

TARTU ÜLIKOOL

LOODUS- JA TÄPPISTEADUSTE VALDKOND

Füüsika instituut

**Mõistelise testi kasutamine mehaanika väärarusaamade tuvastamiseks**

Bakalaureusetöö

Füüsika eriala

(6 EAP)

Kaido Ratas-Pähnapuu

Juhendaja: Kaido Reivelt, *PhD*

Tartu 2022

## **Infoleht**

### **Mõistelise testi kasutamine mehaanika väärarusaamade tuvastamiseks**

Antud bakalaureusetöös uuriti jõu mõistelise testi (FCI ingl *Force Concept Inventory*) tulemuste muutust Tartu Ülikooli füüsika, keemia ja materjaliteaduse õppekava tudengitel. Arusaamade uurimiseks kasutati jõu mõistelist testi, mida lahendasid esimese kursuse tudengid kolm korda ühe õppeaasta jooksul. Töö tulemusena selgub, et testi tulemused olid kõige paremad õppeaasta keskel, kuid õppeaasta lõpus esinevad vead tulenevad mõnevõrra ühtsematest mudelitest. Tulemusi saaks kasutada mehaanika õpimeetodite arendamiseks.

**Märksõnad:** füüsikaharidus

**CERCS:** S270 Pedagoogika ja didaktika

## **Abstract**

### **Using a concept inventory to identify Newtonian misconceptions**

In this bachelor's thesis, the progression of results from the Force Concept Inventory are studied among first-year students at Tartu University physics, chemistry and material science curriculum. The results of the Force Concept Inventory test which were performed three times during the academic year were analyzed. The results of these tests show that the best scores were those done during the middle of the academic year and the models for incorrect answers are most consistent at the end of the academic year. The results can be used to develop tools for teaching mechanics.

**Keywords:** physics education

**CERCS:** S270 Pedagogy and didactics

## Sisukord

Sissejuhatus .....	5
1. Väärarusaamad füüsisikas ja nende tekkimine .....	6
1.1. Esimesed mehaanika väärarusaamad.....	6
1.2. Väärarusaamad Newtoni mehaanikas õpilaste seas.....	6
1.2.1. Kinemaatika väärarusaamad .....	8
1.2.2. Edasiviiv jõud.....	8
1.2.3. Aktiivsed jõud .....	9
1.2.4. Vastastikmõjud.....	9
1.2.5. Vektorite liitmine .....	10
1.2.6. Liikumist mõjutavad jõud .....	10
1.2.7. Takistus .....	10
1.2.8. Gravitatsioon .....	11
1.3. Mõistelised testid kui tööriistad füüsikaõpetajale .....	11
1.4. Jõu mõisteline test .....	12
2. Uurimuse meetodika.....	14
2.1. Katse kirjeldus ja valim .....	14
3. Andmetöötlus.....	15
3.1. Testi vastuste jaotus.....	15
3.2. Kõikide vastuste kontsentratsioonianalüüs.....	18
3.3. Valede vastuse analüüs.....	20
Kokkuvõte .....	22
Allikad.....	23
Lisad .....	26
Lisa 1. ....	26
Lisa 2. ....	27
Lisa 3. ....	28
Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	29

## Sissejuhatus

Ülikoolide mehaanika sissejuhatava kursuse lõpetanud tudengitel on raskusi Newtoni seaduste rakendamisel. [1] Väärarusaam on inimeste arvates õige, kuid sisuliselt vale seisukoht. [2] Väärarusaamadel põhinevad selgitused takistavad õpilastel uute teadmiste omandamist, kuna need sõltuvad varasemate teadmiste arusaamisest. [3] Vigade analüüs ja mõistmine saab väärarusaamade tuvastamiseks olla kasulik tööriist õpetajale.

Tudengite mehaanika ja kinemaatika väärarusaamade uurimiseks kasutatakse sageli jõu mõistelist testi (FCI – ingl *Force Concept Inventory*). [1, 4] Test koosneb valikvastustega küsimustest ning on põhjalikult valideeritud.

Käesoleva töö eesmärk on uurida ja analüüsida Tartu Ülikooli füüsika, keemia ja materjaliteaduse tudengite jõu mõistelise testi tulemusi esimese akadeemilise aasta vältel.

Töö esimeses osas on kirjeldatud mehaanika väärarusaami ning üritatud selgitada, miks on need laialt levinud. Antud on ka ülevaade mõistelisest testist kui tööriistast ning täpsemalt jõu mõistelisest testist. Teises osas analüüsitakse testi vastuseid, kasutades selleks L. Bao ja E. F. Redishi kontsentratsioonianalüüsi meetodit.

## **1. Väärarusaamad füüsikas ja nende tekkimine**

### **1.1. Esimesed mehaanika väärarusaamad**

Raamatus “Füüsika” üritas Aristoteles kirjeldada erinevate loodusnähtuste seaduspärasusi ning leida neile põhjuseid. [5] Kuigi teose sisu tervikuna ei ole võrreldav tänapäevaste teadmistega füüsikast, on seal üritatud selgitada ka liikumist seadustega. Üks nendest seadustest esitatakse väitena, et kukkumisel langevad raskemad kehad kiiremini loomulikku asendisse kui kergemad kehad. [6] Nimetatud väärarusaam tekib vaatlusest ehk informatsiooni omandamisest meeltega, näiteks nägemis- või kompamismeelega. Kuna õpilastel esineb sama väärarusaam, [4, 7, 8] võib järeldada, et õpilased tuginevad mehaanika küsimuste selgitamisel vaatluspõhiste järeldustele, mitte õpitud füüsikateadmistele.

### **1.2. Väärarusaamad Newtoni mehaanikas õpilaste seas**

Väärarusaamad, mis tulenevad vaatluspõhistest järeldustest, takistavad õpilastel jõu mõistmist. [3] Füüsikaõpe algab Eestis kaheksandas klassis, kuid osad mõisted, näiteks “jõud” ja “inerts”, omavad tähendust ka kõnekeeles. Enne liikumise ja vastastikmõjude vektoriaalset ja arvulist analüüsi peavad õpilased selliseid protsesse kirjeldama vaatluspõhiselt, millest võivad tekkida väärarusaamad.

Mehaanika seaduste väärarusaami saab jaotada mitmel erineval viisil. Varasemates töödes on välja toodud neli kõige tüüpilisemat väärarusaama seoses Newtoni kolmanda seadusega: kiirus on võrdeline jõuga, suure massiga kehal on rohkem jõudu kui väiksemal, lükkavad kehad rakendavad rohkem jõudu kui need, mida lükatakse ja kiirendavad objektid rakendavad teistest rohkem jõudu. [9] Käesolevas töös on kasutatud David Hestensi, Malcolm Wellsi ja Gregg Swackhameri (1992) töö jaotust. Jaotus koosneb kaheksast osast: kinemaatika, edasiviiv jõud, aktiivne jõud, vastastikmõju, vektorite liitmine, ringliikumine, takistus ja gravitatsioon (joonis 1). [7]

## Kinemaatika

- Kiiruse ja kiirenduse mitte eristamine
- Vektorite valesti liitmine
- Asukoha ja kiirenduse mitte eristamine

## Edasiviiv jõud

- Löögilt saadud edasiviiv jõud
- Edasiviiva jõu kaotus või taastumine
- Ringjooneline edasiviiv jõud
- Edasiviiva jõu kasvamine
- Edasiviiva jõu kahanemine

## Aktiivne jõud

- Jõudu avaldavad aktiivsed agendid
- Liikumine avaldab aktiivset jõudu
- Paigalseisvad objektid ei avalda jõudu
- Kiirus on võrdeline jõuga
- Kiirendus näitab jõu kasvu
- Jõud tekitab kiirendust lõppkiiruse saavutamiseni
- Aktiivne jõud kustub

## Vastastikmõju

- Suurem mass avaldab suuremat jõudu
- Aktiivseimad agendid avaldavad suurimat jõudu

## Vektorite liitmine

- Liikumise suuna määrab suurim jõud
- Liikumise suuna määrab jõudude kompromiss
- Liikumise suuna määrab viimasena mõjuv jõud

## Liikumist mõjutavad jõud

- Tsentrifugaaljõud
- Takistused jõudu ei avalda

## Takistus

- Liikumise peatab mass
- Liikumine esineb, kui jõud on takistusest suurem
- Takistus avaldab liikumise suunas vastassuunalise jõu

## Gravitatsioon

- Õhurõhk aitab gravitatsioonijõudu
- Gravitatsioon on massi omadus alla kukkuda
- Gravitatsioonijõud suureneb kukkudes
- Gravitatsioon mõjub pärast edasiviiva jõu lõppemist

Joonis 1. Väärarusaamade jaotus Hestensi, Wellsi ja Swackhameri (1992) töö põhjal [7]

### 1.2.1. Kinemaatika väärarusaamad

Kinemaatika kirjeldab kõike liikumisest, eraldatuna jõududest, mis seda tekitavad. [10] Liikumist kirjeldavad peamised suurused on kiirus ja kiirendus ning on oluline vahet teha ja aru saada, millal esineb üks või teine. Väärarusaamad kinemaatikas tulenevad peamiselt sellest, et õpilastel esineb raskusi kiirenduse mõistest aru saamisel ja selle eristamisel kiirusest. [11] Näide sellisest väärarusaamast oleks arvamus, et paigaloleva keha kiirendus on alati null. Arvatakse ka seda, et suure kiirendusega kehal on suur kiirus. [7]

Kiiruste liitmisel peab arvestama, et kiirusel on suund. [12] Kui keha liigub mingis suunas kiirusega  $v_1 = 1 \frac{m}{s}$  ja kui seda mõjutada liikumisega ristavas suunas nii, et ristuva suuna kiirus on  $v_2 = 1 \frac{m}{s}$ , siis kiiruste vektorite summa ei ole võrdne komponentide summaga  $1 \frac{m}{s} + 1 \frac{m}{s} \neq 2 \frac{m}{s}$ . Väärarusaam oleks arvamus, et keha kiirus pärast mõjutust oleks võrdne, väikem või võrdne kiiruste summaga.

### 1.2.2. Edasiviiv jõud

Edasiviiv jõud abstraktse ideena esineb Aristoteelse teoses “Taeval”, kus on selgitatud kehade liikumise põhjuseid. Jaotanud maailma elementideks, väitis ta, et liikumise põhjustaja on kehade sisemine tahe olla elemendi juures, millest keha koosneb – näiteks õhku visatud kivi langeb tagasi maapinnale, kuna koosneb maa elemendist. [13]

Kuna õpilaste väärarusaamad tulenevad osaliselt vaatluspõhistest järeldustest, on varasemates töödes kasutatud edasiviivat jõudu, et kirjeldada õpilaste selgitust liikumapanevast jõust. [7, 14] Clement (1982) demonstreeris kahe näite abil, kuidas tudengid kasutavad edasiviivat jõudu, et selgitada liikumist. Ühes katses paluti õpilastel joonistada võnkuvale matemaatilisele pendlile juurde nooled, mis näitavad pendlit mõjutavaid jõudusid. Matemaatiline pendel on lihtsustatud mudel pendlist, mis ripub venimatu hõõrdevaba niidi otsas. [15] Kuna pendli puhul toimub liikumine edasi-tagasi, lisati sellele sageli jõudu tähistav nool liikumise suunas. Edasiviiva jõu kahanemist demonstreeris katse, kus õpilastel paluti joonisele märkida mündi vertikaalsel viskel kehale mõjuvad jõud. Kuna keha liigub viske alguses ülesse, oli levinud selgitus, et viske alguses mõjub mündile suurem üleslükkejõud kui raskusjõud ning ajapikku saab üleslükkejõud otsa, mistõttu hakkab keha alla kukkuma. [12]

### 1.2.3. Aktiivsed jõud

Kui kehale mõjub gravitatsioonijõud ja keha seisab paigal, siis peab gravitatsioonijõu kompenseerima vastassuunaline sama suur jõud, näiteks toereaktsioon. Kui kehale ei mõju ühtegi jõudu, liigub see ühtlaselt suunda muutmata või seisab paigal, kui kiirus on null. [16] Vaatluse põhjal võib õpilastel tekkida järeldus, et liikumiseks on vaja aktiivset jõudu. Varasemalt tehtud töös paluti tudengitel joonistada jõujooned pildile, mis kujutab laua peal liikumatut kasti. Vähem kui pooled õpilased joonistasid liikumatule kastile nii gravitatsioonijõudu tähistava noole kui ka gravitatsioonijõu suhtes vastassuunalise noole. [8] Vaatluspõhisel järeldusel ei saa laua peal olev liikumatu kast kehasid lükata või tõmmata, kuid inimene või liikuv auto saab – tegemist on aktiivse jõu allikaga ehk aktiivse agendiga.

Kui kehale ei mõju ühtegi jõudu, liigub see ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Juhul kui kiirus on null, seisab keha paigal. Keha kiiruse muutmiseks on vaja avaldada sellele jõudu. [8] Vaatluse põhjal võib aga järeldada, et kehade liigutamiseks on neid vaja lükata või tõmmata ning mida tugevamalt keha jõuga mõjutada, seda kiiremini need hakkavad liikuma. Sellisel juhul lõppeb liikumine siis, kui aktiivne jõud saab otsa.

### 1.2.4. Vastastikmõjud

Newtoni kolmas seadus selgitab, et kui keha avaldab jõudu teisele kehale, peab teine keha avaldama vastassuunalist võrdset jõudu esimesele kehale. [16] Õpilastel esineb raskusi selle seaduse rakendamiseks. [8] Kuna sõna “jõud” omab kasutust väljaspool füüsikat, võib tekkida väärarusaamu vastastikmõjude kirjeldamisel Newtoni kolmanda seaduse abil. Kui kaks keha mõjutavad üksteist jõududega ja kehad liiguvad samal hetkel mingis suunas, võib tekkida väärarusaam, et üks keha mõjutab teist väiksema jõuga, eriti kui ühel kehal on suurem mass. Kuna õpilastel on raske uskuda, et Newtoni kolmas seadus kehtib [8], pakub see õpetajatele suurepärase võimaluse demonstreerida, kuidas vaatluspõhine järeldus võib viia eksiteele.

### 1.2.5. Vektorite liitmine

Jõudude vektorite liitmine võib tekitada õpilastele raskusi. [4, 7] Kui kehale mõjub mitu jõudu, võime superpositsiooni printsiibist leida kehale mõjuva resultantjõu. Juhul kui kehale mõjub ühes sihis mitu jõudu, võib tekkida väärarusaam, et keha liigub jõu suunas, mis on teisest suurem või mõjus viimasena. J. Clement (1982) demonstreeris väärarusaama raketi probleemiga (ingl *rocket problem*). Rakett, millele ei mõju välised jõud, triivib kosmoses sirgjooneliselt mingis suunas ning lülitab sisse mootori, mis tekitab lühikest aega konstantse raketile mõjuva jõu. Raketile mõjuv jõud mõjub täisnurga all varasema liikumise suunast. Õpilased pidid joonisele lisama raketi liikumise suuna alates mootori väljalülitamise hetkest. Probleemile vastas õigesti ainult 11% tudengitest, mis näitab, et õpilaste vastus põhines väärarusaamale. [12]

### 1.2.6. Liikumist mõjutavad jõud

Kui keha liigub mööda ringjoont, peab olema jõud, mis keha sellel ringjoonelisel trajektoorigil hoiab. Kui keha ringjoonelisel trajektoorigil hoidev jõud kaob, jätkab keha liikumist mööda sirgjoonelist trajektoori. [17] Ringliikumisel mõjuvad jõud tekitavad õpilastele raskusi. [18] Kui ringliikumise selgitamisel tugineda vaatluspõhisele järeldusele, võib õpilane jõuda väärarusaamani, et liikumise jõud hoiab keha liikumas mööda ringjoont. [17]

Kui keerutada keha ringjooneliselt mööda trajektoori, peab rakendama jõudu, et vältida keha sirgjoonelist liikumist. Õpilaste väärarusaama kirjeldaks näide, et kehale mõjub jõud, mille suund on trajektoori keskpunktist väljapoole.

### 1.2.7. Takistus

Newtoni kolmanda seaduse põhjal avaldab takistus, näiteks sein, vastasmõjus olevale kehale, näiteks kellelegi, kes seda lükkab, täpselt sama suurt jõudu, kui viimane sellele. Kuna takistus ise liikumist esile ei kutsu, võib tekkida väärarusaam, et takistus ei mõju kehale jõuga, vaid jääb lihtsalt teele ette. [16]

Newtoni teine seadus näitab, et keha kiiruse muutumine on võrdeline sellele mõjuva jõuga ning kiiruse muutuse suund on mõjuva jõu suunaline. Kui keha hakkab liikuma lükkamisel mõjuvast

jõust, võib vaatluspõhiselt järeldada, et viimase keha nihutamiseks tuleb sellele mõjuvat jõudu suurendada, kuni see on suurem takistusjõust, mis hoiab keha paigal. [16]

### **1.2.8. Gravitatsioon**

Massiga keha ja Maa vahel mõjub gravitatsioonijõud – Maa tõmbab kehasid enda poole ja kehad Maad enda poole võrdse jõuga. Õpilastele tekitab raskusi raskusjõu kirjeldamine. [19] Kuna suure massiga keha, näiteks külmkappi, on üldiselt raskem liigutada, kui sellest väiksema massiga kehasid, võib tekkida väärarusaam, et kehad seisavad paigal massi tõttu.

Gravitatsioonijõud on ruutpöördvõrdeline kehade vahelise kaugusega. [20] Kui visata keha õhku, langeb keha kiirenedes alla. Õpilastel võib esineda vaatluspõhine väärarusaam, et kukkumise kiirus tekib gravitatsioonijõu suurenemisest.

### **1.3. Mõistelised testid kui tööriistad füüsikaõpetajale**

Tagasiside õpilasele on üks tugevamaid mõjusid õppimisele ja motivatsioonile. [21] Õpilaste tagasisidestamist kasutatakse kõikjal alates huviringidest kuni kõrgkoolideni. Nagu saab õpilane tagasisidet enda õpiprotsessi kohta, peaks ka õpetaja analüüsima enda õpimeetodite kvaliteeti läbi tagasiside. Kuigi hinded pakuvad võimalust tulemuslikult määrata õpetaja edukust, ei pruugi hinded pakkuda suuremat pilti õpilaste tulemustest. Efektiivne tagasiside saab aga pakkuda õpetajatele informatsiooni, mille abil enda õpimeetodeid muuta. [22]

Mõistelised testid on üldjuhul valikvastustega testid, mille eesmärk on tuvastada õpilaste väärarusaamasid. Testide loomisel koostatakse valikvastused selliselt, et need vastaksid mingi valdkonna üldlevinud väärarusaamadega. Geenitriivi õpetamiseks bioloogias arendati välja mõisteline test GeDI, kus eksitavateks valikvastusteks uuriti kvalitatiiivsete intervjuudega välja enamlevinud väärarusaamad tudengite seas ning selle tulemusena kasutatakse seda ka tudengite arusaamade analüüsiks. [23] Füüsikas on välja töötatud mitmes eri valdkonnas selliseid teste. Mõistelised testid on avaldanud suurt mõju füüsikahariduse muutustele, pakkudes viisi mõõta õpilaste arusaamist ning sellest tulenevalt ka õpimeetodite efektiivsust. [17] Testidel esineb ka eelis, et tulemused tekivad digitaalsel kujul, mistõttu on nendega andmetöötlusprogrammides

lihtsam toimetada. Digitaalsed testid annavad parema tagasiside kui paberkandjal sooritatud testid ning parema tagasiside abil saab õpetaja positiivselt mõjutada õpilaste õpitulemusi. [19]

Mõistelise testi edukus sõltub küsimustest, mis testis esinevad. Kember ja Ginns (2012) kirjeldasid protsessi, kuidas tuleks mõistelisi teste arendada. Esmalt tuleb testi koostajal mõista, millistest ideedest saadakse valesti aru. Seejärel sooritatakse kvalitatiivne uuring õpilaste väärarusaamadest, mille põhjal moodustatakse test, kus õpilaste väärarusaamasid kasutatakse eksitavate valikutena. Järgmise sammuna kontrollitakse moodustatud küsimuste õigsust ja kohtutakse õpilastega, kes vastavad küsimustele suuliselt, et saada õpilastelt intuiitviseid vastuseid ilma pika ettevalmistusajata. [24]

Messick (1989) kirjeldas, et mõistelise testi valideerimisel hinnatakse kuute omadust: eesmärgilisus, sisukus, struktuur, üldistavus, välisus ja mõju. Eesmärgilisus näitab valideerimisel, mis eesmärgil on test loodud. Sisukus näitab, kas testi küsimused koosnevad õpilaste väärarusaamadest. Struktuuri hindamisel võrreldakse tulemuste analüüsi asjakohasust. Üldistavusel hinnatakse, kas testi tulemused kattuvad, kui test on läbi viidud erinevates koolides. Välisuse all on mõeldud tulemuste võrdlust sarnaste testidega ning mõju näitab, kas test on suutnud lahendada probleeme, mis eesmärgil test loodi. [25]

Tuntuim mõisteline test on jõu mõisteline test. Selle testi teemaks on Newtoni seadused. Testi tulemustest selgub, et vaatluspõhisel järeldusel põhinevad arusaamad mehaanikast üldiselt ei ole vastavuses Newtoni seadustega [7]

#### **1.4. Jõu mõisteline test**

Jõu mõisteline test arendati välja aastal 1992, et kontrollida kvalitatiivset arusaamist “jõu” mõistest ülikooli esimese semestri tudengite seas. [7] Test on läbinud valideerimise ning leiab rakendust mitmetes uurimistöodes. [1, 3, 4, 7]

Paljudes uurimistöodes, mis kasutavad jõu mõistelist testi, viiakse läbi eel- ja järeltestid [4, 7]. Varasemalt tehtud uurimuse põhjal [26] on jõu mõisteline test jaotatud kaheks versiooniks nii, et küsimused ei korduks, kuid teemad jääksid samaks. Kuna jõu mõisteline test on hea viis õpilaste väärarusaamade tuvastamiseks, on käesolevas töös kasutatud seda tudengite jõu arusaamise

hindamisel, eesmärgiga tuvastada Tartu Ülikooli füüsika, keemia ja materjaliteaduse tudengite mehaanika väärarusaamu ja lihtsustada võrdlust analoogsete töödega.

## 2. Uurimuse metoodika

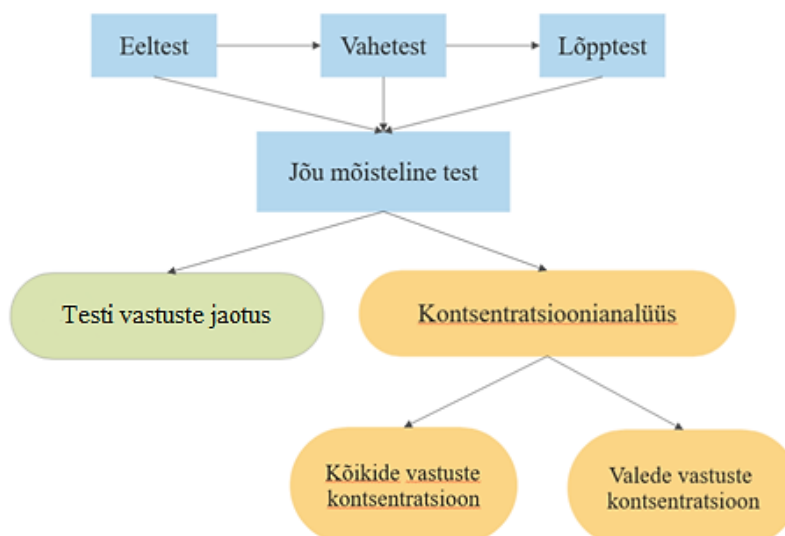
### 2.1. Katse kirjeldus ja valim

Töö viidi läbi 2021/2022 õppeaastal Tartu Ülikooli füüsika, keemia ja materjaliteaduse õppekava tudengitega, kes osalesid katses vabatahtlikult. Testid viidi läbi loengutevahelisel ajal.

Test viidi läbi kolmes osas – eeltestina, vahetestina ja lõpptestina. Testide ajavahemikud planeeriti nii, et eeltestil ei oleks tudengitel veel kõrgkoolis omandatud teadmisi mehaanika kohta, vahetest pärast aine Füüsikaline maailmapilt läbimist ning lõpptest pärast aine Mehaanika ja soojusõpetus läbimist.

Enne testi algust teavitati tudengeid, et sooritatakse test, mille eesmärk ei ole hinnata individuaalse tudengi tulemust, vaid saada tagasisidet tudengite väärarusaamadest. Pärast lühikest sissejuhatust said tudengid ligipääsu leheküljele, kus test sooritati individuaalselt isiklikul elektroonilisel seadmel. Testi lahendamiseks oli aega 20 minutit ning test koosnes 14 küsimusest (lisad 1 ja 2).

Testi lahendamise käigus said õpilased kasutada ainult nutitelefoni või sülearvutit. Kõrvaliste vahendite kasutamine ei olnud lubatud. Pärast testi lahendamist ei saanud sooritajad tagasisidet, vaid veebileht sulgus ning lõpetanutel paluti lahkuda. Pärast viimase testi sooritamist said tudengid näha oma lõpptesti tulemust. Kõigi kolme testi tulemusi (lisa 3) võrreldi ja analüüsiti kontsentratsioonianalüüsi meetodiga (joonis 2).

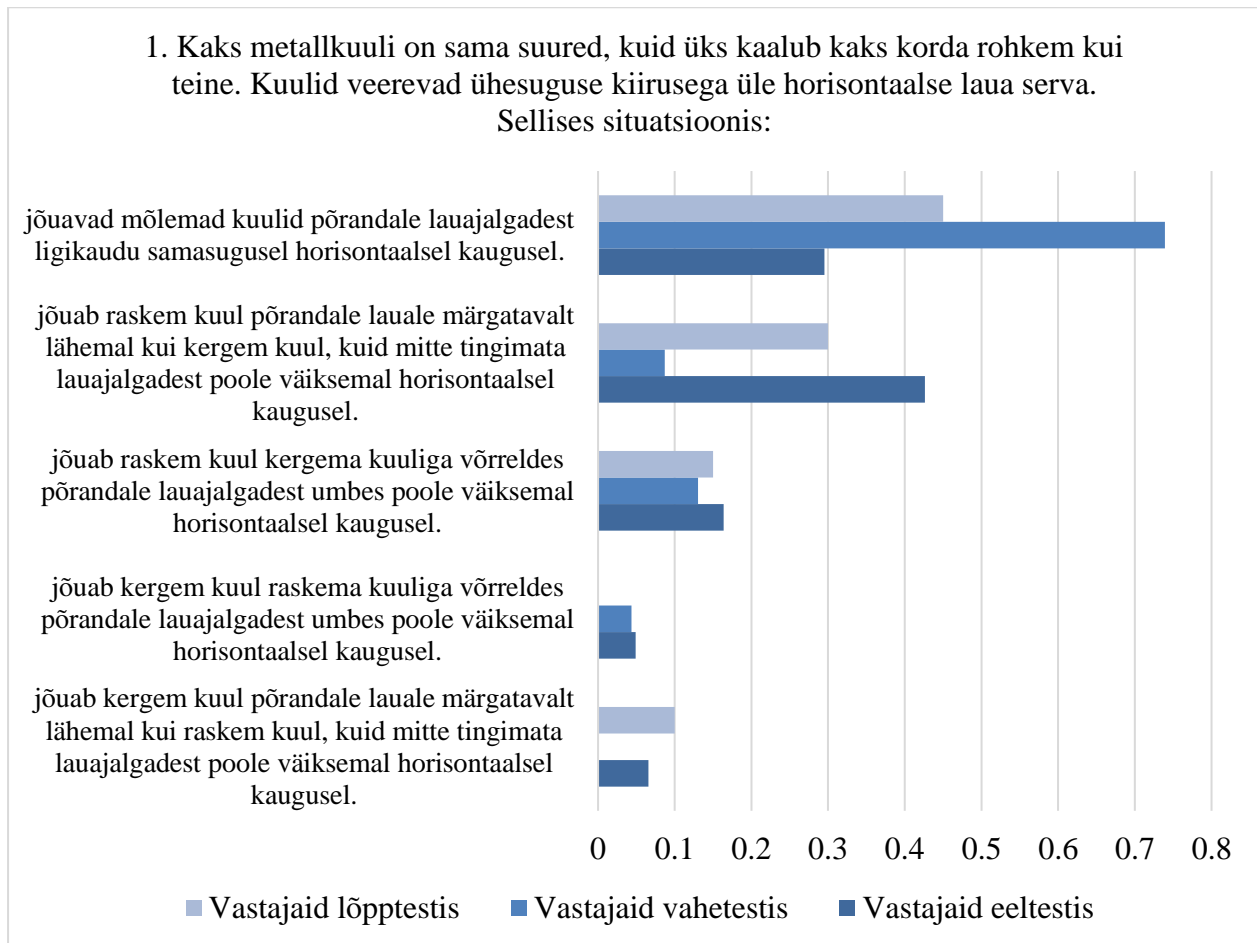


Joonis 2. Töös tehtud andmekogumis ja -töötlusprotsess

### 3. Andmetöötlus

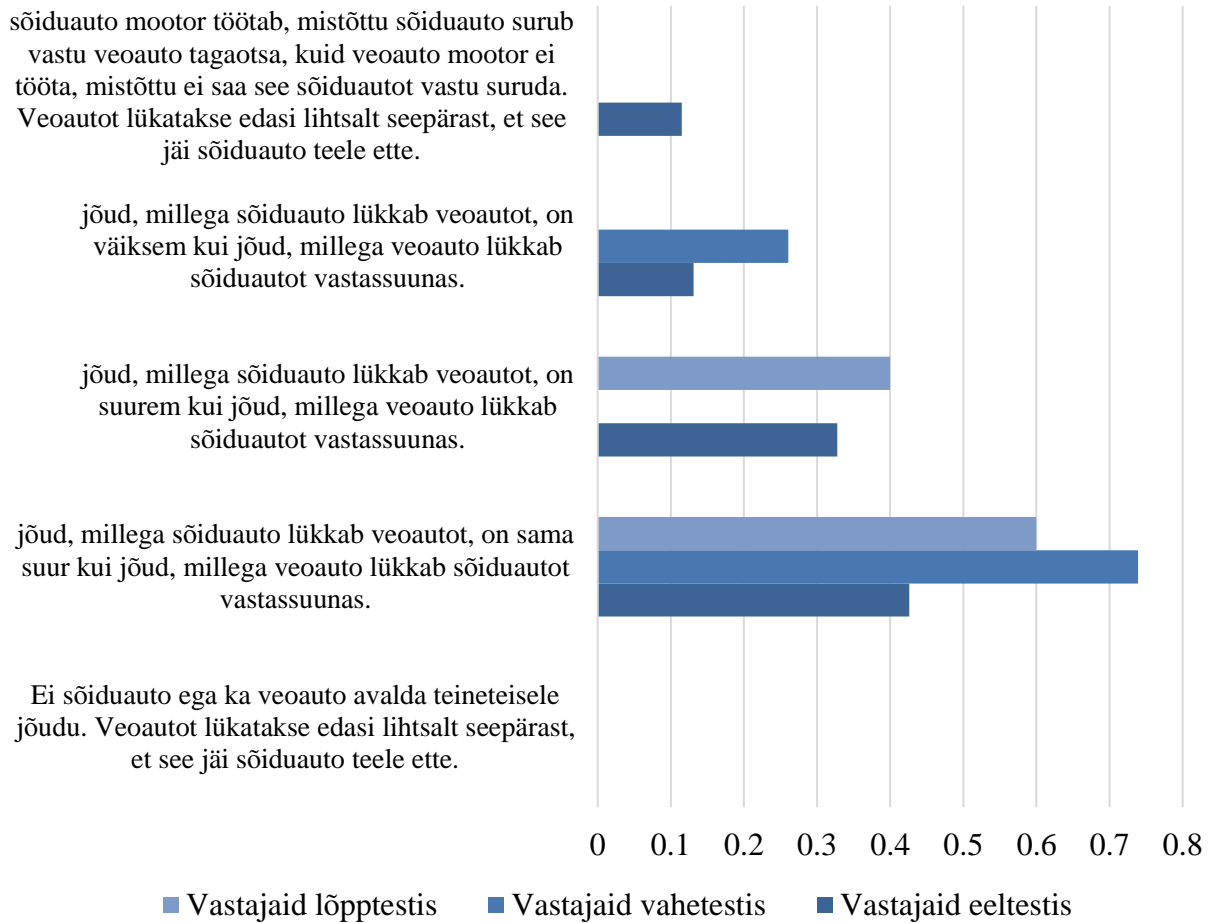
#### 3.1. Testi vastuste jaotus

Andmetöötluse esimeses osas on esitatud kolme kattuva küsimuse vastuste normaliseeritud jaotust tulpdiagrammina (joonised 3, 4, 5) ja keskmiste tulemuste võrdlus (joonis 6). Testi vastuste jaotusest on välja jäetud küsimused, mille vastamiseks on vajalikud selgitavad joonised või kui küsimused ei kattu läbiviidud testides.



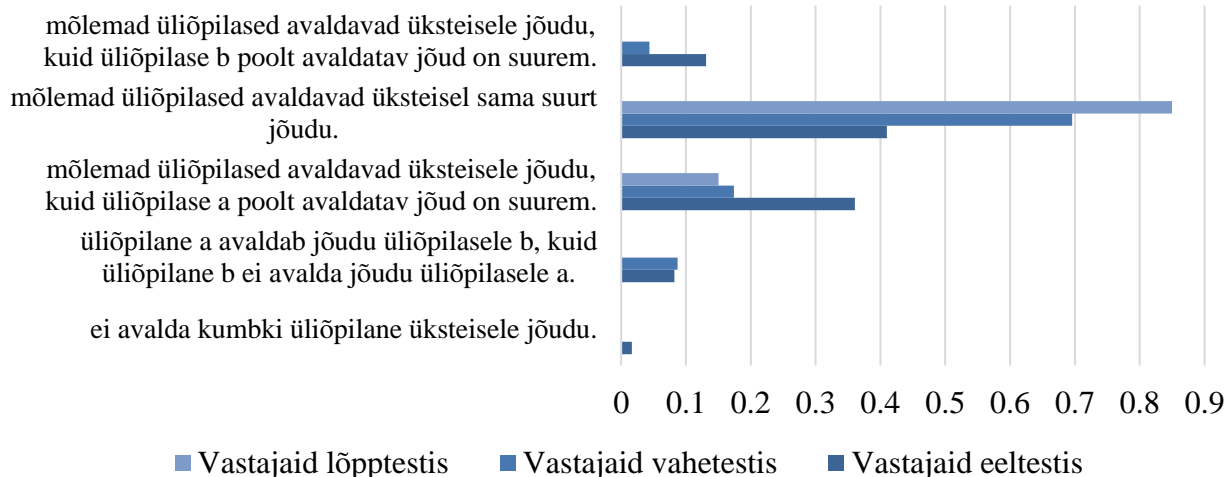
Joonis 3. Eel-, vahe- ja lõpptesti esimese küsimuse vastuste normaliseeritud jaotus

2. Suur veoauto läheb maanteel katki ning väike sõiduauto lükkab seda linna poole, nagu näha joonisel. Kui väike auto üritab veoautot lükates saavutada oma tavalist sõidukiirust, siis:



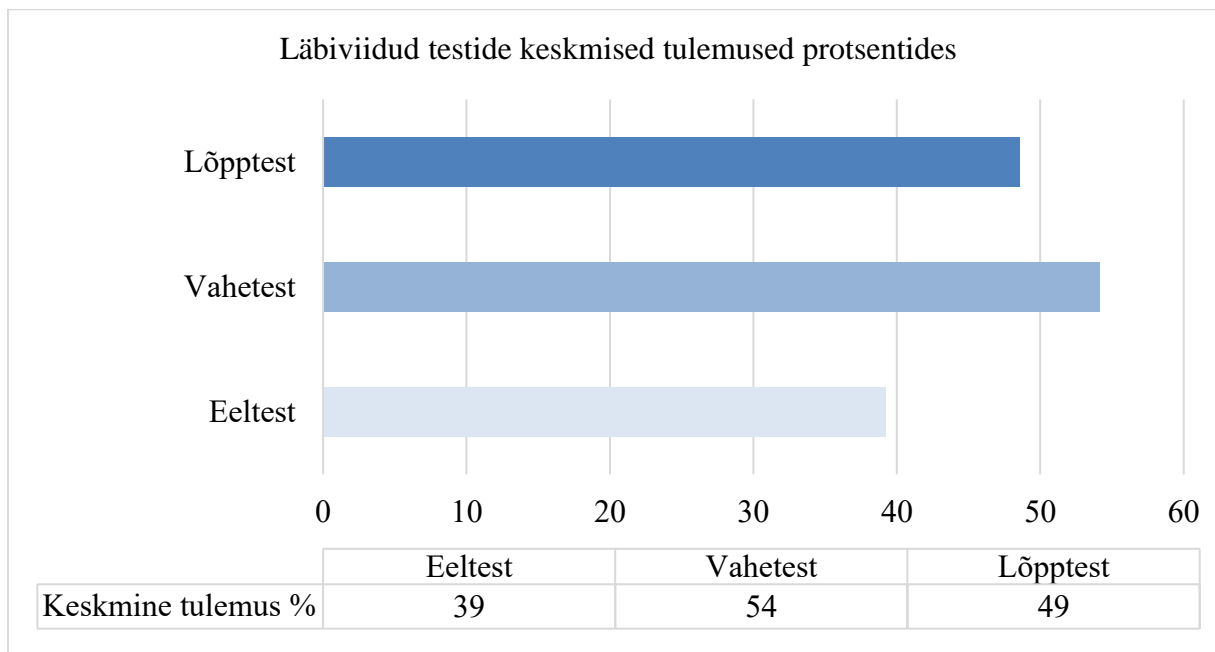
Joonis 4. Eel-, vahe- ja lõpptesti teise küsimuse vastuste normaliseeritud jaotus

14. Üliõpilaste a ja b massid on vastavalt 95 kg ning 77 kg. Nad istuvad ühesugustel kontoritoolidel näoga üksteise poole. Üliõpilane a paneb oma paljad jalad üliõpilase b põlvedele, nagu näha joonisel. Järgnevalt tõukab üliõpilane a järsult üliõpilase b



Joonis 5. Eel- ja lõpptesti neljateistkümnenda ja vahetest kolmeteistkümnenda küsimuse vastuste normaliseeritud jaotus

Keskliste tulemuste võrdlusest (joonis 6) on näha, et kõige parem tulemus oli vahetestis sooritajatel ning lõpptesti sooritajatel langes keskmine tulemus 6% võrra.



Joonis 6. Eel-, vahe- ja lõpptesti keskmised tulemused protsentides

### 3.2. Kõikide vastuste kontsentratsioonianalüüs

Vastuste analüüsimiseks on kasutatud jõu mõistelise testi jaoks arendatud kontsentratsioonianalüüsi. Kontsentratsioonianalüüsis arvutatakse igale küsimusele kontsentratsiooni väärtus C, mis omab väärtust nullist üheni ja sõltub küsimuse tulemusest. [26]

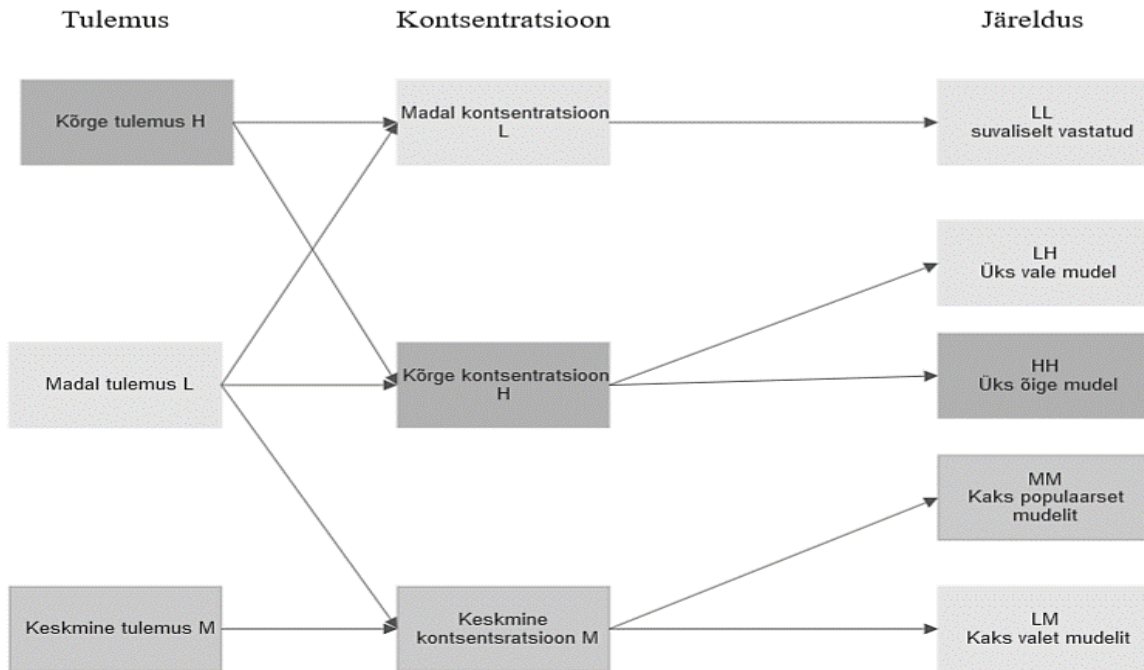
Kontsentratsioon C arvutatakse valemiga:

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m-1}} \times \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right), [26]$$

kus m on valikvastuste hulk, n on valikvastuse valik ühest viieni, N on vastajate arv. Mida rohkem vastuseid koondub ühele küsimusele, seda suurem on kontsentratsiooni väärtus. Kontsentratsioonianalüüsi puhul võrreldakse vastuste tulemust ehk keskmist väärtust vastuste sagedusega. Kontsentratsioon kui ka tulemus jaotatakse kolmeks, mis on kujutatud allpool ning moodustavad omavahel kahetähelise sümboli, mille eesmärk on viidata eelnevatele suurustele. (tabel 1). Sümbolid viitavad tulemuste tasemele ning vastajate arusaamise mudelile (joonis 7). [26]

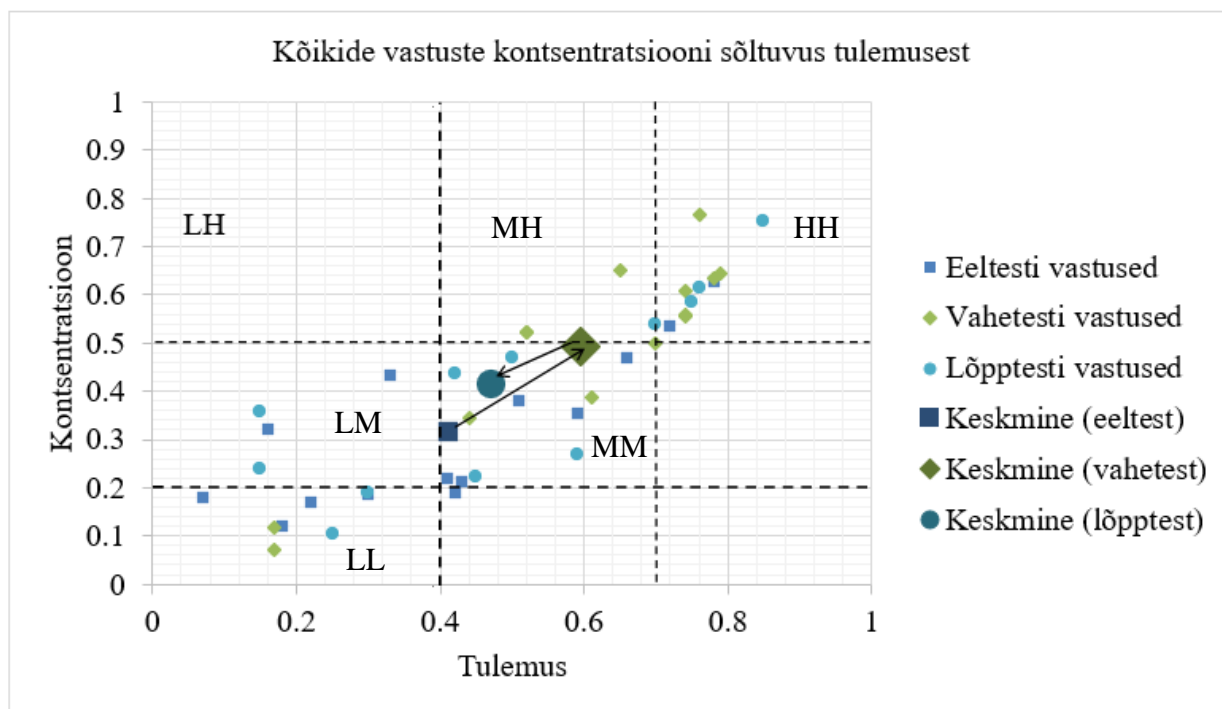
Tabel 1. Kontsentratsioonianalüüsis tulemuse ja kontsentratsiooni suhte jaotamiseks kasutatavad tähised [26]

Tulemus	Tase	Kontsentratsioon	Tase
0-0,4	L	0-0,2	L
0,4-0,7	M	0,2-0,5	M
0,7-1	H	0,5-1,0	H



Joonis 7. Tulemuse ja kontsentratsiooni tulemuste omavahelised sisulised järeldused [26]

Analüüsist on näha (joonis 8), et nii vahe- kui ka lõpptesti tulemuste kontsentratsioonid on märgatavalt suuremad kui eeltestis. Tulemus näitab, et kuigi lõpptesti tulemused on keskmiselt madalamad võrreldes vahetestiga, on tudengite tulemuste kontsentratsioon läinud aasta lõikes kõrgemaks. Kõige parem tulemus oli aga vahetesti sooritajatel, kuna vastuste kontsentratsioon lähenes MH arusaamise tasemele.



Joonis 8. Tulemuse ja kontsentratsiooni graafik kõigile küsimustele kolmest erinevast katsest

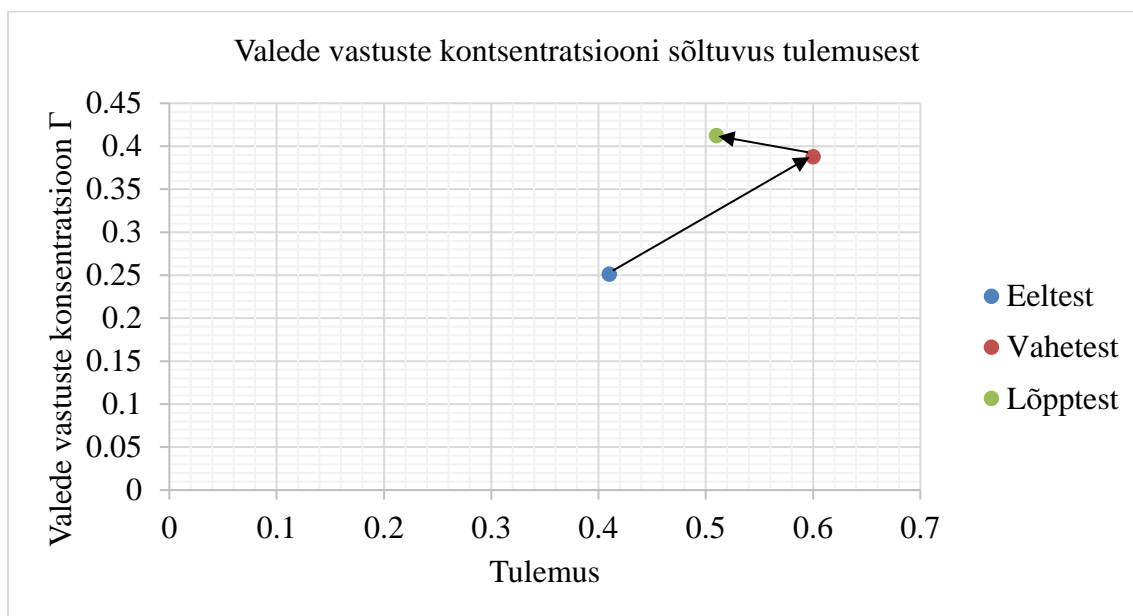
### 3.3. Valede vastuse analüüs

Kuna kontsentratsiooni väärtus sõltub tulemuste väärtusest, oleks vaja valede vastuste analüüsimiseks eraldada valede vastuste kontsentratsioon tulemusest. Selle arvutamiseks võetakse kasutusele väärtus  $\Gamma$ , mille arvutamiseks lahutatakse kontsentratsioonist tulemus. Kuigi valede vastuste kontsentratsioon  $\Gamma$  võib omada väärtust 0 - 1, on eriti olulised tulemused, mis ületavad tulemust 0,5. Sellised tulemused viitavad kindlate valede mudelite olemasolule ning võivad olla õpetajale kasulikud. [26]

Väärtuse  $\Gamma$  põhjal tehtud järeldusi üksikutel küsimustel on kritiseeritud, kuna sama väärarusaama kuid erineva vastuse korral on kontsentratsioon madalam. [4] Sellel põhjusel on esitatud käesolevas töös ainult kõikide tööde vigade kontsentratsioonide keskmised.

Valede vastuste analüüsiks on kolme testi vigade kontsentratsioon  $\Gamma$  esitatud ühel graafikul (joonis 9). Kõige madalama tulemusega testil esines ka kõige madalam valede vastuste kontsentratsioon. Tulemust saab selgitada vastajatel kindla mudeli puudumisega ning vastatud on pigem isiklikust kogemusest. Kuigi lõpptesti tulemused on madalamad vahetesti tulemustest, on

lõpptesti vigade kontsentratsioon suurem. See tähendab, et kuigi õpilaste vastused olid keskmiselt nõrgemad, oli vastajatel tekkinud mõnevõrra konkreetses mudel mille põhjal vastati valesti.



Joonis 9. Valede vastuste kontsentratsiooni sõltuvus tulemusest kõigis kolmes testis

## Kokkuvõte

Töö esimeses pooles on antud ülevaade mehaanika väärarusaamade põhjustest ja näidetest. Täpsemalt on kirjeldatud ka mõistelise testi olemust, miks on oluline õpetajal kasutada tagasisidel põhinevat õppetööriista ning jõu mõistelise testi eripärasid.

Akadeemilise aasta käigus viidi läbi kolm katset, milles tudengid lahendasid kahte erinevat versiooni jõu mõistelisest testist. Tulemusi on analüüsitud kontsentratsioonianalüüsi meetodiga. Valede vastuste kontsentratsioonil on esitatud ainult keskmised, kuna üksikute küsimuste tulemused võivad olla eksitavad.

Õigete vastuste keskmisest järeldus, et kõige nõrgema tulemuse said tudengid enne mehaanika õppimist aines Füüsikaline maailmapilt. Kõige parema tulemuse said tudengid vahetult enne aine Mehaanika ja soojusõpetuse aine alustamist, mida läbides langes keskmine tulemus 6% võrra.

Kontsentratsioonianalüüsist oli näha, et kõige suurem kontsentratsioon oli vahetesti sooritajatel, kuigi jäi sarnaseks lõpptesti tegijatel. Valede vastuste analüüsist leidis, et ebatäpsete vastuste jaotus oli kõige ühtlasem lõpptesti tegijatel.

Läbi viidud töö tulemuste põhjal on uuritud tudengite väärarusaamade olemasolu ning võimalus pakkuda alust õppetöörästade arendamiseks, mis võiksid aidata parandada mehaanikast arusaamist.

## Allikad

- [1] A. Savinainen, J. Viiri, „The Force Concept Inventory as a Measure of Students Conceptual Coherence,” *International Journal of Science and Mathematics Education* 6, 719–740 (2008) <https://doi-org.ezproxy.utlib.ut.ee/10.1007/s10763-007-9103-x>
- [2] U. Mereste, *Majandusleksikon I* (Tallinn, 2003)
- [3] J. N. Burgoon, M. L. Heddle, E. Duran, „Re-Examining the Similarities Between Teacher and Student Conceptions About Physical Science,” *Journal of Science Teacher Education* 7, 859-872 (2017) <https://doi-org.ezproxy.utlib.ut.ee/10.1007/s10972-009-9177-0>
- [4] T. Martín-Blas, L. Seidel, A. Serrano-Fernández, „Enhancing Force Concept Inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics,” *European Journal of Engineering Education*, 35:6, 597-606 (2010) <https://doi-org.ezproxy.utlib.ut.ee/10.1080/03043797.2010.497552>
- [5] Aristotele, H. G. Apostle *Aristotle's Physics* (Bloomington, Indiana University Press 1969).
- [6] ThoughtCo, „The History of Gravity," (2021). [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.thoughtco.com/the-history-of-gravity-2698883>. [Kasutatud 21.05.2022].
- [7] D. Hestens, M. Wells, G. Swackhamer, „Force concept inventory” *The Physics Teacher* 30, 141 (1992) <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- [8] S. W. Monogan, „Misconceptions of weights, normal forces and Newton third law,” *Journal of Physics Conference Series* 1572 (2020) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1572/1/012046/pdf>
- [9] L. Bao, D. Zollman, K. Hogg, E. Redish, „Model analysis of fine structures of student models: an example with Newton’s third law” (2002) *Physics Education Research: A Supplement to the American Journal of Physics*, 70(7), 766–778. <http://dx.doi.org/10.1119/1.1484152>

- [10] T. Koetsier, „The Case of Kinematics, the Genesis of a Discipline," in *Explorations in the History of Machines and Mechanisms*, 491-504 (2012) [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4132-4\\_34](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4132-4_34)
- [11] A. T. Jones, „Investigation of students understanding of speed, velocity and acceleration," *Research in Science Education* 13, 95-104 (1983) <https://doi.org/10.1007/BF02356696>
- [12] J. Clement, „Students' preconceptions in introductory mechanics," *American Journal of Physics* 1 (1982) <https://doi.org/10.1119/1.12989>
- [13] J. F. McCue, „Scientific Method in Aristotelle's De Caelo, I, I-II, VI," *Master's Theses* 1419 (1957) [https://ecommons.luc.edu/luc\\_theses/1419](https://ecommons.luc.edu/luc_theses/1419)
- [14] Y. Mou, L. Zhu, Z. Chen, „Developmental changes in children's understanding of horizontal projectile motion," *International Journal of Psychology* 4, 256 – 264 (2014) <https://doi.org/10.1002/ijop.12095>
- [15] J. Awrejcewicz, *Mathematical and Physical Pendulum* (New York, Springer, 2012)
- [16] V. F. Lenzen, „Newton's Third Law of Motion," *Isis* 27:2, 258-260 (1937) <https://doi.org/10.1086/347244>
- [17] A. Volfson, H. Eshach, Y. Ben-Abu, „Identifying physics misconceptions at the circus: The case of circular motion," *Physical Review Physics Education Research* 16, 010134 (2020) <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010134>
- [18] K. Taylor, *Weight and centrifugal force* (*Physics Education* 9, 5, 357-360) (1975)
- [19] S. Syuhendri, „Student teachers' misconceptions about gravity," *Journal of Physics: Conference Series*. (2019). <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012047>
- [20] K. Horstman, V. Trimble, „A Citation history of measurments of Newton's constant of gravity," *Scientometrics* 199, 527-541 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03031-0>

[21] J. Hattie, H. Timperley, „The Power of Feedback,” (2007)  
<https://doi.org/10.3102/003465430298487>

[22] B. Mamoon, „The Value and Effectiveness of Feedback in Improving Students' Learning and Professionalizing Teaching in Higher Education.” (2016)

<https://eric.ed.gov/?id=EJ1105282>

[23] R. M. Price, T. C. Andrews, T. L. McElhinny, L. S. Mead, Joel. K. Abraham, A. Thanukos, K. E. Perez, „The Genetic Drift Inventory: A Tool for Measuring What Advanced Undergraduates Have Mastered about Genetic Drift,” CBE- Life Sciences Education, 13, 65-75 (2017) <https://doi.org/10.1187/cbe.13-08-0159>

[24] D. Kember, P. Ginns, *Evaluating Teaching and Learning* (New York, Routledge, 2012)

[25] S. Messick, „Validity. In R. L. Linn (Ed.)," Educational measurement, 13–103 (1989)

[26] L. Bao, E. F. Redish, „Concentration analysis: A quantitative assessment of student states,” American Journal of Physics 69, S45 (2001) <https://doi.org/10.1119/1.1371253>

## Lisad

### Lisa 1.

Eel- ja lõpptesti küsimused, millele vastasid tudengid valikvastustega

1. Kaks metallkuuli on sama suured, kuid üks kaalub kaks korda rohkem kui teine. Kuulid veerevad ühesuguse kiirusega üle horisontaalse laua serva. Sellises situatsioonis:
2. Suur veoauto läheb maanteel katki ning väike sõiduauto lükkab seda linna poole, nagu näha joonisel. Kui väike auto üritab veoautot lükates saavutada oma tavalist sõidukiirust, siis:
3. Analüüsi järgmisi jõude: Alla suunatud gravitatsioonijõud. Kanali avaldatav jõud, mis on suunatud punktist q punkti O. Liikumissuunas mõjuv jõud. Jõud, mis on suunatud punktist O punkti q. Milline/millised neist jõududest mõjub/mõjuvad pallile hetkel, mil see asub hõõrdevabas kanalis punktis q?
4. Milline joonisel kujutatud trajektooridest kujutab kõige täpsemini punktis r kanalist väljuva palli trajektoori hõõrdevaba laua pinnal?
5. Milline joonisel kujutatud trajektooridest kirjeldab kõige täpsemini litri trajektoori pärast kirjeldatud lööki?
6. Vahetult pärast lööki on litri kiirus:
7. Teie poolt slaidil 7 välja valitud hõõrdevabal trajektooriga liikuva litri kiirus:
8. Teie poolt slaidil 7 välja valitud hõõrdevabal trajektooriga liikuvale litrile mõjuv/mõjuvad peamised jõud on:
9. Poiss viskab rauast kuuli otse üles. Analüüsi kuuli liikumist pärast poisi käest vabanemist ning enne maapinnale jõudmist eeldades, et kuulile õhu poolt avaldatav jõud on tühiselt väike. Nendel tingimustel on kuulile mõjuv/mõjuvad jõud:
10. Kaljul asuvast kahurist tulistatakse välja kuul, nagu näha joonisel. Milline joonisel kujutatud trajektooridest on kõige sarnasem kuuli reaalsele trajektooriga?
11. Naine avaldab suurele kastile horisontaalset jõudu. Selle tulemusena liigub kast horisontaalsel põrandal ühtlase kiirusega $v_0$ . Kui naine kahekordistab horisontaalsel põrandal lükatavale kastile avaldatavat jõudu, siis liigub kast:
12. Liftišahtis tõstab tross konstantse kiirusega liftikabiini nagu näidatud joonisel. Kõik hõõrdumisega seotud mõjud on kaduvväikesed. Selles olukorras on liftikabiinile mõjuvad jõud sellised, et:
13. Joonisel on nummerdatud ruutudega märgitud kahe klotsi asukohad 0,20-sekundiliste ajavahemike tagant. Klotsid liiguvad paremale. Kas neil klotsidel on mingisugusel ajahetkel ühesugune kiirus?
14. Joonisel kujutatud üliõpilaste a ja b massid on vastavalt 95 kg ning 77 kg. Nad istuvad ühesugustel kontoritoolidel näoga üksteise poole. Üliõpilane a paneb oma paljad jalad üliõpilase b põlvedele, nagu näha joonisel. Järgnevalt tõukab üliõpilane a järsult üliõpilase b tooli jalgadega endast eemale nii, et mõlemad toolid lähevad liikuma. Tõuke ajal ja ning ajal, mil üliõpilased veel kontaktis on:

## Lisa 2.

Vahetesti küsimused, millele vastasid tudengid valikvastustega

1. Kaks metallkuuli on sama suured, kuid üks kaalub kaks korda rohkem kui teine. Kuulid veerevad ühesuguse kiirusega üle horisontaalse laua serva. Sellises situatsioonis:
2. Suur veoauto pörkab kokku väikse sõiduautoga. Kokkupõrke vältel:
3. Nööri otsa kinnitatakse rauast kuul ja seda keerutatakse horisontaalses tasandis nii nagu kujutatud joonisel. Joonisel kujutatud punktis P katkeb nöör ootamatult kuuli lähedal. Milline joonisel kujutatud trajektooridest kirjeldab ülalt-alla vaates kõige täpsemalt trajektoori, mida mööda kuul pärast nööri katkemist liigub?
4. Bowlingu kuul kukub kogemata horisontaalsel suunal lendavast lennukist välja. Kui seda jälgib maapinnal seisev inimene, siis millist joonisel kujutatud kuuli trajektoori ta näeb?
5. Joonisel näete nööriga kiikuvat poissi, kes alustas liikumist kõrgemalt kui on punkt A. Kujutage ette järgnevaid jõudusid: Allapoole mõjuv gravitatsioonijõud. Kõie poolt avaldatav jõud, mis on suunatud punktist A punkti O. Poisi liikumissuunas mõjuv jõud. Jõud, mis on suunatud punktist O punkti A. Milline/millised neist jõududest mõjub/mõjuvad poisile hetkel, mil ta asub punktis A?
6. Joonisel on nummerdatud ruutudega märgitud kahe klotsi asukohad 0,20-sekundiliste ajavahemike tagant. Klotsid liiguvad paremale. Klotside kiirendused on üksteisega seotud järgnevalt:
7. Milline joonisel kujutatud trajektooridest kirjeldab raketi teekonda punktist b punkti c?
8. Kui rakett liigub punktist b punkti c, siis selle kiirus on:
9. Punktis c lülitatakse raketi mootor välja ja raketile mõjuv jõud muutub hetkeliselt nulliks. Millist trajektoori jälgib rakett pärast punkti c?
10. Pärast punkti c on raketi kiirus:
11. Naine avaldab suurele kastile horisontaalset jõudu. Selle tulemusena liigub kast horisontaalsel põrandal ühtlase kiirusega $v_0$ . Naise poolt avaldatud horisontaalne jõud:
12. Kui eelmises küsimuses mainitud naine kahekordistab horisontaalsel põrandal lükatavale kastile avaldatavat jõudu, siis liigub kast:
13. Joonisel kujutatud üliõpilaste a ja b massid on vastavalt 95 kg ning 77 kg. Nad istuvad ühesugustel kontoritoolidel näoga üksteise poole. Üliõpilane a paneb oma paljad jalad üliõpilase b põlvedele, nagu näha joonisel. Järgnevalt tõukab üliõpilane a järsult üliõpilase b tooli jalgadega endast eemale nii, et mõlemad toolid lähevad liikuma. Tõuke ajal ja ning ajal, mil üliõpilased veel kontaktis on:
14. Hoolimata väga tugevast tuulest õnnestub tennisemängijal reketiga palli lüüa nii, et see lendab üle võrgu ja maandub vastasmängija väljakupoolel. Kujuta ette järgmisi jõude: Allapoole suunatud gravitatsioonijõud. "Löögi" jõud. Õhu poolt avaldatav jõud. Milline/millised neist jõududest mõjub/mõjuvad tennisepallile pärast lööki (kui pall kaotab kontakti reketiga) ja enne, kui pall maandub väljakul?

### Lisa 3.

Testide arvatatud tulemused ja küsimusele vastav teema

	EELTEST		VAHETEST		LÖPPTEST	
	Küsimuse number	Tulemus	Küsimuse number	Tulemus	Küsimuse number	Tulemus
Vaba langemine	1	0,30	1	0,74	1	
Newtoni kolmas seadus	2	0,43	2	0,74	2	
Newtoni kolmas seadus	14	0,41	13	0,70	14	
Jõud liikumisel	9	0,16	11	0,44	9	
Jõud liikumisel	12	0,22	12	0,17	12	
Jõud liikumisel	11	0,07	14	0,78	11	
Ringjooneline liikumine	3	0,18	3	0,74	3	
Ringjooneline liikumine	4	0,66	5	0,17	4	
Viskekeha liikumine	10	0,51	4	0,61	10	
Kinemaatika	13	0,72	6	0,79	13	
Konstruktivne liikumine	5	0,59	7	0,52	5	
Konstruktivne liikumine	6	0,78	8	0,76	6	
Konstruktivne liikumine	7	0,42	9	0,52	7	
Konstruktivne liikumine	8	0,33	10	0,65	8	

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Kaido Ratas-Pähnapuu,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Mõistelise testi kasutamine mehaanika väärarusaamade tuvastamiseks“,

mille juhendaja on Kaido Reivelt,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Kaido Ratas-Pähnapuu*

15.08.2022