitustega taheti kontrollida, milliseid lahendamistrateegiaid õpilased kasutasid. Kuna eksperimenterühmas andsid poisid vastustele rohkem õigeid selgitusi, võib järeldada, et hajusandmetega ülesanded arendavad analüüsioskust ning julgustavad õpilasi neid kasutada.

Järeltestide tulemused olid eksperimenterühmas kõrgemad, kui hajusandmetega ülesandeid lahendati kas paaris- või grupitööna ( $r = 0,71$ ,  $p < 0,05$ ). See tulemus väärrib õpetajate tähelepanu õppetöö planeerimisel, arvatavasti soovivad õpilased teha rohkem koostööd ja klassikaaslastega ülesannete lahenduskäiku arutada.

Eesmärgiga leida vastus kolmandale uurimisküsimusele, kategoriseeriti järeltestide tulemusi kahe tunnuse järgi: teadmistega seotud küsimused („Teadmised“) ja rakendamisküsimused („Rakendamine“). Järgnevalt tuuakse erinevate tunnuste vahelised korrelatsioonid, kus lühendiga K tähistatakse kontrollrühma, milles ülesannete lahendamiseks kasutati traditsioonilist meetodit ja lühendiga E tähistatakse eksperimenterühma, milles lahendati hajusandmetega ülesandeid (vastavad koodid olid 1 ja 2).

**Tabel 5.** Õpilaste testide tulemuste vahelised korrelatsioonid (K – kontrollrühm, E – eksperimentaalrühm).

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. Rühm (K, E)						
2. „Teadmised“	0,11*					
3. „Rakendamine“	<b>0,34**</b>	0,21*				
4. Eeltesti selgituse olemasolu	0,03	0,16	0,01**			
5. Järeltesti selgituste olemasolu	<b>0,32**</b>	-0,13	0,30	<b>0,48**</b>		
6. Sugu	-0,01	<b>-0,57*</b>	<b>0,58*</b>	0,12	<b>0,64*</b>	
7. Klass	0,12	0,24	0,38*	-0,03	-0,08	0,02

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,001$

Mõtlemapanev on fakt, et teadmiste ja nende rakendamise tulemused ei ole omavahelises statistilises seoses ( $r = 0,38$ ,  $p < 0,05$ ). Üheks võimalikuks selgituseks võib olla asjaolu, et siin olid koos nii kontroll- kui ka eksperimentaalrühma tulemused ning poiste ja tüdrukute tulemused. Antud fakt jääb väljapoole antud uuringu uurimisküsimustest, kuid autori arvates vajab edaspidist uurimist. Olulise faktina ilmnes, et nii kontroll- kui ka eksperimentaalrühma vastused „Teadmiste“ rubriigi küsimustele oluliselt ei erinenud ( $r = 0,11$ ,  $p < 0,05$ ). Sellele tulemusele tuginedes võib vastata antud uurimuse kolmandale uurimisküsimusele positiivselt: füüsikaülesanded, mis on seotud reaalse eluga, on faktide ja teadmiste omandamisel sama efektiivsed kui traditsioonilised ülesanded.

Neljandale uurimisküsimusele, kas esineb erinevusi traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamisel omandatud teadmiste ja oskuste püsivusel, on võimalik korduvatele järeltestidele tuginedes anda positiivne vastus. Võrreldes kontrollrühmaga olid eksperimentaalrühma kõikide järeltestide tulemused keskmiselt 20% võrra kõrgemad.

## Lisauuringute tulemused

Eesmärgiga veenduda, et traditsioonilisi ülesandeid, kus algandmeid on sama palju, kui lahendamiseks vaja läheb, lahendavad õpilased mehaaniliselt, ilma sisule mõtlemata, viidi läbi lisauuring (Ganina jt 2011). Kolmekümnel õpilasel paluti lahendada traditsioonilisi füüsikaülesandeid portugali või ungari keeles, eelnevalt veendudes, et õpilased neid keeli ei oska. Lahendamiseks pakuti mehaanika ja elektriõpetuse valdkonna ülesandeid, õpilased ei olnud veel need teemasid õppinud, kuid neil oli võimalus kasutada füüsika käsiraamatut (Tarkpea, Voolaid, 2002). Järgnevalt esitatakse ühe sellise ülesande näidis (portugali ja ungari keelde olid tekstid tõlgitud Google.com Translatoriga ning tekstid pole läbinud keelelist korrektuuri).

*Eesti keeles: Arvutada vooluringi takistus, kui on teada, et voolutugevus on 6A ja pingeline 12V.*

*Portugali keeles: Calcule a resistência do circuito, como é conhecido que a intensidade de corrente é 6A, ea tensão 12V.*

*Ungari keeles: Számítsuk ki a rezisztencia, mert ismert, hogy a jelenlegi erőssége 6A, és a feszültség 12V.*

Huvitava tulemusena saab esile tuua asjaolu, et õpilased said ülesannete lahendamiseks hakkama (26 õpilast kolmekümnest lahendasid ülesande õigesti, kasutades selleks Ohmi seadust). Olulise märkusena tasub lisada, et antud eksperiment oli korraldatud spontaanselt, ning selle tulemused ei ole statistiliselt tõestatud. Kuna antud lisauuring ei olnud otseselt seotud hajusandmete ülesannete mõjuga füüsikaõppe efektiivsusele, otsustati neid tulemusi mitte arvestada. Sellele vaatamata oleks huvitav edaspidistes uurimustes seda aspekti põhjalikumalt vaadelda.

Need lisauuringud olid korraldatud esiteks meetodika toimimise kontrollimiseks, teiseks põhjustas neid töö autori huvi teema vastu ja kolmandaks aitasid need leida võimalikke suundi edaspidisteks uuringuteks.

### **Õpilaste ja õpetajate arvamused**

Uurimise lõpus paluti õpilastel ja õpetajatel anda subjektiivne hinnang hajusandmetega ülesannete kasutamisele. Nende arvamused olid esitatud kirjalikult ning vastajatele oli tagatud anonüümsus. Järgnevalt esitatakse mõned õpilaste kommentaarid hajusandmetega ülesannete kohta (kirjapilt muutmata). Fakt, et need hinnangud ei ole kategoriseeritud, vajab selgitamist. Tegemist on vahetulemusega, mis vajab väitekirja autori arvates ülesande täpsemat püstitust, ühtse eksperimenditausta tagamist ja põhjalikumat uurimist, seega võivad järgnevad kommentaarid olla aluseks edaspidisele uurimisele ning ülesannete optimaalsemale sõnastamisele (Artiklid II ja IV).

*Ülesannete ülesehitus on väga huvitav! Ülesanded on elulised, mis on tore, sest tekitab rohkem huvi! Viis, kus on andmed eraldi välja toodud on hea, sest see annab ülesandest endast parema ülevaate ja tekitab vähem segadust.*

Mõned kommentaarid olid konstruktiivse kriitikaga, kus märgiti ära probleemseid kohad:

*Liigsed andmed võivad segadusse ajada, samas on nad naljakad ja annavad võimaluse läheneda ülesande lahendamisel teise nurga alt.*

*Ülesanded on väga huvitavalt üles ehitatud ning omapärasel laadis – enne andmed, seejärel ülesanded. See paneb meid ise uurima ja otsima andmeid. Samas, kui mõelda ülesannete peale, siis tunduvad lisa-koormavad ebavajalikud andmed nagu auto värvus või istekohtade arv – isegi kui annab realistlikuma pildi.*



Olid ka arvamusi, kus anti hajusandmetega ülesannetele ainult negatiivne hinnang:

*Ei sobi need ülesanded mulle üldse! Andku parem konkreetne ülesanne, ma lahendan ise ja kontrollin vastus. Need ülesanded raiskasid tunnist palju aega ja lobisemist oli palju.*

Oli kommentaare, mis näitasid, et õpilased püüdsid oma tegevusi analüüsida ning hinnata, kuidas saadud oskused võivad kasulikud olla, nt:

*Mitmekesised andmed võibolla aitavad lihtsustada ülesannete lahendamist. Mitte ainult tehniliselt ei aita lihtsustada vaid juba see mõte, et ma näen, et palju andmeid on, siis muutub minu suhtumine positiivsemaks. Juurdelisatavad andmed on samuti positiivsed. Eelkõige sellepärast, et kui ma saan aru, millised andmed puudu on, näitab seda, et ma oskan neid ülesandeid mingil määral seostada valemitega.*

Kokkuvõtteks võib öelda, et õpilaste arvamused hajusandmetega ülesannete kohta olid väga erinevad – oli neid, kellele need ülesanded üldse ei meeldinud, oli ka neid, kes ütlesid, et antud tüüpi ülesanded panevad mõtlema, analüüsima ja on edaspidises elus kasulikumad kui traditsioonilised ülesanded, kus kõik on ette antud. Poistele meeldisid hajusandmetega ülesanded rohkem kui tüdrukutele. Tasub mainida, et pärast hajusandmetega ülesannete lahendamist julgusid õpilased rohkem lisada kommentaare, arvutus- ja arutluskäike põhjendamaks, miks testi täitmisel just see vastusevariant valiti (eeltesti täitmisel jäi palve oma valikut põhjendada reeglina täitmata).

Uuringu käigus küsiti ka õpetajate arvamust antud meetodi rakendamise kohta. Selgus, et õpetajate arvates oli alguses suuremal osal õpilastest negatiivne hoiak hajusandmetega ülesannete suhtes: nad ei osanud ega julgenud antud tüüpi ülesandeid lahendada. Samuti oli raskusi nendel õpetajatel, kellel puudus kogemus kaheosalise ekvivalentsmeetodiga ülesannete lahendamise õpetamisel. Järgnevalt tuuakse mõned õpetajate tüüpkommentaariid (kirjaviis muutmata):

*Õpilased tegid ülesandeid üllatavalt hea meelega. Minu käest küsisid abi ainult need, kes alati (kes ei viitsigi väga süveneda).*

Mõned õpetajad tõid välja fakti, et kasutasid varem ka ise midagi taolist oma töös:

*Kasutasin üsna palju seda tüüpi ülesandeid, kus tuleb andmed ise välja arvestada või hinnata ja tabelitest üles otsida. Näiteks arvutasime välja klassis oleva kiirkeedukannu võimsuse soojusfüüsika tunnis ja võrdlesime kannul märgituga. Klappis suhteliselt täpselt. Nüüd sain tõestuse, et see sobib!*

Olid toodud kommentaare eksperimendi käivitamise ja selle arendamise kohta:

*Alguses oli raske õpilastele selgeks teha kuidas neid ülesandeid on vaja lahendada, mis teha liigsete andmetega ja kust vajalikud andmeid leida, kuid juba järgmisel tunnil oli olukord parem ja hakkasid lahendama aktiivselt ja ise tahtsid seda rühmas teha.*

Mõned õpetajad olid jälginud ka suhtlemisoskuste ning meeskonnatöö arendamist ning rõhutasid emotsionaalset komponenti:

*Sellised ülesanded on just rühmatöödena omal kohal. Õpilased küsisid ka vastuseid, et kontrollida end. Nad on harjunud ülesandeid lahendama ülesannete kogust ja kui vastus ei klapi, siis küsivad, et miks ja otsime koos vigu. Mulle sellised ülesanded meeldivad ja targematele lastele ka!*

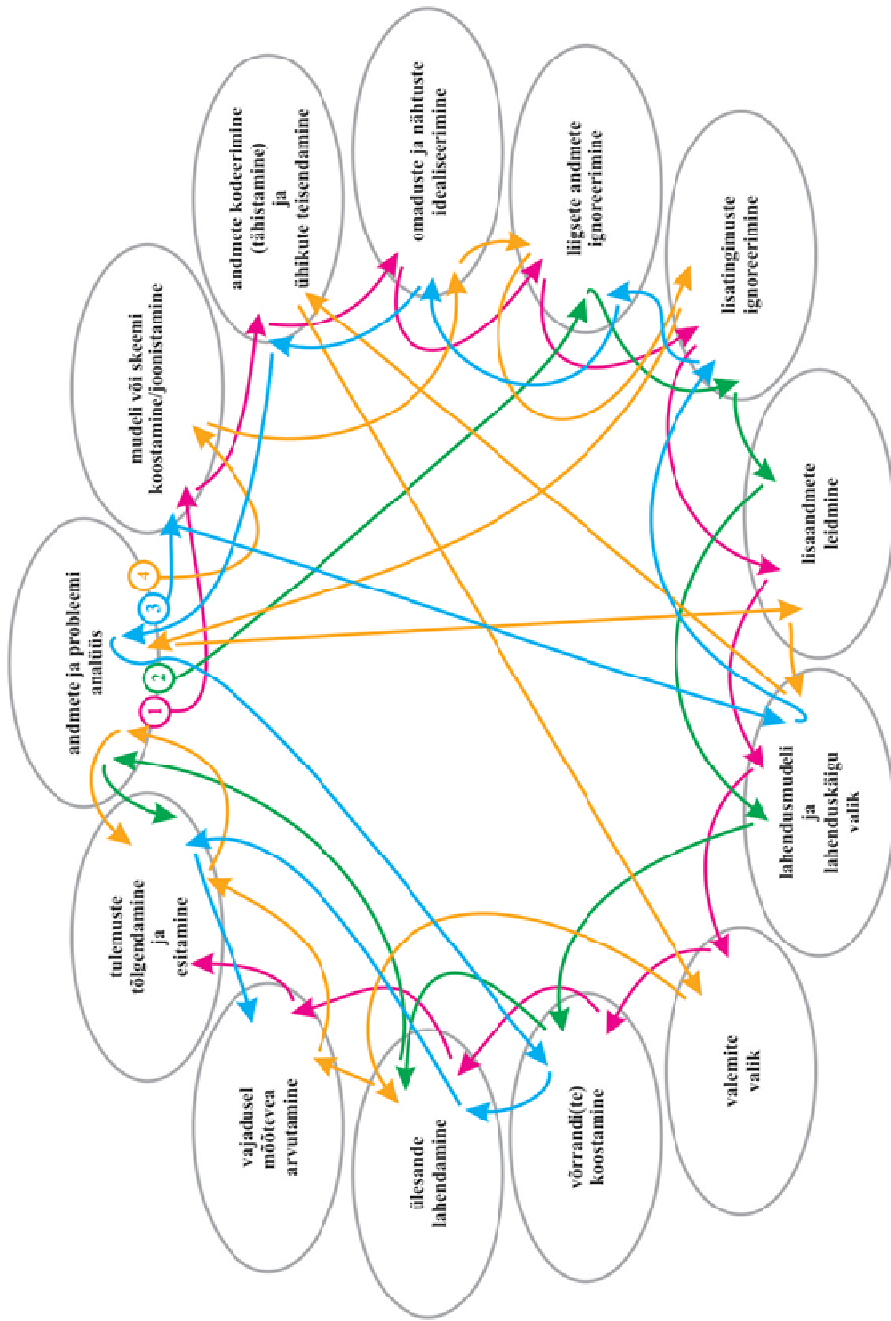
Oli arvamusi, kus õpetajad olid jälginud õpilaste arengut:

*Avastasin, et isegi kõige nõrgemad õpilased, kes alati said madalad hinnad, töötasid rühmades usinasti ja nende õpitulemused paranesid.*

Huvitavate tulemustena tulid õpetajate enesehinnangutega seotud kommentaarid, mis näitasid, kui tõsiselt võtsid nad uut rolli ja vastutust:

*Alguses olin üsna skeptiline selle meetodi suhtes, et ehk võtab liiga pali aega? Võtab küll, aga piisas ühest-kahest seda tüüpi ülesandest tunnis ja asi oli õpilastele selge. Paralleelklassis lahendasime sama teema juures kuus kuni üheksa ülesannet tunnis, nägin, et lastel oli juba igav, aga mis teha – programmi on vaja läbida!*

Võttes eelnevalt öeldu kokku ning arvestades õpetajate ja õpilaste kommentaaride ja ettepanekutega, tasub rõhutada järgmist. Kuigi väitekirja autor tugineb teiste autorite (Styer, 2002; Iljasov, 1992; 1996, Irodova ja Putina, 2007; Gerace ja Beatty, 2005; Hollabaugh, 1993; Heller jt, 1992a; Kameneckij, 1982; Karu, 1996; Kondratjev, Krasin, 2005; Loide, 2005; Mudd, 1997; Redhsh, 2003 jne) poolt väljatöötatud ülesannete lahendamise strateegiatele, ei ole kaheosalise ekvivalentsmeetodi kasutamine hajusandmetega ülesannete lahendamisstrateegia (esitatud alapeatükis 3.1.1.3.) puhul lineaarne ega hierarhiline. Ülesande põhjalik analüüs suunab õpilasi näiteks kordama mõnda lahendamisetappi mitu korda. Tuginedes ülesannete lahendamise väljatöötatud strateegiate autorite tulemustele (Heller jt, 1992b; Redish, 2003; Hollabaugh, Heller, 1993, Krasin, 2005; Loide, 2005 jt), käesoleva töö autori pikaajalisele kogemusele füüsika-õpetajana ning eksperimendi jooksul õpetajate poolt tehtud märkmetele, on valminud skeem (Joonis 4.), kus on esitatud mõned võimalikud variandid ülesannete lahendamise strateegiate kasutamisest.



**Joonis 4.** Võimalikud strateegiad hajusandmetega ülesande lahendamisel. Musta värviga ja algusega „1“ on näidatud traditsiooniliste ülesannete tüüpiline lahendamistrateegia. Värviliste joontega algusega „1“ kuni „4“ on näidatud hajusandmetega ülesannete lahendamise võimalikud sammud (autori looming, tehniline teostus Anu Taur).

Alljärgnevalt tuuakse välja võimalikud lahendamisstrateegia etapid variantide „T“ ja „4“ kirjeldusega (Joonis 4.):

- Variant „T“ Kujutab endast tüüpilist pealiskaudset traditsioonilise ülesande lahendamist, kus kõik algab algandmete väljakirjutamisest, sellele järgneb vastava valemi leidmine, arvude sisse panemine ning lõppvastuse arvutamine.
- Variant „4“ Kujutab endast mittetraditsioonilise (ka hajusandmetega) ülesande sisulist lahendamist. Protsess algab sellest, et õpilane tutvub ülesande sisuga, analüüsib andmeid ja püstitatud probleemi, koostab (joonistab) mudeli või skeemi, idealiseerib nähtused ja omadused ning sellest lähtudes ignoreerib liigseid andmeid ja lisatingimusi. Analüüsib uuesti, milles seisneb probleem ja millised on algandmed, otsib lisaandmeid, lisab ja teisendab ühikuid. Seejärel valib vajalikud valemid, lahendab ülesande, vajadusel arvutades mõttevea. Tõlgendab vastust. Seejärel uurib veel kord, milles seisnes tegelik probleem, ja esitab vastuse, hinnates selle tõepärasust.

Lõppkokkuvõtteks saab öelda, et kõikidele uurimistöös püstitatud küsimustele saadi vastused. Nende võrdlus eelnevate uuringutega esitatakse järgnevas peatükis.

## 4. DISKUSSIOON

Antud väitekirja keskseks probleemiks oli uurida, kas gümnaasiumi füüsikatunnis on võimalik õpilasi ülesannete lahendamise kaudu rohkem motiveerida ja kuidas see mõjub füüsikaõppe efektiivsusele.

Leiti, et nii füüsikaõpetajad kui ka õpilased arvavad, et ülesannete lahendamine füüsikatunnis on üks efektiivsemaid viise teadmiste omandamiseks ja kinnistamiseks. Kõige efektiivsemaks mooduseks teadmisi omandamisel pidasid õpilased iseõppimist. Samas arvasid õpilased, et õppimiseks motiveerivad neid laboritööde, eksperimentide ja katsete tegemine, õppefilmide vaatamine ja ekskursioonid. Sarnaseid motivaatorid mainivad ka Timpmann (2005) ning McLaughlin ja Tambat (2001). Õpetajad tõid oma vastustes välja aktiivõppemeetodite kasutamise kui tugeva õppimismotivaatori rolli. Mainiti ka multimeedia kasutamise võimalusi füüsikatunnis: virtuaalseid katseid, simulatsioone ja arvutipõhiseid õppematerjale. Viimaste võimaluste kasutamist soovisid õpetajad järgmiste teemade õpetamisel: aine ja väli, molekulaarfüüsika ja astroonoomia. See tulemus langeb kokku teiste uurijate (Franklin ja Paet, 2001) tulemustega. Eestis on seda faktorit viimasel ajal juba arvesse võetud ning on kasutusel virtuaalsed mudelid (Villako ja Adoan, 2005), portaalis fyysika.ee on võimalik vaadata videoloenguid ja -katseid. Õpetajate ja õpilaste hinnangute võrdlusest tuli välja, et reaalselt kasutatavate meetodite suhtes olid õpilased ja õpetajad üksmeelel: kõige enam kasutatakse gümnaasiumis loengu-tüüpi tunde, vahel näidatakse katseid ja lahendatakse ülesandeid. Paljud uurijad (Darling-Hommond, 2000; Fullan, 2006; Sarason, 1982) soovivad siiski kaasata õpilasi õppeprotsessi, mis aktiveerib neid ning suurendab füüsika õpimotivatsiooni.

Selgus, et õpilaste hinnangute keskmised olid võrreldes õpetajate hinnangute keskmistega kõrgemad selliste motivatsiooni mõjutavatele faktoritele nagu teema huvitavus ja teoreetilise materjali seos reaalse eluga. Siin antud on uurimuse tulemused kooskõlas väga paljude uurijate tulemustega (Redish, 2003; Chu jt, 2008; Prosser jt, 1996; Larchenkova, 2008; Krasin, 2005; Süzük jt, 2011 jt), kus õpilaste hinnangud füüsika huvitavusele ja arusaadavusele näitasid, et füüsikaõppe efektiivsus oli suurem nende teemade puhul, mis olid õpilastele huvitavad ja seotud igapäevaeluga.

On läbi viidud uuringuid, mis näitavad, et tüdrukud saavad füüsikast paremini aru, kui seda seostatakse ümbritseva maailmaga (Stadler jt, 1999), käesolevast uuringust tuli aga välja, et tüdrukud saavad paremini hakkama traditsiooniliste ülesannetega, kus oli vaja näidata teadmisi, rakendamise osas olid nende tulemused poiste tulemustest madalamad. Hajusandmetega ülesanded meeldisid tüdrukutele vähem kui poistele.

Eespool nimetatut viitab vajadusele edaspidi uurida, milliseid hajusandmetega ülesandeid on võimalik koostada, et nendega saaks ka tüdrukuid paremini motiveerida.

Hajusandmetega ülesannete sõnastamine ja nende lahendamismetoodika erineb teiste autorite (Styer, 2002; Iljasov, 1992; 1996, Irodova ja Putina, 2007;

Gerace ja Beatty, 2005; Hollabaugh, 1993; Heller jt, 1992b; Kameneckij, 1982; Karu, 1996; Mudd, 1997; Redhsh, 2003 jne) poolt väljatöötatud ülesannete lahendamise strateegiatest. Käesoleva töö autori poolt pakutud hajusandmetega ülesannete lahendamise strateegia ei ole piiratud mõningate lahendamisammude arvuga ning pole ka lineaarne ega hierarhiline. Ülesande põhjalik analüüs suunab õpilasi näiteks kordama mõnda lahendamisetappi mitu korda, nagu seda pakuvad ka Loide (2005) ning Kondratjev ja Krasin (2005).

Antud uurimuses ei leitud tõestust faktile, et füüsikas edukas olemiseks peab õpilastel olema kõrgel tasemel abstraktne mõtlemine ja matemaatiline võimekus, nagu seda väidavad Capizzo jt (2006). Ühelt poolt ei maininud seda küsimustikus õpetajad ega õpilased. Teiselt poolt ei ole selle töö raames arvestatud õpilaste õppeedukusega, kuid arvutusülesannete keskmised tulemused näitasid matemaatilise aparadi valdamist. Töös leiti, et füüsikaülesanded, mis on seotud reaalse eluga, on faktide ja teadmiste omandamisel sama efektiivsed kui traditsioonilised ülesanded. Sarnase arvamuse avaldas ka Hollabaugh (1993). Teadmiste rakendamise osas osutusid hajusandmetega ülesanded efektiivsemaks kui traditsioonilised ülesanded. Käesoleva töö autor leiab saadud tulemusele tuginedes, et lahendades hajusandmetega ülesandeid ning mõeldes need põhjalikult läbi, planeerides ise lahenduskäiku, kinnistuvad õpilaste teadmised paremini. Samas ei tasu vähendada traditsiooniliste ülesannete tähtsust faktide ja teadmiste omandamisel. Sama seisukohta jagavad Loide (2005) ja Krasin (2005).

Õpetajate küsimustikust välja tulnud ettepanekut, et oleks vaja aktiveerida õpilasi ning arvestada nende õpistiilide ja -motivatsiooniga seotud soovidega, toetavad ka teised uurijad, näiteks Gardner (1983), kes väidab, et kasutades erinevaid andelaade, muutub õppija erinevates olukordades ja õppeainetes tähelepanelikumaks ning edukamaks õppijaks. Antud töö tulemustest selgus ka, et kui kasutada ülesannete lahendamisel erinevaid õppemeetodeid, nt rühmatöö või paaristöö, suureneb füüsikaõppe efektiivsus.

Uuringu tulemused näitasid, et hajusandmetega ülesannete lahendamine mõjub ka teadmiste püsivusele, see oli n-ö oodatav tulemus, kahjuks puuduvad antud töö autoril andmed selle tulemuse tõestusest teiste uurijate töödes.

Leiti, et antud uuringus valminud matemaatiline mudel – efektiivsuse valem [3] võib olla õpetajatele abiks füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmisel, mis ei vähenda teiste autorite poolt väljatöötatud instrumentide kasutamist. Autori poolt tuletatud valemi tulemused on tugevas positiivses korrelatsioonis vahenditega, mida kasutavad paljud teised uurijad (Turkmen, 2007; Selcuk jt, 2008; Pinarbasi, 2007; Šlekiene ja Raguliene, 2006 jt). Samas ei näe autor praegu vajadust kasutada Ameerikas laialt kasutatavat Hake valemit (1998a, 1998d), nagu teevad seda teised uurijad (Sahin, 2010; Melzer, 2002), sest selle tulemuste interpreteerimine võib osutada Eesti õpetajate jaoks keeruliseks. Eespool nimetatud õppe-efektiivsuse määramise instrumentide erinevus viitab vajadusele edaspidi põhjalikumalt uurida nende kasutamiskiire ning otstarbekust.

Samas tuleb mainida, et tuletatud valemit saab kasutada mistahes õppeaine korral.

Olulise tulemusena leiti, et õppe-efektiivsus eksperimentaalrühmas, kus kasutati hajusandmetega ülesandeid, suurenes statistiliselt olulisel määral. See on kooskõlas paljude uurijate tulemustega (Süzük, 2011, Larchenkova, 2009; Šlekiene ja Raguliene, 2006 jt), kus nad järeldavad, et õppemeetodid, ka ülesanded, mis on seotud reaalse eluga, nii tõstavad õppemotivatsiooni kui ka parandavad õpitulemusi.

Selgus, et füüsikaõppe efektiivsus eksperimentaalrühmas, kus kasutati hajusandmetega ülesandeid kõikide õpetavate teemade puhul, on keskmiselt 20% suurem kui kontrollrühmas, kus kasutati traditsiooniliste ülesannete lahendamist, ning see, et poistele sobisid hajusandmetega ülesanded paremini. Traditsiooniliste ülesannete kasutamise kasuks räägib fakt, et neid on füüsikaõppes aastakümneid kasutatud ning nende lahendamismetoodika ning vastavad strateegiad on põhjalikult uuritud (Karu, 1996) ja nende tulemuslikkus on tõestatud (Heller jt, 1992a).

Tähelepanu väärib fakt, et kõige väiksem oli õppe-efektiivsus mehaanikas. Antud uuringut toetavad osaliselt teiste uurijate tulemused (Larchenkova, 2009), kes märkas ka, et mehaanika teemade läbimisel ei ole õpilaste teadmiste juurdekasv märkimisväärne. Sama autor väidab, et teadmiste kõrge tase ei taga veel nende rakendamisoskust (Larchenkova, 2008, 2009). Redish (2003) soovib pakkuda õpilastele erinevat tüüpi ülesandeid, kus on mitu füüsika valdkonda koos. Seda püütigi hajusandmetega ülesannete koostamisel teha. Saadud uurin-gutulemus vajab edaspidist uurimist eriti Eestis uue füüsika ainekava rakenda-mise valguses. Tasub veel mainida, et õpetajate instrueerimisel ning antud uurimuse tulemuste tutvumiseminaridel ja Eesti füüsika päevade üritustel aval-dasid õpetajad soovi läbida vastavaid koolitusi, kus tutvustatakse mitte-traditsiooniliste ülesannete lahendamise metoodikat, samuti edastati töö autorile palve koostada selliste ülesannete kogumik. Osaliselt on viimane palve täidetud: uues Füüsika ülesannete kogumikus (Voolaid ja Ganina, 2011) on esitatud ka hajusandmetega ülesanded.

Antud uurimus toetab mitmete autorite (Hammer, 1994; Whitelleggy ja Parry, 1999; Ornek jt, 2008 jt) seisukohta, et õppemeetodi valikul on vaja arves-tada asjaoluga, et tänapäeva õppija soovib ise tegutseda ja kaaslastega suhelda ning õppimine peab olema seotud igapäevaeluga.

Antud töö tulemuste põhjal võib väita, et hajusandmetega ülesanded aren-davad õpilaste transformatiivseid ja regulatiivseid oskusi (De Jong ja Njoo, 1992), sest nende koostamisel ja uurimise kavandamisel lähtuti eesmärgist arendada just neid oskusi, mis on konstruktivistliku õppega kooskõlas.

Tasub mainida, et antud uurimistöös katsetatud hajusandmetega ülesanded ja saadud tulemused ei pretendeeri traditsiooniliste ülesannete rolli vähendamisele füüsika õppeprotsessis. Väitekirja autor pakub õpetajatele võimalust lahendada hajusandmetega ülesandeid lisaks traditsioonilistele ülesannetele kui üht või-malust seostada füüsikatundides saadud teoreetilisi teadmisi reaalse elu ja prak-tikaga. Selliseid ülesandeid saab iga õpetaja ise sõnastada, võttes aluseks tradit-sioonilised füüsika ülesanded, lisades neile lisaandmeid ja paigutades need elu-

lähedastesse situatsioonidesse. Autori arvates on see kõige soodsam moodus suurendada füüsikaõppe efektiivsust minimaalsete kuludega. Üks võimalus hajusandmetega ülesannete kasutamiseks on nende iseseisev lahendamine kodutööna koos kaaslaste, sõprade või vanematega.

Erinevate õppemeetodite ja -vormide varieerumine lubab arvestada õpilaste individuaalsete eripärade, nende õpistiilide ja eelteadmistega, mis omakorda tõstab füüsikaõppe efektiivsust.



## KOKKUVÕTE

Doktoriväitekirja üldine eesmärk oli välja selgitada, kuidas ülesanded mõjuvad füüsikaõppe efektiivsust ja kas tulemused sõltuvad ka ülesandetüübist. Püstitati järgmised uurimisküsimused: (1) Kas esineb erinevusi gümnaasiumi-õpilaste ja -õpetajate hinnangutes selle kohta, millised õppemeetodid on füüsika tunnis efektiivsemad ja motiveerivad õpilasi rohkem? (2) Kuidas on võimalik mõõta füüsikaõppe efektiivsust? (3) Kas ülesannete vorm ja seos igapäevaeluga tõstab õppe-efektiivsust? (4) Kas esineb erinevusi traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamisel omandatud teadmiste ja oskuste püsivusel? (5) Kas hajusandmetega ülesanded motiveerivad õpilasi paremini ning suurendavad füüsikaõppe efektiivsust?

Eesmärgiga välja selgitada, milliseid ülesandeid kasutatakse koolifüüsikas õpimotivatsiooni tõstjatenäna, viidi läbi ankeetküsitlus, milles osales 73 õpetajat ja 1418 õpilast. Seejärel viidi läbi pikaajaline pedagoogiline eksperiment, kus õppetöös kasutati traditsioonilisi ja hajusandmetega ülesandeid. Hajusandmetega ülesannetes kirjeldatud olukorrad on seotud igapäevaeluga ja arvandmed on esitatud olukorra kirjeldusest eraldi. Lähteandmeid on alati kas rohkem või vähem, kui lahendamiseks vaja läheb. Eksperimendis osales 14 õpetajat ning 620 õpilast. Samuti töötati välja ja katsetati õppe-efektiivsuse määramise valemit, katsetes osales 1125 õpilast. Efektiivsuse valemi usaldatavuse kontrollimiseks võrreldi saadud tulemusi teiste instrumentidega.

Töös tõstatatud uurimisküsimused said vastused.

Vastuseks **esimesele** uurimisküsimusele leiti, et nii füüsika õpetajad kui ka õpilased arvavad, et ülesannete lahendamine füüsika tunnis on üks efektiivsemaid viise teadmiste omandamiseks ja kinnistamiseks. Kõige efektiivsemaks mooduseks teadmiste omandamiseks pidasid õpilased iseõppimist. Samas arvasid õpilased, et õppimiseks motiveerivad neid rohkem laboritööde, eksperimentide ja katsete tegemine, õppefilmide vaatamine ja ekskursioonid. Õpetajad oma vastustes tõid välja aktiivõppemeetodite kasutamise rolli, kui tugeva õppimismotivaatori. Mainiti ka multimeedia kasutamise võimalusi füüsika tunnis. Uuringust tuli välja, et realselt kasutatavate meetodite suhtes olid õpilased ja õpetajad üksmeelel: kõige enam kasutatakse gümnaasiumi füüsika õppes loengu tüüpi tunde, vahepeal näidatakse katseid ja lahendatakse ülesandeid. Leiti, et õpilased hindavad õpetajatest kõrgemalt ülesannete huvitavust ja nende seost reaalse eluga. Statistiliselt olulisi erinevusi ei leitud ülesannete kasutamise vajaduses: nii õpetajad kui õpilased hindavad kõrgelt ülesannete lahendamise kasulikkust.

Vastuseks **teisele** uurimisküsimusele leiti, et füüsika õppe-efektiivsuse määramiseks, teiste instrumentide kõrval on võimalik kasutada normeeritud valemit.

$$E = T_j - T_e, \text{ kus}$$

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n} - \text{ eeltesti keskmine tulemus ( } N \text{ on vastanud õpilaste arv, } n \text{ küsi-}$$

muste arv testis ja  $n_i$  ühe õpilase poolt antud õigete vastuste arv);

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n} - \text{ järeltesti keskmine tulemus ( } N \text{ on vastanud õpilaste arv, } n \text{ küsi-}$$

muste arv testis ja  $n_i$  ühe õpilase poolt antud õigete vastuste arv).

Sellisel leitud efektiivsuse  $E$  väärtused on normeeritud ning jäävad vahemikku  $-1$  ja  $1$ .

Füüsikaõppe efektiivsuse määramiseks kasutatud valem andis statistiliselt olulise positiivse tulemuse.

**Kolmanda, neljanda ja viienda** uurimisküsimusele vastamiseks töötati välja uut tüüpi füüsika ülesanded – hajusandmetega ülesanded. Hajusandmetega ülesannetes kirjeldatud olukorrad on seotud igapäevaeluga ja arvandmed on esitatud olukorra kirjeldusest eraldi. Lähteandmeid on alati kas rohkem või vähem kui lahendamiseks vaja läheb.

**Kolmandale uurimisküsimusele** kas ülesannete vorm ja seos igapäevaeluga tõstab õppe-efektiivsust saab anda positiivne vastus: hajusandmetega ülesanded on sama efektiivsed teadmiste omandamisel kui traditsioonilised ülesanded.

**Neljandale** uurimisküsimusele vastamiseks, kas esineb erinevusi traditsiooniliste ja mittetraditsiooniliste ülesannete lahendamisel omandatud teadmiste ja oskuste püsivusel annab korduvatele uurimistöö järeltestidele tuginedes positiivse vastuse. Eksperimentaalrühma tulemused, kus kasutati hajusandmetega ülesannete lahendamist näitasid, et teadmiste ja oskuste tase on stabiilsem.

**Viidendale** uurimisküsimusele, kas hajusandmetega ülesanded motiveerivad õpilasi rohkem ning suurendavad füüsikaõppe efektiivsust, saadi positiivne vastus. Õpilased oma tagasisides andsid reeglina kõrged hinnangud selliste ülesannete kasutamisele füüsika tunnis. Nad tõid esile sellised argumendid, et sarnased ülesanded panevad neid rohkem süvenema ülesande sisusse, nad on arusaadavad ja on seotud reaalse eluga, neid saab lahendada iseseisvalt lahenduskäiku valides ja nad ei ole nii formaalsed, kui traditsioonilised ülesanded. Õpetajad oma tagasisides mainisid, et alguses oli raskusi nii neil kui ka õpilastel hajusandmetega ülesannete lahendamisel, pärastpoole soovisid õpilased ise neid lahendada.

Kokkuvõtteks võib öelda, et käesoleva väitekirja teoreetiliste ja empiiriliste uuringute tulemused panevad aluse võimalikule hajusandmetega ülesannete kasutamisele füüsikaõppes ja selle tulemusena füüsikaõppe efektiivsuse tõusule gümnaasiumis.

Edasist uurimist vajavad autori arvates teoreetilise ja praktilise (õpilaste poolt aktiivne) tegevuse osakaal füüsikatundides, arvestades uue gümnaasiumi füüsika ainekava rakendamist ja sellega seotud uusi füüsika õpetamise eesmärke, mis võimaldavad tõsta füüsikaõppe efektiivsust.

## KIRJANDUS

- Aaviksoo, J.** (1997). Hariduse rahvuslikud ülesanded. Veebimaterjal: <http://vp1992-2001.vpk.ee/est/n6ukogu/tees1911.asp> (Vaadatud: 07.12.2004).
- Aleven, V.A. & Koedinger, K.R.** (2002). An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, 26, 147–179.
- Bolton, J.** (1997). Developing students' physics problem-solving skills. *Journal of Physics Educations*, 32: 176–185.
- Boone, W.J., Scantlebury, K.** (2006). The role of rasch analysis when conducting science education research utilizing multiple-choice tests. *Science education*, Vol. 90, No. 2, 253–269.
- Capizzo, M. C., Nuzzo, S. & Zarcone, M.** (2006). The Impact of the Pre-instructional Cognitive Profile on Learning Gain and Final Exam of Physics Courses: A Case Study. *European Journal of Engineering Education*, 31(6): 717–727.
- Chang, H. P. & Lederman, N. G.** (1994). The effects of levels of cooperation within physical laboratory groups on physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, (2), 167–181.
- Chu, H., Treagust, D.F. & Chandrasegaran, A.L.** (2008). Naïve Students' Conceptual Development and Beliefs: The Need for Multiple Analyses to Determine what Contributes to Student Success in a University Introductory Physics Course. *Research in Science Education*, 38: 111–125.
- Companario, J. M.** (1998). Using Counterintuitive Problems in Teaching Physics. *The Physics Teacher*. Vol. 36, oct, 1998.
- Darling-Hammond, L.** (2000). Solving the dilemmas of teaching supply, demand, and standards. New York: Columbia University, National Commission on Teaching and America's Future.
- De Jong, T., & Njoo, M.** (1992). *Learning and Instruction with computer simulations: Learning processes involved*. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl, & L. Verschaffel (Eds.) Computer-based learning environments and problem solving (pp. 411–429). Berlin: Springer-Verlag.
- Eesti füüsikaportaal:** <http://fyysika.ee/fyysika/avaleht> (Vaadatud: 01.08.08)
- Ильясов = Ильясов И.И.** (1992). *Система эвристических приёмов решения задач*. М.: Издательство Российского открытого университета.
- INNOVE:** <http://www.innove.ee/> (vaadatud 01.06.11.)
- Irodova ja Putina = Иродова, И., Путина, Н.** (2009). Повышение эффективности самостоятельной работы студентов на занятиях по теории и методике обучения физике. Физика в школе и вузе. *Международный сборник научных статей*. Выпуск 10: 22–28. СПб.: БАН.
- Johnson, C.C., Kahle, J.D., Fargo, J.D.** (2007). Effective teaching results in increased science achievement for all students. *Science Education*, Vol 91, No 3: 371 – 383.
- Ebbinghaus, H.** (1885). Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie. Duncker & Humblot. In: <http://www.archive.org/stream/berdasedchtnis00ebbigoog#page/n5/mode/2up> (Vaadatud: 13.06.2008).
- Franklin, S., Peat, M.** (2001). Managing change: The use of mixed delivery modes to increase learning opportunities. *Australian Journal of Educational Technology*, Vol. 17 No. 1: 37–49.
- Fullan M.** (2006). *Uudne arusaam haridusmuutustest*. Atlex, Tartu.

- Fuller, R.** (1982). Solving Physics Problems-How Do We Do It? *Physics Today* September, 1982: 43–47, New York: American Institute of Physics.
- Füüsika riigieksami ülesanded:** <http://www.ekk.edu.ee/oppurile/riigieksamid> (Vaadatud: 15.08.08).
- Füüsika õpikojad: <http://www.fuusika.ee/opikojad/> (Vaadatud: 12.02.2009).
- Ganina, S., Sõõrd, L., & Voolaid, H.** (2011). *Problem Solving in Physics as a Means of Increasing the Effectiveness of Studying Physics*. In Converece: University teaching as a scholarship? January 24th – 26th, 2011 in Tartu, Estonia.
- Ganina, S.; Voolaid, H.; Sõõrd, L.** (2009). Physics studying efficiency. In: *Natural Science Education at a general School – 2009: Natural Science Education at a general School – 2009, Lietuva, Kedainiai, 24–25april, 2009*. Scientia Educologia, 2009: 46–51.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** (2008). Füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmine. Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 2007 (86–92).Tartu Ülikool.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** (2008). Hajusandmetega ülesannete roll füüsikaõppe efektiivsuse tõstmisel. KVÜÕA toimetised (150–160). Tartu: TÜ Kirjastus.
- Ganina, S., Voolaid, H.** (2007). *Füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmine*. Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat (86–92). Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Ganina, S.; Voolaid, H.** (2007b). Füüsikaõppe efektiivsus ja selle tõstmise võimalused. KVÜÕA Toimetised (106–126). Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Ganina, S., Voolaid, H.** (2005). *Füüsikaülesannete lahendamise, Loodusainete õpetamisest koolis, II osa*. Riiklik eksami- ja kvalifikatsioonikeskus. Tallinn.
- Ganina, S., Voolaid, H.** (2004). Põhikooli füüsika ülesannete kogu lahendustega. Atlex, Tartu.
- Gardner H.** (1993). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. London: Fontana.
- Gerace, W. , Beatty, I.** (2005) Teaching vs. studying : Changing perspectives on problem solving in physics instruction. An invited talk at the 9th Common Conference of the Cyprus Physics Association and Greek Physics Association: *Developments and Perspectives in Physics-New Technologies and Teaching of Science*, Nicosia, Cyprus, Feb 4–6.
- Hake, R. R.** (1998a). Interactive-engagement vs traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66(1): 64–74. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/> (Vaadatud: 17.04.2007).
- Hake, R. R.** (1998b). Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses. *Physics Education Research*, supplement to *American Journal of Physics*. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/> (Vaadatud: 17.04.2007).
- Hake, R. R.** (1998c). Interactive-engagement vs. traditional methods in mechanics instruction. *APS Forum on Education Newsletter* (Summer): 5–7. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/> (Vaadatud: 17.04.2007).
- Hake, R. R.** (1998d). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66: 64–74.
- Hake, R.R.** (1999). *Analyzing Change/Gain Scores*, <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>. (Vaadatud: 03.04.2010).
- Halloun, I. A. & Hestenes, D.** (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 55, (5), 455–462.

- Hammer, D.**, (1994). Epistemological Beliefs in Introductory Physics. *Cognition and Instruction* 12(2): 151–183.
- Hammer, D.** (2000). Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics, Physics Education Research Supplement*, 68 (S1): 52–59.
- Hammer, D. and Schifter, D.** (2001). Practices of inquiry in teaching and research. *Cognition and Instruction.*, 19 (4): 441–478.
- Heller, P. & Hollabaugh, M.** (1992a). Teaching Problem Solving Through Cooperative Grouping. Part 2: Designing Problems and Structuring Groups, *American Journal of Physics*, 60 (7), 637–644.
- Heller, P., Keith, R. & Anderson, S.** (1992b). Teaching Problem Solving Through Cooperative Grouping. Part 1: Group Versus Individual Problem Solving. *American Journal of Physics*, 60 (7): 627–636.
- Hewitt, P.** (2004). The Three Stages of Learning. *Physics World*, 17(9): 16–17.
- Hinton, P.** (2004). *Statistics explained*. Amazon.
- Hollabaugh, M.**, (1993). *Physics problem solving strategy* (Normandale Community College) <http://faculty.normandale.edu/~physics/Hollabaugh/probsolv.htm> (Vaadatud: 12.03.2005).
- Howard, G.S.** (1980). Response-shift bias a problem in evaluating interventions with pre/post
- Kameneckij, Soloduhin = Каменецкий С.Е., Солодухин Н.А.** (1982). *Модели и аналогии в курсе средней школы: Пособие для учителей*. М.: Просвещение.
- Karu, G.** (1996). *Füüsika didaktika*. Tallinn, Koolibri.
- Kondratjev, Laptev, Trofimova = Кондратьев А.С., Лаптев В.В., Трофимова С.Ю.** (1996). *Физические задачи и индивидуальные пути образования: Научно-методическая разработка*. СПб: Образование.
- Krasin = Красин М.С.** (2005). Система эвристических приёмов решения задач по физике. Теория, методика, примеры: *Учебно-методическое пособие*. Калуга: Калужский ГПУ им. К.Э. Циолковского.
- Krasin = Красин, М.** (2008). Формирование начальных представлений о толерантности при обучении школьников решению физических задач. Физика в школе и вузе. *Международный сборник научных статей*. Выпуск 10– СПб.: БАН: 124–133.
- Kušenko = Кущенко, С. М.** (2006). Конструирование обучающей среды школьного курса физики основной ступени с применением образовательных информационных технологий. ДГУ, <http://uml.wl.dvgu.ru/rscd.php?id=141> (vaadatud: 01.2007)
- Larchenkova = Ларченкова, Л.** (2008). Основные направления развития методики решения физических задач. Физика в школе и вузе. *Международный сборник научных статей*. Выпуск 10– СПб.: БАН: 118–124.
- Larchenkova = Ларченкова, Л.** (2009). Из опыта практико-ориентированного обучения физике в средней школе. Физика в школе и вузе. *Международный сборник научных статей*. Выпуск 10– СПб.: БАН.
- Larkin, J., Reif, F.** (1979). Understanding and Teaching Problem-Solving in Physics. *International Journal of Science Education*, Volume 1, Issue 2, pp. 191–203.
- Learning Styles and Strategies <http://ww2.ncsu.edu/unity/lockers/f/felder/public/ILSdir/styles.htm> (Vaadatud: 28.08.2007).
- Learning Style Inventory <http://www.personal.psu.edu/bxb11/LSI/LSI.htm> (Vaadatud: 15.12.2007).

- Learning Style Survey for College [http://www.metamath.com/multiple/multiple\\_choice\\_questions.cgi](http://www.metamath.com/multiple/multiple_choice_questions.cgi) (Vaadatud: 28.08.2007).
- Leonard, W. L., Dufrense, R. J., Mestre, J. P.** (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64, (12), 1495–1503.
- Loide, R.-K.** (2002). *Füüsika I, Ülesandeid ja probleeme, näidisülesandeid*, KVÜÖA, Tartu.
- Loide, R.-K.** (2005). *Mehaanika: füüsika näidisülesandeid gümnaasiumile*. Tallinn: Koolibri.
- Loide, R.-K.** (2005a). Mis on lahti koolifüüsikaga? *Õpetajate Leht*, 36, <http://www.opleht.ee/Arhiiv/2005/14.10.05/dialog/4.shtml>, (vaadatud 22.03.2010).
- Loide, R.-K.** (2010). *Elekter ja magnetism. I osa: füüsika näidisülesandeid gümnaasiumile*. Tallinn: Koolibri.
- Luik, P.** (2004). *Õpitarkvara efektiivsed karakteristikud elektrooniliste õpikute ja drill-programmide korral*. Doktoriväitekiri. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Maloney, D.** (1994). *Research on Problem Solving: Physics in Handbook of Research on Science Teaching and Studying*. D. New York: MacMillan Publishing Co.
- Mattern, N., Schau, C.** (2002). Gender difference in attitude-achievement relationships over time among white middle-school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, (4), 324–340.
- McLaughlin, M., Tambet, J.** (2001). *Professional communities and the work of high school teaching*. Chicago: University of Chicago Press.
- Meltzer, D.E.** (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible 'hidden variable' in diagnostic pre-test scores. *American Journal of Physics*, 70: 1259–1268.
- Mikk, J.** (1980). *Teksti mõistmine*, Tallinn.
- Mikk, J.** (2002). *Ainetestid. Loengukonspekt TÜ üliõpilastele*, Tartu.
- Mikk, J., Luik P.** (2005). Do girls and boys need different electronic textbooks? *Innovations in Education and Teaching International*, 24(2).
- Millar, R.** (2005). The role of practical work in the teaching and learning science. Veebiversioon: [http://64.233.183.104/search?qcache:lfMu\(\)ormdicJ:www.7nationalacademies.org/bose/Millar\\_draftpap,1-27](http://64.233.183.104/search?qcache:lfMu()ormdicJ:www.7nationalacademies.org/bose/Millar_draftpap,1-27). (Vaadatud: 18.04.2005)
- Moore, R. W., Foy, R.L.H.** (1997). The scientific attitude inventory: a revision (SAI II). *Journal of research in science teaching*. Vol. 34, No. 4, 327–336.
- Mudd, H.** (1997). *How To Solve Physics Problems* (College Physics Department): <http://www.physics.hmc.edu/howto/problemsolving.html> (Vaadatud: 02.04.09).
- Neuman, Y., Leibowitz, L., & Schwarz, B.** (2000). Patterns of Verbal Mediation during problem solving: A Sequential Analysis of Self-Explanation. *The journal of Experimental Education*, 68(3): 197–213.
- Olesk, P.** (2005). Füüsika õpetamisest. *Akadeemia*, nr 7: 1460–1470.
- Olina, Z. & Sullivan, H.J.** (2004). Student Self-Evaluation, Teacher Evaluation, and Learner Performance. *Educational Technology Research & Development*, 52(3): 5–22.
- Ornek, F., Robinson, W.R. & Haugan, M.P.** (2008). What Makes Physics Difficult? *International Journal of Environmental & Science Education*, 3(1): 30–34.
- Paju, E., Paju, V.** (2009). *Füüsika ülesannete kogu gümnaasiumile*. Tallinn: Koolibri.

- Palincsar, A. S. & Brown, A. L.** (1984). Reciprocal Teaching of Comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1(2): 117–175.
- Pinarbasi, T.** (2007). Turkish Undergraduate Students' Misconceptions on Acids and Bases. *Journal of Baltic Science Education*. No. 1 (6): 23–34.
- Plotzner, R.** (1994). *The Integrative Use of Qualitative and Quantitative Knowledge in Physics Problem Solving*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Pritchard, D.E., Barrantes, A. & Belland, B.R.** (2009). What Else (Besides the Syllabus) Should Students Learn in Introductory Physics? *Physics Education Research Conference Proceedings, American Institute of Physics*, <http://relate.mit.edu/papers/What2TeachPERC09.pdf> (Vaadatud: 15.10.10)
- Prosser, M., Wlaker, P. & Millar, R.** (1996). Differences in Students' Perceptions of Learning Physics. *Physics Education*. 31: 43–48.
- Quaiser-Pohl, C., Lehmann, W.** (2002). Girls' spatial abilities: Charting the contributions of experiences and attitudes in different academic groups. *British journal of Educational Psychology*, 72: 245–260.
- Redish, E.** (1999) Teaching Physics: Figuring Out What Works. *Physics Today* January 1999, Vol. 52: pp. 24–30.
- Redish, E.** (2003). *Teaching Physics with the Physics Suite*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- Redish, E.** (2003). *Teaching Physics with the Physics Suite*. Univ. of Maryland
- Redish, E.F., Saul, J.M., & Steinberg, R.N.** (1998). Student Expectations in Introductory Physics. *American Journal of Physics*, 66: 212–224.
- Reemann, M.** (2005). „Seeriaülesannetest füüsikas“, kogumikus *Loodusainete õpetamisest koolis, II osa*, lk. 130–131. Tallinn: Argo.
- Reemann, M., Ainsaar, T.** (2007). *Füüsika ülesannete kogu gümnaasiumile*. Tallinn: Koolibri.
- Reemann, M., Ainsaar, T.** (2009). *Füüsika seeriaülesanded gümnaasiumile, 1. osa. Mehaanika. Soojusõpetus*. Tallinn: Koolibri.
- Reemann, M., Ainsaar, T.** (2010). *Füüsika seeriaülesanded gümnaasiumile, 2. osa. Elektriõpetus. Optika. Kvantfüüsika. Kosmoloogia*. Tallinn: Koolibri.
- Reif, F.** (1995). Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63: 17–35.
- Riigi Teataja** (2010). *Põhikooli ja gümnaasiumi riiklik õppekava*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12888846> (Vaadatud: 02.01.2011).
- Riigi Teataja** (2011). *Gümnaasiumi riiklik õppekava*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/114012011002> (Vaadatud: 02.04.2011).
- Riiklik õppekava:** <http://www.ekk.edu.ee/oppekavad/index.html> (Vaadatud: 01.01.2011).
- Rockwell, S.K., & Kohn, H.** (1989). Post-Then-Pre Evaluation: Measuring behavior change more accurately. *Journal of Extension*, 27(2): <http://www.joe.org/joe/1989summer/a5.html> (Vaadatud: 18.05.2007).
- Sahin, M.** (2010). Effects of Problem-Based Learning on University Students' Epistemological Beliefs About Physics and Physics Learning and Conceptual Understanding of Newtonian Mechanics. *Journal of Science Education and Technology*, 19(3): 266–275.
- Sarason, S.B.** (1982). *The culture of the school and the problem of change*. Boston: Allyn & Bacon



- Selcuk, G. S., Caliscan, S., & Erol, M.** (2008). The Effects of Problem Solving Instruction on Physics Achievement, Problem Solving Performance and Strategy Use. *Lat. Am. Journal of Physics Education*. Vol.2, No. 3: 151–166.
- Stadler, H., Duit, R. & Benke, G.** (2000). Do boys and girls understand physics differently? *Physics Education*, Vol. 35 No. 6: 68–72.
- Styer, D.** (1998). Guest comment: Getting there is half the fun. *American Journal of Physics*, 64: 105–106.
- Süzük, E., Çorlul, M. A., Gürel, C.** (2011). Students' Perceptions of Learning Efficiency of Introductory Physics Course. *Eurasian J. Phys. Chem. Educ.* Jan (Special Issue): 65–71.
- Šlekienė, V., Ragulienė, L.** (2006). Impact of physics-oriented tasks on understanding the concepts of electrical Phenomena. *Journal of Baltic Science Education*. No. 1 (9)
- Tarkpea, K., Voolaid, H.** (2002). *Füüsika käsiraamat*. Tallinn: Koolibri.
- Teadusbuss Suur Vanker: <http://fyysika.ee/fyysika/teadusbuss> (Vaadatud: 01.06.2010).
- Teadusbuss Väike vanke: <http://fyysika.ee/fyysika/teadusbuss> (Vaadatud: 01.06.2010).
- Teaduskeskus AHHA: <http://www.ahha.ee> (Vaadatud: 01.08.10)
- Teel füüsikastandardile: aine ehitus* (Tallinn: Koolibri, 2004).
- Teel füüsikastandardile: elekter ja magnetism.* (Tallinn: Koolibri, 2002).
- Teel füüsikastandardile: elektrodünaamika.* (Tallinn: Koolibri, 2003).
- Teel füüsikastandardile: mehaanika.* (Tallinn: Koolibri, 1998).
- Teel füüsikastandardile: molekulaarfüüsika.* (Tallinn: Koolibri, 2000).
- Timpmann, K.** (2005). *Katsed põhikooli elektriõpetuse teemal "Elekter kodus". Loodusainete õpetamisest koolis, II osa* Tallinn: Riiklik eksami- ja kvalifikatsioonikeskus.
- Tooding, L.-M.** (2007). *Andmete analüüs ja tõlgendamine sotsiaalteadustes*. TÜ Kirjastus.
- Trumper, R.**, (2006). Factors Affecting Junior High School Students' Interest in Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1): 47–58.
- Turkmen, L.** (2007) . The Influences of Elementary Science Teaching Method Courses on a Turkish Teachers College Elementary Education Major Students' Attitudes Towards Science and Science Teaching. *Journal of Baltic Science Education*. No. 1 (6): 66–77.
- Ugaste, Ü., Saukas, J.** (2002). *Füüsika gümnaasiumile I. Küsimusi ja ülesandeid*. Tallinn: Avita.
- Ugaste, Ü., Saukas, J.** (2003). *Füüsika gümnaasiumile II. Küsimusi ja ülesandeid*. Tallinn: Avita.
- Ugaste, Ü., Saukas, J.** (2004). *Füüsika gümnaasiumile III. Küsimusi ja ülesandeid*. Tallinn: Avita.
- Uibu, K.** (2010). *Teachers roles, instructional approaches and teaching practices in the social-cultural context*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Usova, Tulkibejeva = Усова, А.В., Тулькибаева, Н.Н.** (1992). *Практикум по решению физических задач*. М.: Просвещение.
- Van Heuvelen, A.** (1991). Learning to think like a physicist: a review of research based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, 891–897.
- Van Heuvelen, A., Maloney, D.** (1999). Playing Physics Jeopardy. *American Journal of Physics*, Vol. 67, Issue 3: 252–256.
- Villako, H.-A., Adojan, K.**, (2005). Arvutimudelite kasutamine põhikooli loodusainete õppes. *Loodusainete õpetamisest koolis, I osa*. Tallinn: Riiklik eksami- ja kvali-

- fikatsioonikeskus. Projekt "Põhikooli loodusainete uurimusliku õppe mudelid": <http://mudelid.5dvision.ee/> (Vaadatud: 14.06. 2006).
- Voolaid, H., Ganina, S.** (2009). *Füüsika riigieksamite ülesandeid. Soovitusi lahendamiseks*. Atlex.
- Voolaid, H., Ganina, S.** (2010). *Füüsika riigieksamite ülesandeid. Soovitusi lahendamiseks*. Atlex.
- Voolaid, H., Ganina, S.** (2011). *Füüsika ülesannete kogumik*. Tartu: Atlex.
- Whiteleggy, E. & Parry, M.**, (1999). Real-life Contexts for Learning Physics: Meanings, Issues and Practice. *Physics Education*, 34(2): 68–72.
- Woolnough, B.E., Allsop, T.** (1985). *Practical Work in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

## SUMMARY

### Dispersed Data Problems as an Option to Increase the Effectiveness of Physics Studies

The Doctoral Thesis of Svetlana Ganina is based on the eleven following publications in international scientific journals. The first four articles are attached to this thesis and are referred to in the text with Roman figures.

- I **Ganina, S., & Voolaid, H.** (2011). Impact of Problem Solving on Physics Studying Effectiveness Example Dispersed Data Problems. *Journal of Science Education*, 12(2), 11–22. [Accepted, in press]
- II **Ganina, S. & Sõrd, L.** (2011). Opportunities for Increasing Learning Efficiency in Physics through Problem Solving. *Physics Education*, 46 (2011), 376–377.
- III **Ganina, S. & Voolaid, H.** (2010). The Influence of Problem Solving on Studying Effectiveness in Physics. *Estonian National Defence College* 11, 79-92. Tartu: Tartu University Press.
- IV **Ganina, S.; Voolaid, H.** (2009). Влияние задач с рассеянными данными на повышение эффективности обучения физике. Физическое образование в вузах, 15(4), 102–109.

**Ganina, S., Sõrd, L., Voolaid, H.** (2011). Problem Solving in Physics as a Means of Increasing the Effectiveness of Studying Physics. In: *University teaching as a scholarship?* Tartu, Estonia.

**Ganina, S.; Voolaid, H.; Sõrd, L.** (2009). The effect of dispersed data problems and the binary equivalent solving method on physics studying efficiency. In: *Development of science and technology education in Central and Eastern Europe: 7th IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe*, Šiauliai, Lithuania, 50–55.

**Ganina, S.; Voolaid, H.** (2009). Binary equivalent solving method and dispersed data problems in studying physics. *Physics at schools and higher educational establishments. The international collection of scientific articles.* Sankt Peterburg: Russian Academy of Sciences, 18–24.

**Ganina, S.; Voolaid, H.; Sõrd, L.** (2009). Physics studying efficiency. *Natural Science Education at a general School.* Scientia Educologia, 46–51.

**Ganina, S.; Voolaid, H.** (2008). Hajusandmetega ülesannete roll füüsikaõppe efektiivsuse tõstmisel. *KVÜÕA toimetised.* Tartu: TÜ Kirjastus, 150–160.

**Ganina, S.; Voolaid, H.** (2008). Задачи с рассеянными данными как средство повышения эффективности обучения физике. *Физика в школе и ВУЗе: Международный сборник научных статей.* СПб.: Изд-во библиотеки Российской академии наук (БРАН): РГПУ им. А.Герцена, 134–138.

**Ganina, S.; Voolaid, H. (2007).** Füüsikaõppe efektiivsus ja selle tõstmise võimalused. *KVÜÕA Toimetised*. Tartu: TÜ Kirjastus, 106–126.

The contribution of the author of the thesis to writing these articles was the following:

- Article 1: Review of literature, the designing of the research, the making of the questionnaire and tests, collection and the analysis of the data and writing the article.
- Article 2: Review of literature, the designing of the research, the making of the questionnaire and tests, collection and the analysis of the data and writing the article.
- Article 3: Review of literature, the designing of the research, the making of the questionnaire and tests, collection and the analysis of the data and writing the article.
- Article 4: Review of literature, the designing of the research, the making of the questionnaire and tests, collection and the analysis of the data and writing the article.

This thesis consists of four chapters: The theoretical approach; planning of research and introduction of methodology; results and analysis of the results; and discussion.

**The first chapter** of this thesis deals with the relevance of the research topic to physics education at the upper-secondary level. It is an internationally proven issue that science and exact sciences are becoming less and less popular in Estonia as well as all over the world. Disengagement from real-life situations and an overtly theoretical approach cause decreased learning motivation. Certain measures have been taken to change that, e.g. changes in the National Curriculum of Physics (*Riigi Teataja*, 2010, 2011); the launching of the Estonian physics-specific portal [www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee) (2008), science exhibitions and events by the AHHA science centre (2010); popular events by the travelling science bus named *Ursa Major and Ursa Minor* (2010); workshops for upper-secondary physics (2009), etc.

**The second chapter** of the thesis introduces international research into physics studies motivation, the role of physics problems as one of the most wide-spread methods in physics studies, the types of problems and possible strategies of solving them. This chapter focuses on the role of problem solving in physics lessons, and on scientifically justified underlying strategies of physics problem solving. This chapter also includes a description of the possibilities for determining learning effectiveness.

Many researchers in favour of constructivist teaching and learning approach have agreed that it is essential to take into account students' prior knowledge,

relate the problems to their experience and real-life situations, and give more freedom for choosing solving procedures. Several researches distinguish between traditional and non-traditional problems. Many problem solving strategies have been elaborated for traditional physics problems. The types of problems, problem solving stages and strategies, also the role of problems in physics studies have been researched mainly from the point of their influence on study results.

It is also pointed out that some scientists (Irodova & Putina, 2007; Gerace & Beatty, 2005) propose very general guidelines for solving problems, whereas others (Dan Styer, 2002; Hollabaugh, 1993; Mudd, 1997; Heller, 1992a; Loide, 2005) prescribe very thorough multistage algorithms, while others (Krasin, 2005) aim at finding algorithms for problems depending on the type of problems, and some (Karu, 1996; Mudd, 1997) depending on the study topic.

The analysis of the Estonian National Curriculum in Physics and collections of physics problems revealed that problem solving is an integral part of physics studies in Estonia, but mostly using traditional problems. International research shows that traditional problems are effective for acquiring, retention and testing of knowledge. Therefore it is also necessary to research non-traditional physics problems, their solving strategies and influence on the effectiveness in studying physics. Furthermore, there is a need for specifying the concept of learning effectiveness and finding an instrument for measuring it. A need exists to test the instrument and find possible factors for increasing the effectiveness in teaching physics.

To the author's best knowledge no such research has been conducted in Estonia so far.

Thus, it is relevant to learn the different options that Estonian teachers use to teach physics in their classrooms in order to engage students in active problem solving; and then recommend that teachers make certain choices between problems, if necessary, bearing in mind the qualities that different problem solving procedures develops in a student.

From the above issues, three research topics have been determined:

- I. Although there is sufficient evidence that traditional physics problems are purposeful in acquiring factual and general physics knowledge, there is not enough evidence on how non-traditional problems influence these learning outcomes. New research in this field would help teachers make better choices between types of problems, considering specific learning objectives.
- II. Although there are several instruments for determining teaching and learning effectiveness, there is no consensus among Estonian teachers on how to measure it. An adequate mathematical formula for measuring teaching and learning effectiveness would be a useful tool for physics teachers in determining the purposefulness of chosen methods and problem types used.

- III. To the best knowledge of the author of this thesis, no scientific research has been conducted on the retention rate of physics knowledge and skills in Estonia. Retention is an important research topic in order to help teachers in planning their work and subsequent lesson objectives, considering suitable teaching methods and the use of students' prior knowledge.

The topics listed above were combined into a general research goal: to establish the extent of influence of solving dispersed data problems on studying effectiveness in physics.

The following research questions were formulated:

- (1) Is there a difference between the evaluation of upper-secondary teachers and learners regarding more motivating and more effective teaching methods in physics?
- (2) How is it possible to measure studying effectiveness in physics?
- (3) Are physics problems related to real-life situations as effective in acquiring factual and general knowledge as traditional physics problems?
- (4) Is there a difference between retention of knowledge and skills acquired in the process of solving traditional and non-traditional problems?
- (5) Do dispersed data problems motivate students more and increase studying effectiveness in physics?

Seven articles with the results and conclusions of this thesis have been published in international science magazines. Four of these have been attached to this thesis.

The research methodology has been introduced in **the third chapter** of this thesis.

To answer **the first research question**, 73 teachers and 1418 upper-secondary students filled in a questionnaire reflecting their opinion on teaching methods in physics: which methods motivate students more, and which methods they consider to be more effective.

The responses indicated that problem solving during lessons is one of the most effective ways for acquiring and retaining knowledge in physics. Students considered self-studying to be the most effective way of learning. At the same time students were more motivated by learning through lab tasks and experiments, watching videos and making field trips. Teachers pointed out the use of interactive methods to be a strong motivator. The use of multimedia resources – virtual experiments, simulations and digital materials – was also mentioned. Multimedia resources were also requested by teachers for the following topics: matter and field, molecular physics, and astronomy. This survey established that students and teachers alike considered lecture-type lessons with some experiments and problem solving to be the most widely used actual practice in studying physics.

It should be noted here that the results of the questionnaire survey date back to 2006 and might not reflect the reality in today's physics classes.

The corresponding results of this survey are partially presented in articles I and III.

In order to answer **the second research question** – how to measure the effectiveness of studying physics – a comparison of existing models for measuring effectiveness was performed, and a formula based on teachers’ proposals from the questionnaire was elaborated and tested. The new mathematical model was to be easy to use by teachers, the results prescriptive, uniform and easily interpreted. This formula was tested with pre- and post-tests in different fields of upper-secondary physics (mechanics, thermodynamics, electromagnetism, matter and field, optics and astronomy). These tests were taken at different intervals (pre-test before studying the topic, and post-tests immediately after studying the topic, then after a month, a year, two and three years, if possible) with the purpose of taking into account the time component. The main research was conducted in 2005–2007 with 1125 upper-secondary students as respondents. To the author’s best knowledge there is not much data for determining studying effectiveness in physics therefore the use of three instruments were compared: Hake’s (1998) formula, the effectiveness vector (Kushenko, 2006) and the comparison of averages. The results achieved with the formula elaborated by the author and the authors of the articles (I, III and IV) were compared to the other instruments and were concluded to be eligible on a significant statistical level ( $<0.00$ ).

The final formula is represented in the following form:

$$E = T_j - T_e,$$

where  $T_e = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n}$  – the average result of the pre-test ( $N$  is the number of students,  $n$  the number of questions in the test, and  $n_i$  the number of right answers per student);

$T_j = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n}$  – the average result of the post-test ( $N$  is the number of students,  $n$  the number of questions in the test, and  $n_i$  the number of right answers per student).

The values of effectiveness  $E$  are prescriptive and fall into the band  $-1$  and  $1$ . As the factors influencing studying effectiveness through teaching methods and motivation are numerous, it was not possible to include all of them into one research. Therefore, in accordance to students’ and teachers’ questionnaire answers, also according to the author’s own long-term teaching experience, a decision was taken to research only one, but a very widespread teaching method – problem solving, and the strategies connected to it; also to introduce a

new type of physics problems (dispersed data problems). In response to this research question the feasibility of using a prescriptive formula to measure studying effectiveness in physics alongside other instruments was established.

The corresponding results have been partially presented in articles I, III and IV.

A long-term teaching and learning experiment was carried out in 2007–2009 in order to answer **the third, fourth and fifth research questions**, using pre- and post-tests as outlined above. The results of the pilot research into establishing the components of problems which could influence their problem solving motivation, and thus increase learning effectiveness lead to the conclusions listed below.

While checking the results by one variable, the influence of all factors on problem solving was researched. It appeared that separating numeric data and problem description in a traditional problem it helped the students to understand the problem better. If there was superfluous or nonsufficient data in traditional problems, it gave raise to discussions that lead to correct solutions. The factor that problems were connected to real-life situations increased students' motivation to investigate into the context of problems. According to the pilot research results, dispersed data problems were prepared.

Members of control groups solved traditional physics problems, and members of experimental groups were given dispersed data problems by teachers. These dispersed data problems were prepared by the author of this thesis in concordance with the advice of an expert. 620 upper-secondary students and their 14 teachers participated in the experiment. Dispersed data problems differ from traditional problems as they have superfluous or nonsufficient initial data; and this data is separated from the problem's text. Participating teachers had been instructed on how to facilitate dispersed data problem solving as compared to the dominating mathematical component of traditional problems resulting in formal solving. Teachers were advised to harmonize mathematical and physical components, i.e. use the so-called two-portion equivalent method. The teachers were asked to give dispersed data problems to be solved independently, in pairs and in small groups, taking notes of the suitability of the method. It should be noted here that dispersed data problems were only prepared for three physics fields: mechanics, thermodynamics and electromagnetism. This decision was made on the basis that these fields enable the creation of suitable problems connected to real-life situations and the students' own experience. These physics fields were also chosen because they are taught in the first years of upper-secondary studies, thus enabling repetitive research experiments (which would be next to impossible after graduation).

Research proved that the results of the experimental group were higher than the results of the control group in all the tested physics fields, and the studying effectiveness increased by a statistically significant value. It appeared that dispersed data problems were more suitable for boys than for girls, giving even better results with an inserted picture or graph. It is worth mentioning that the



lowest effectiveness was in mechanics: 0.18 in the control group and 0.34 in the experimental group. The reasons behind these results need additional research. The highest effectiveness was achieved in thermodynamics: 0.33 in the control group and 0.51 in the experimental group. It appeared that boys gave more explanations for justifying the choice of answers ( $r = 0.64$ ,  $p < 0.05$ ) but the correctness of these explanations was not related to the students' gender (0.12,  $p < 0.05$ ) in the control group, and was related to the average level with the students' gender (0.53,  $p < 0.05$ ) in the experimental group. So the boys who had solved dispersed data problems gave more correct explanations for the post-test answers. It needs to be underlined here that the explanations did not add any points to the students' test results. All versions with the correct solving stages, the right regularity, conversion and derivation of the formula were considered to be correct. The post-test results in the experimental group were better when the dispersed data problems were solved in pairs or groups ( $r = 0.71$ ,  $p < 0.05$ ).

In answering **the third research question** – whether physics problems related to real-life situations are as effective in acquiring factual and general knowledge as traditional physics problems – the results of post-tests were categorized according to two features: questions related to knowledge (“Knowledge”) and application questions (“Application”). This research question gave a statistically significant positive result: there was no statistically significant difference between factors “Knowledge” and “Problem type”. Thus it can be argued that dispersed data problems are as effective as traditional problems in knowledge acquisition.

In answering **the fourth research question** – whether there is a difference between retention of knowledge and skills acquired in the process of solving traditional and non-traditional problems – also gave a positive answer based on pre- and post-test results. The multiple post-tests results of the experimental group revealed a more stable level of knowledge and skills. It is worth noting that results in the application of knowledge of the experimental group were more stable.

The corresponding results have been partially presented in articles II and III.

The answer to **the fifth research question** – whether dispersed data problems motivate students more and increase studying effectiveness in physics – is also positive. In their feedback the students appreciated the use of such physics problems in their classes. They argued that these problems make them focus on the content of the problem, they understand more, they see the connection to real-life situations and usage, they can solve them independently and they are not as formal as the traditional problems. Teachers gave the feedback that dispersed data problems were difficult in the beginning for both themselves and the students, but later the students asked for opportunities to solve them. The corresponding results have been partially presented in articles II and IV.

It is worth mentioning here that the used dispersed data problems and the achieved results are not competing to substitute traditional problems and do not aim at diminishing the role of traditional problems in studying physics. The

author of this thesis suggests the possibility of using dispersed data problems for physics teachers as one of the options for relating knowledge to real life and the application of this knowledge. Any teacher can prepare this type of problems on the basis of traditional problems by adding superfluous data and using simple, meaningful wording. Besides classroom use, dispersed data problems can be used for solving independent tasks as homework, using the help of peers, friends or family.

The results of this thesis confirm that using physics problems related to real-life situations and to the students' own experience will raise the effectiveness of teaching and learning of physics, and increase motivation to learn physics at the upper-secondary level.

## TÄNUSÕNAD

Täna oma juhendajat dotsent Henn Voolaidi asjalike nõuannete, suuniste eest ja kannatuse eest.

Täna kõiki õpetajaid, kes osalesid pikaajalises pedagoogilises eksperimendis abi, kasulike nõuannete ja hinnangute eest ning õpilasi kannatuse ja huvi eest meie meetodi vastu.

Täna eksperte Prof. Aarne Tõldseppa (Tartu Ülikoolist), Dots. Violeta Šilikene (Šauliai Ülikoolist), Prof. Aleksander Ljaptsevit (St. Peterburi Riiklikust Hertseni nimelisest ülikoolist), PhD Mari Karmi (Tartu Ülikoolist) ja Dots. Piret Luike (Tartu Ülikoolist) kasulike nõuannete ja soovitude eest.

Täna oma praeguseid ja endiseid kolleege Kaitsevæe Ühendatud Õppeasutustest, Tartu Ülikoolist ja Tartu Kutsehariduskeskusest kasulike nõuannete, eksperthinnangute ja huvitavate ideede eest, eriti Prof. Erik Männikut uute terminite sõnastamise, nimetuste valimise ja nende tõlkimise protsessi juhtimise eest.

Täna Pr Ene Voolaidi, Pr Piret Hioni ja Hr Roy Lowthiani keelelise abi ja korrektuuri eest.

Täna oma perekonda kannatuse, toetuse ja minusse uskumuse eest.



## **PUBLIKATSIOONID**

# ELULOOKIRJELDUS

## Svetlana Ganina

### Üldandmed

Ees- ja perekonnanimi: Svetlana Ganina  
Sünniaeg: 03.06.1965, Voronež, Venemaa  
Kodakondsus: Eesti  
Perekonnaseis: Abielus, kaks last  
Kontakt: Füüsika Instituut, Tartu Ülikool, Tähe, 4, 51013, Tartu, Eesti  
Telefon: +372 5037095  
e-mail: svetlana.ganina@ut.ee

### Haridus

2003–2011 Tartu Ülikool, doktoriõpe (akadeemilisel puhkusel 2005–2007 ja 2009–2010)  
2002–2003 Tartu Ülikool, 2003, MSc (Füüsika didaktika)  
1982–1987 Tartu Ülikool, füüsika-keemiateaduskond, füüsika osakond, füüsik-pedagoog  
1975–1982 Tartu 9. Keskkool

### Teenistuskäik

2010– ... Tartu Ülikool, Koolifüüsika keskus, füüsika didaktika lektor  
2003– ... Kaitseväe Ühendatud Õppeasutused, matemaatika-füüsika lektor  
2004–2010 Tartu Kutsehariduskeskus, füüsika õpetaja-metoodik  
1999–2004 FIE Svetlana Ganina, eraõpetaja  
1989–1999 Ulila põhikool, füüsika õpetaja  
1987–1989 Tartu Ülikool, Füüsika institut, insener

### Uuringu valdkonnad

Füüsikalised väärarusaamad; Füüsikaõppe-efektiivsus; Füüsika ülesannete lahendamine; Hajusandmetega ülesanded

# CURRICULUM VITAE

## Svetlana Ganina

### General data

Name: Svetlana Ganina  
Date and place of birth: 03.06.1965, Voronež, Russia  
Citizenship: Estonian  
Marital Status: Married, 2 children  
Work address: Institute of Physics, University of Tartu, Tähe, 4,  
51013, Tartu, Estonia  
Phone: +372 5037095  
E-mail: svetlana.ganina@ut.ee

### Education

2003–2011 University of Tartu, Faculty of Physics, Ph.D. studies  
in Physics Education (on acad. leave 2005–2007 ja  
2009–2010)  
2002–2003 University of Tartu, Faculty of Physics, MSc in  
physics didactics  
1982–1987 University of Tartu, Faculty of Physics and  
Chemistry, optical physics, teacher of physics  
1972–1982 Tartu Secondary School No. 9

### Professional employment

2010– ... University of Tartu, Institute of Physics  
2003– ... Estonian National Defence College, Chair of  
Mathematics and Natural Sciences, Lecturer  
2004–2010 Tartu Vocational School, Teacher of Physics  
1999–2004 Self-employer Svetlana Ganina, tutor  
1989–1999 Ulila Basic School, Teacher of Physics  
1987–1989 University of Tartu, Institute of Physics, Research  
associate

### Main fields of research

Misconceptions of physics; Efficiency of learning physics; Solving problems in  
physics; Dispersed Data Problems

## DISSERTATIONES PHYSICAE UNIVERSITATIS TARTUENSIS

1. **Andrus Ausmees.** XUV-induced electron emission and electron-phonon interaction in alkali halides. Tartu, 1991.
2. **Heiki Sõnajalg.** Shaping and recalling of light pulses by optical elements based on spectral hole burning. Tartu, 1991.
3. **Sergei Savihhin.** Ultrafast dynamics of F-centers and bound excitons from picosecond spectroscopy data. Tartu, 1991.
4. **Ergo Nõmmiste.** Leelishalogeniidide röntgenelektronemissioon kiiritamisel footonitega energiaga 70–140 eV. Tartu, 1991.
5. **Margus Rätsep.** Spectral gratings and their relaxation in some low-temperature impurity-doped glasses and crystals. Tartu, 1991.
6. **Tõnu Pullerits.** Primary energy transfer in photosynthesis. Model calculations. Tartu, 1991.
7. **Olev Saks.** Attoampri diapsoonis voolude mõõtmise füüsikalised alused. Tartu, 1991.
8. **Andres Virro.** AlGaAsSb/GaSb heterostructure injection lasers. Tartu, 1991.
9. **Hans Korge.** Investigation of negative point discharge in pure nitrogen at atmospheric pressure. Tartu, 1992.
10. **Jüri Maksimov.** Nonlinear generation of laser VUV radiation for high-resolution spectroscopy. Tartu, 1992.
11. **Mark Aizengendler.** Photostimulated transformation of aggregate defects and spectral hole burning in a neutron-irradiated sapphire. Tartu, 1992.
12. **Hele Siimon.** Atomic layer molecular beam epitaxy of  $A^2B^6$  compounds described on the basis of kinetic equations model. Tartu, 1992.
13. **Tõnu Reinot.** The kinetics of polariton luminescence, energy transfer and relaxation in anthracene. Tartu, 1992.
14. **Toomas Rõõm.** Paramagnetic  $H^{2-}$  and  $F^+$  centers in CaO crystals: spectra, relaxation and recombination luminescence. Tallinn, 1993.
15. **Erko Jalviste.** Laser spectroscopy of some jet-cooled organic molecules. Tartu, 1993.
16. **Alvo Aabloo.** Studies of crystalline celluloses using potential energy calculations. Tartu, 1994.
17. **Peeter Paris.** Initiation of corona pulses. Tartu, 1994.
18. **Павел Рубин.** Локальные дефектные состояния в  $CuO_2$  плоскостях высокотемпературных сверхпроводников. Tartu, 1994.
19. **Olavi Ollikainen.** Applications of persistent spectral hole burning in ultrafast optical neural networks, time-resolved spectroscopy and holographic interferometry. Tartu, 1996.
20. **Ülo Mets.** Methodological aspects of fluorescence correlation spectroscopy. Tartu, 1996.
21. **Mikhail Danilkin.** Interaction of intrinsic and impurity defects in CaS:Eu luminophors. Tartu, 1997.



22. **Ирина Кудрявцева.** Создание и стабилизация дефектов в кристаллах KBr, KCl, RbCl при облучении ВУФ-радиацией. Тарту, 1997.
23. **Andres Osvet.** Photochromic properties of radiation-induced defects in diamond. Tartu, 1998.
24. **Jüri Örd.** Classical and quantum aspects of geodesic multiplication. Tartu, 1998.
25. **Priit Sarv.** High resolution solid-state NMR studies of zeolites. Tartu, 1998.
26. **Сергей Долгов.** Электронные возбуждения и дефектообразование в некоторых оксидах металлов. Тарту, 1998.
27. **Кауро Kukli.** Atomic layer deposition of artificially structured dielectric materials. Tartu, 1999.
28. **Ivo Heinmaa.** Nuclear resonance studies of local structure in  $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$  compounds. Tartu, 1999.
29. **Aleksander Shelkan.** Hole states in  $\text{CuO}_2$  planes of high temperature superconducting materials. Tartu, 1999.
30. **Dmitri Nevedrov.** Nonlinear effects in quantum lattices. Tartu, 1999.
31. **Rein Ruus.** Collapse of 3d (4f) orbitals in 2p (3d) excited configurations and its effect on the x-ray and electron spectra. Tartu, 1999.
32. **Valter Zazubovich.** Local relaxation in incommensurate and glassy solids studied by Spectral Hole Burning. Tartu, 1999.
33. **Indrek Reimand.** Picosecond dynamics of optical excitations in GaAs and other excitonic systems. Tartu, 2000.
34. **Vladimir Babin.** Spectroscopy of exciton states in some halide macro- and nanocrystals. Tartu, 2001.
35. **Toomas Plank.** Positive corona at combined DC and AC voltage. Tartu, 2001.
36. **Kristjan Leiger.** Pressure-induced effects in inhomogeneous spectra of doped solids. Tartu, 2002.
37. **Helle Kaasik.** Nonperturbative theory of multiphonon vibrational relaxation and nonradiative transitions. Tartu, 2002.
38. **Tõnu Laas.** Propagation of waves in curved spacetimes. Tartu, 2002.
39. **Rünno Lõhmus.** Application of novel hybrid methods in SPM studies of nanostructural materials. Tartu, 2002.
40. **Kaido Reivelt.** Optical implementation of propagation-invariant pulsed free-space wave fields. Tartu, 2003.
41. **Heiki Kasemägi.** The effect of nanoparticle additives on lithium-ion mobility in a polymer electrolyte. Tartu, 2003.
42. **Villu Repän.** Low current mode of negative corona. Tartu, 2004.
43. **Алексей Котлов.** Оксианионные диэлектрические кристаллы: зонная структура и электронные возбуждения. Тарту, 2004.
44. **Jaak Talts.** Continuous non-invasive blood pressure measurement: comparative and methodological studies of the differential servo-oscillometric method. Tartu, 2004.
45. **Margus Saal.** Studies of pre-big bang and braneworld cosmology. Tartu, 2004.

46. **Eduard Gerškevičš.** Dose to bone marrow and leukaemia risk in external beam radiotherapy of prostate cancer. Tartu, 2005.
47. **Sergey Shchemelyov.** Sum-frequency generation and multiphoton ionization in xenon under excitation by conical laser beams. Tartu, 2006.
48. **Valter Kiisk.** Optical investigation of metal-oxide thin films. Tartu, 2006.
49. **Jaan Aarik.** Atomic layer deposition of titanium, zirconium and hafnium dioxides: growth mechanisms and properties of thin films. Tartu, 2007.
50. **Astrid Rekker.** Colored-noise-controlled anomalous transport and phase transitions in complex systems. Tartu, 2007.
51. **Andres Punning.** Electromechanical characterization of ionic polymer-metal composite sensing actuators. Tartu, 2007.
52. **Indrek Jõgi.** Conduction mechanisms in thin atomic layer deposited films containing TiO<sub>2</sub>. Tartu, 2007.
53. **Aleksei Krasnikov.** Luminescence and defects creation processes in lead tungstate crystals. Tartu, 2007.
54. **Küllike Rägo.** Superconducting properties of MgB<sub>2</sub> in a scenario with intra- and interband pairing channels. Tartu, 2008.
55. **Els Heinsalu.** Normal and anomalously slow diffusion under external fields. Tartu, 2008.
56. **Kuno Kooser.** Soft x-ray induced radiative and nonradiative core-hole decay processes in thin films and solids. Tartu, 2008.
57. **Vadim Boltrushko.** Theory of vibronic transitions with strong nonlinear vibronic interaction in solids. Tartu, 2008.
58. **Andi Hektor.** Neutrino Physics beyond the Standard Model. Tartu, 2008.
59. **Raavo Josepson.** Photoinduced field-assisted electron emission into gases. Tartu, 2008.
60. **Martti Pärs.** Study of spontaneous and photoinduced processes in molecular solids using high-resolution optical spectroscopy. Tartu, 2008.
61. **Kristjan Kannike.** Implications of neutrino masses. Tartu, 2008.
62. **Vigen Issahhanjan.** Hole and interstitial centres in radiation-resistant MgO single crystals. Tartu, 2008.
63. **Veera Krasnenko.** Computational modeling of fluorescent proteins. Tartu, 2008.
64. **Mait Müntel.** Detection of doubly charged higgs boson in the CMS detector. Tartu, 2008.
65. **Kalle Kepler.** Optimisation of patient doses and image quality in diagnostic radiology. Tartu, 2009.
66. **Jüri Raud.** Study of negative glow and positive column regions of capillary HF discharge. Tartu, 2009.
67. **Sven Lange.** Spectroscopic and phase-stabilisation properties of pure and rare-earth ions activated ZrO<sub>2</sub> and HfO<sub>2</sub>. Tartu, 2010.
68. **Aarne Kasikov.** Optical characterization of inhomogeneous thin films. Tartu, 2010.

69. **Heli Valtna-Lukner.** Superluminally propagating localized optical pulses. Tartu, 2010.
70. **Artjom Vargunin.** Stochastic and deterministic features of ordering in the systems with a phase transition. Tartu, 2010.
71. **Hannes Liivat.** Probing new physics in  $e^+e^-$  annihilations into heavy particles via spin orientation effects. Tartu, 2010.
72. **Tanel Mullari.** On the second order relativistic deviation equation and its applications. Tartu, 2010.
73. **Aleksandr Lisovski.** Pulsed high-pressure discharge in argon: spectroscopic diagnostics, modeling and development. Tartu, 2010.
74. **Aile Tamm.** Atomic layer deposition of high-permittivity insulators from cyclopentadienyl-based precursors. Tartu, 2010.
75. **Janek Uin.** Electrical separation for generating standard aerosols in a wide particle size range. Tartu, 2011.