

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Loodusteadusliku hariduse keskus

Ella Skiller

**Väärarusaamad Päikesesüsteemist 8. ja 9. klassi õpilaste näitel:
uurimisinstrumenti pilootuuring**

Magistritöö

Gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja

Juhendaja: Kaido Reivelt, PhD

TARTU

2026

Lühikokkuvõte

Magistritöö eesmärk oli välja töötada ja piloteerida uurimisinstrument, mis võimaldab tuvastada õpilaste väärarusaamu Päikesesüsteemi kohta enne ja pärast õppetegevuslikku sekkumist, ning analüüsida instrumendi sobivust väärarusaamade kaardistamisel. Uurimisinstrument koosnes 20 valikvastustega küsimusega eel- ja järeltestist, mille küsimused käsitlesid Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamu viies rühmas: taevakehade vahekaugused, taevakehade suurused, gravitatsioon, Päike kui täht ning planeedi temperatuuri sõltumine kaugusest Päikeseni. Pilootuuring viidi läbi Ida-Virumaa ühe maakooli 8. ja 9. klassi õpilaste seas ning lõplikku valimisse kuulus 11 õpilast. Tulemused näitasid, et järeltesti üldine sooritus oli eeltestiga võrreldes veidi kõrgem, kuid muutused olid ebaühtlased. Küsimusterühmade sisemine kooskõla oli valdavalt nõrk ning eeltestis eristus juhusliku valiku ootusest ainult üks väärarusaama peegeldav vastusevariant. Seetõttu vajab uurimisinstrument enne edasist kasutamist täiendamist ning väikese valimi tõttu tuleb tulemusi tõlgendada ettevaatlikult.

CERCS: S272 Õpetajakoolitus

Märksõnad: väärarusaamad, Päikesesüsteem, astronoomiaõpe, uurimisinstrument

Abstract

The aim of this master's thesis was to develop and pilot a research instrument that can identify students' misconceptions about the Solar System before and after an instructional intervention, and to analyse the suitability of the instrument for mapping misconceptions. The research instrument consisted of a pre- and post-test with 20 multiple-choice questions, which addressed Solar System-related misconceptions in five groups: distances between celestial bodies, sizes of celestial bodies, gravity, the Sun as a star, and the dependence of a planet's temperature on its distance from the Sun. The pilot study was conducted among 8th- and 9th-grade students at a rural school in Ida-Viru County, and the final sample consisted of 11 students. The results showed that overall performance in the post-test was slightly higher than in the pre-test, but the changes were uneven. The internal consistency of the question groups was mostly weak, and in the pre-test only one answer option reflecting a misconception differed from the expectation of random choice. Therefore, the research instrument needs further development before further use, and due to the small sample, the results should be interpreted with caution.

CERCS: S272 Teacher Education

Keywords: misconceptions, Solar System, astronomy education, research instrument

Sisukord

Lühikokkuvõte.....	2
Abstract.....	2
Sissejuhatus	5
1. Kirjanduse ülevaade	7
1.1 Mentaalsed mudelid.....	7
1.2 Kontseptuaalne muutus	8
1.2.1 Teadmised kui teooria.....	9
1.2.2 Teadmised kui elemendid	11
1.3 Väärarusaamad	12
1.3.1 Väärarusaamad Päikesesüsteemi vahekauguste kohta	13
1.3.2 Väärarusaamad Päikesesüsteemi taevakehade suuruste kohta	14
1.3.3 Väärarusaamad gravitatsiooni kohta Päikesesüsteemis.....	14
1.3.4 Väärarusaamad Päikese kui tähe kohta	14
1.3.5 Väärarusaam „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni“	15
1.4 Käesoleva tööga seotud astronoomiaalased teemad põhikooli riiklikus õppekavas	16
2. Metoodika	17
2.1 Uuringu ülesehitus ja läbiviimine.....	17
2.2 Valim.....	17
2.3 Uurimisinstrument	17
2.3.1 Valiidsus.....	18
2.3.2 Reliaablus	18
2.4 Õppetegevuslik sekkumine.....	19
2.5 Andmeanalüüs	19
3. Tulemused.....	20
3.1 Üldtulemused eel- ja järeltestis	20
3.2 Muutused küsimuste kaupa	20
3.4 Tulemused väärarusaamade rühmade kaupa	25
3.5 Õpilaste hinnang testide ja õppematerjalide arusaadavusele.....	26
4. Arutelu	27
Kokkuvõte	29
Kirjanduse loetelu.....	30

Summary.....	34
Lisad	36
Lisa 1	36
Lisa 2	40
Lisa 3	42
Lisa 4	54
Lisa 5	55
Lisa 6	62
Lisa 7	78

Sissejuhatus

Loodusteadusliku hariduse arendamine on oluline, sest Eestis napib inimesi, kes oskaksid ja tahaksid tegeleda teadus- ja arendustegevusega (*Eesti teadus- ja arendustegevuse, innovatsiooni ning ettevõtluse arengukava 2021–2035*, 2021).

Ühe võimalusena õpilaste loodusteadusliku huvi toetamiseks on esile toodud astronoomiat, kuna see võib äratada uudishimu sõltumata õppija vanusest, kultuurilisest taustast või varasemast huvist loodusteaduste vastu ning toetada õpilaste kaasamist STEM-valdkondadesse (Salimpour et al., 2021).

Seega võib astronoomia olla küll huvi äratav valdkond, kuid selle õppimisel tuleb arvestada, et õpilased toovad kooli kaasa väärarusaamu, mis võivad olla muutustele vastupidavad (Korur, 2015). Astronoomia puhul võivad need kujuneda nii varaste kogemuste, perekonna, lastekirjanduse, müütide ja folkloori kui ka hilisemate allikate, näiteks raamatute, ajakirjade, televisiooni, filmide, interneti, muuseumide, planetaariumide ja observatooriumide mõjul (Blown & Bryce, 2020; Inaltekina & Akbaba, 2024). Seetõttu on õpilaste väärarusaamade diagnoosimine oluline, kuna see aitab välja selgitada, milliste mõistete puhul erineb õpilaste arusaam loodusteaduslikust käsitlest ning millised teemad vajavad edasises õpetamises sihipärasemat käsitlemist (Korur, 2015).

Magistritöö eesmärk on välja töötada ja piloteerida uurimisinstrument, mis võimaldab tuvastada õpilaste väärarusaamu Päikesesüsteemi kohta enne ja pärast õppetegevuslikku sekkumist, ning analüüsida instrumendi sobivust väärarusaamade kaardistamisel.

Eesmärgi saavutamiseks viisin 8. ja 9. klassi õpilaste seas läbi eeltesti, õppetegevusliku sekkumise ning eeltestiga identse järeltesti. Sekkumine koosnes posternäitusest ja selle põhjal töölehe täitmisest õppetunni ajal.

Lähtuvalt töö eesmärgist ja pilootuuringu ülesehitusest püstitasin järgmised uurimisküsimused:

1. Kas ja milliseid Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamu võimaldab uurimisinstrument tuvastada pilootuuringus osalenud 8. ja 9. klassi õpilastel?
2. Millised muutused ilmnesid õpilaste vastustes järeltestis võrreldes eeltestiga pärast õppetegevuslikku sekkumist?
3. Milliseid täiendusi vajab uurimisinstrument pilootuuringu tulemuste põhjal?

Käesolevas töös kasutan väärarusaama mõistet üldises tähenduses. Väärarusaamu võib määratleda arusaamade või seletustena, mis erinevad teaduslikult õigeks peetavast käsitlest (*Discipline-Based Education Research*, 2012). Samas on kirjanduses sarnaste arusaamade

tähistamiseks kasutatud ka teisi mõisteid, näiteks alternatiivsed arusaamad, varasemad arusaamad ja eelarusaamad, ning terminivalik sõltub teoreetilisest vaatenurgast. Kirjanduse ülevaates käsitlen ka teoreetilisi lähenemisi, milles väärarusaama mõistet kasutatakse kitsamas või teistsuguses tähenduses. Käesolev töö ei keskendu väärarusaamade tekkepõhjuste väljaselgitamisele, vaid võimalike väärarusaamade kaardistamisele uurimisinstrumendi abil. Uurimisinstrumendi ja selle tulemuste tõlgendus võib sõltuda teoreetilisest raamistikust, kuid nende tõlgenduste võrdlemine ei kuulu käesoleva töö raamidesse.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1 Mentaalsed mudelid

Konstruktivism on teadmisteooria, mis esitab kaks peamist põhimõtet, millel on kaugeleulatuv mõju kognitiivse arengu ja õppimise uurimisele.

Esimese põhimõtte järgi ei võeta teadmist passiivselt vastu, vaid teadmist kujundav subjekt ehitab selle aktiivselt üles, seostades tegelikkust oma olemasolevate mõttesüsteemidega ja muutes seda mõttes nii, et oleks võimalik mõista, kuidas mingi kindel seisund tekib (Piaget, 1970; Von Glasersfeld, 1989).

Teise põhimõtte järgi on kognitsiooni funktsioon seotud kohanemisega ning aitab korrastada kogemusel põhinevat maailma, mitte avastada ontoloogilist tegelikkust. (Von Glasersfeld, 1989)

Konstruktivismi järgi ei seisne teadmise väärtus selles, kas see vastab ontoloogilisele tegelikkusele ehk tegelikkusele sellisena, nagu see inimesest sõltumatult olemas on. Oluline on teadmise toimivus ehk see, kas see sobitub inimese kogemusest tulenevate piirangutega ning võimaldab tal mõelda ja tegutseda. (Von Glasersfeld, 1989)

Ümbritsevas maailmas toimimiseks ja sellega suhestumiseks kasutab inimene mentaalseid mudeleid ehk isiklikke sisemisi representatsioone tegelikkusest, mis teda ümbritseb. Need konstrueeritakse inimese ainulaadsete elukogemuste ja maailmast arusaamise põhjal. Mentaalsed mudelid toimivad mehhanismina, mille kaudu uut teavet filtreeritakse ja talletatakse (Jones et al., 2011). Mentaalse mudeli peamine ülesanne on võimaldada selle loojal mudeli abil selgitada ja ennustada süsteemide toimimist. Mentaalse mudeli ainus nõue on, et see oleks kasutatav selle looja jaoks. (Greca & Moreira, 2000)

Mentaalseid mudeleid peetakse tegelikkuse mittetäielikeks ja ebajärjekindlateks representatsioonideks. See tähendab, et inimene ei pruugi kasutada sama nähtuse selgitamiseks alati ühesugust mudelit, vaid võib seda kohandada vastavalt konkreetsele olukorrale või probleemile. (Greca & Moreira, 2000; Jones et al., 2011)

Mentaalsete mudelite käsitlestes eristatakse kahte peamist kasutusviisi. Esiteks võib mentaalseid mudeleid käsitleda pikaajalises mälus paiknevate teadmiste struktuuridena, mis toetavad mõistmist ja arutlemist. Sellisel juhul keskendutakse sellele, kuidas mingi valdkonna teadmised on mälus organiseeritud ning kuidas need aitavad objekte, olukordi ja protsesse mõtestada. Teiseks võib mentaalseid mudeleid käsitleda ajutiste struktuuridena, mis luuakse töömälus konkreetse mõistmis- või arutlusülesande käigus. Sellisel juhul on rõhk sellel, kuidas

inimene kasutab ja muudab neid struktuure näiteks teksti mõistmisel, järeldamisel, õppimisel või probleemide lahendamisel. Seetõttu ei kasutata mentaalse mudeli mõistet kirjanduses alati ühes tähenduses: seda on seostatud nii pikaajalise mälu teadmistestruktuuride, töömälu loodavate ajutiste struktuuride kui ka nende kahe koostoimega. (Jones et al., 2011; Nersessian, 2002)

Mentaalsed mudelid aitavad inimesel kogemusi mõtestada, kuid need on sisemised, isiklikud, eripärased, mittetäielikud ja ebapüsivad. Kontseptuaalsed mudelid ehk teaduslikult aktsepteeritud teadmistega kooskõlas olevad väliselt esitatud mudelid on seevastu täpsemad ja terviklikumad. (Greca & Moreira, 2000)

Õpetamisel eeldatakse sageli, et õpilased on omandanud või konstrueerinud mentaalsed mudelid, mis vastavad neile esitatud kontseptuaalsetele mudelitele. Tegelikult ei pruugi see nii olla. Õpilased ei pruugi kontseptuaalseid mudeleid sellisena mõista, sest neil ei ole alati piisavaid valdkonnateadmisi nende tõlgendamiseks. Samuti ei pruugi nad aru saada, et kontseptuaalne mudel on nähtuse või olukorra lihtsustatud ja idealiseeritud representatsioon, mitte nähtus ise. (Greca & Moreira, 2000)

1.2 Kontseptuaalne muutus

Mentaalne mudel ei pruugi olla kooskõlas teaduslikult aktsepteeritud käsitlusega. Õpilased ei alusta loodusteaduste õppimist tühjalt kohalt. Neil on õpetatavate nähtuste ja mõistete kohta juba olemas varasemad teadmised, uskumused ja arusaamad. Need arusaamad ei pruugi aga kattuda teaduslike selgitustega ning võivad olla nendega ka otseses vastuolus. (Duit & Treagust, 2003)

Sellist erinevust õppija arusaama või seletuse ja teaduslikult õigeks peetava käsitluse vahel võib üldiselt nimetada väärarusaamaks. Kontseptuaalse muutuse vaatenurgast tähendab õppimine seda, et õppija mentaalne mudel liigub teaduslikult aktsepteeritud kontseptuaalsele mudelile lähemale. (*Discipline-Based Education Research*, 2012; Treagust & Duit, 2008)

Kõige levinuma käsitluse järgi eristatakse kahte tüüpi kontseptuaalset muutust: nõrka teadmiste ümberstruktureerimist, mida nimetatakse ka assimilatsiooniks või kontseptuaalseks hõlmamiseks, ning tugevat või radikaalset teadmiste ümberstruktureerimist, mida nimetatakse ka akommodatsiooniks või kontseptuaalseks vahetuseks. Mõned autorid eristavad teadmiste lisandumist kontseptuaalsest muutusest, teised aga käsitlevad seda kolmanda tasandina. (Treagust & Duit, 2008)

Kontseptuaalse muutuse toimumiseks loodusteaduste õppimisel peab klassikalise lähenemise järgi olema täidetud neli põhitingimust:

1. õppija peab tajuma seniste arusaamade ebapiisavust;
2. uus arusaam peab olema mõistetav;
3. uus arusaam peab tunduma usutav;
4. uus arusaam peab võimaldama nähtusi edaspidi paremini ja viljakamalt selgitada.

(Posner et al., 1982; Vosniadou, 2012)

Kontseptuaalse muutuse olemuse selgitamisel on viimase ajal olnud kaks peamist lähenemist: teadmised kui elemendid (*the knowledge-as-elements*) ja teadmised kui teooria (*knowledge-as-theory*). Kuigi nende käsitluste vahel on nähtud ka sarnasusi, vastandatakse neid sageli. (Chrzanowski et al., 2018)

Teadmised kui elemendid lähenemise järgi koosnevad õppija teadmised lõdvalt seotud ja suhteliselt iseseisvatest algelistest arusaamadest, mille omavahelise seostumise ja muutumise kaudu toimub ka kontseptuaalne muutus. Teadmised kui teooria lähenemise järgi on õppija arusaamad seotud püsivamate ja terviklikumate mõttestruktuuridega, mille kaudu ta uusi nähtusi tajub ja tõlgendab. (Chrzanowski et al., 2018)

1.2.1 Teadmised kui teooria

Vosniadou (1994) teadmised kui teooria (*knowledge-as-theory*) käsitluses eeldatakse, et mõisted ei ole õppija teadmistes eraldiseisvad, vaid paiknevad laiemates teoreetilistes struktuurides, mis nende mõistmist piiravad ja suunavad. Eristatakse varases lapseas kujunevat naiivset füüsika raamteooriat (*naive framework theory of physics*) ja erinevaid spetsiifilisi teooriaid (*specific theories*). (Vosniadou, 1994)

Raamteooria sisaldab üldisi eeldusi selle kohta, millised nähtused ja objektid maailmas on ning kuidas neid saab mõista või seletada. Spetsiifilised teooriad kirjeldavad mõistevaldkonna sisemist ülesehitust ning koosnevad omavahel seotud väidetest või uskumustest füüsiliste objektide omaduste ja käitumise kohta. Need kujunevad vaatluste või kultuuri kaudu saadud info põhjal, kuid nende kujunemist piirab olemasolev raamteooria. (Vosniadou, 1994)

Kontseptuaalne muutus toimub selle käsitluse järgi järk-järgult füüsilise maailma mentaalsete mudelite muutumise kaudu. Mentaalsed mudelid on teadmiste struktuurid, mida õppija

mõtlemise käigus loob ning nende kaudu lisatakse uus info olemasolevasse teadmiste süsteemi. Lihtsaim kontseptuaalse muutuse vorm on olemasoleva kontseptuaalse struktuuri rikastamine (*enrichment*), mille korral lisatakse varasemasse teoreetilisse raamistikku uut infot. Kui omandatav info on vastuolus olemasolevate uskumuste, eelduste või teooria seoste süsteemiga, on vaja seniste arusaamade revideerimist ehk ümberkujundamist (*revision*). (Vosniadou, 1994)

Kui spetsiifilise teooria uskumusi piirab raamteooria, võib kontseptuaalset muutust olla väga raske saavutada. Raamteooria muutmine on keeruline, sest selle eeldused moodustavad suhteliselt sidusa seletussüsteemi, mis põhineb igapäevakogemusel ja on saanud aastate jooksul kinnitust. Väärarusaamu tõlgendatakse selles käsitluses õppija katsena sobitada uut infot olemasolevatesse kontseptuaalsetesse struktuuridesse, mis sisaldavad teadusliku käsitusega vastuolus olevat infot. (Vosniadou, 1994)

Teadmised kui teooria raames tõi Vosniadou (2012) välja sünteetiliste mudelite käsitluse (*synthetic models approach*) põhimõtted:

1. Eelarusaamad ja väärarusaamad ei ole sama asi.

Eelarusaamad on laste esmased ideed füüsilise maailma ja nähtuste kohta. Need kujunevad igapäevakogemuse enne koolis õpitavat loodusteadust. Väärarusaamad on aga ekslikud tõlgendused teaduslikest mõistetest, mis tekivad pärast seda, kui õpilased on koolis teaduslike selgitustega kokku puutunud.

2. Eelarusaamad moodustavad omavahel seotud seletussüsteemi.

Need ei ole juhuslikud ega pealiskaudsed uskumused, vaid suhteliselt sidus, kuigi piiratud seletusraamistik. Seda on nimetatud ka intuiitivseks või naiivseks teooriaks (*intuitive or naïve theory*).

3. Eelarusaamad erinevad teaduslikest teooriatest ontoloogiliste ja epistemoloogiliste eelduste poolest.

See tähendab, et õpilaste eelarusaamad võivad erineda teaduslikest käsitlustest selles, kuidas nähtusi ja objekte liigitatakse.

4. Kontseptuaalne muutus ei ole ühe mõiste järsk asendumine teisega.

See toimub järk-järgult, kui uusi ideid lisatakse olemasolevatesse, kuid nendega vastuolus olevatesse kontseptuaalsetesse struktuuridesse. Mõnikord võib uus info varasemaid arusaamu rikastada, mõnikord aga neid killustada.

5. Paljud väärarusaamad on sünteetilised käsitused või mudelid.

Need võivad tekkida siis, kui õpilased puutuvad kokku teaduslike selgitustega, kuid õpetus ei aita neil uut infot varasemate arusaamadega piisavalt seostada. Sellisel juhul lisatakse teaduslikku infot olemasolevasse, kuid sellega kokkusobimatusse teadmiste süsteemi ning tulemuseks võib olla teadusliku ja varasema arusaama segu.

6. Kontseptuaalne muutus eeldab põhjalikke muutusi õpilaste representatsioonides ning ontoloogilistes ja epistemoloogilistes eeldustes.

Teaduslik mõiste ei asenda lihtsalt lapse varasemat tajukogemusel põhinevat arusaama. See tuleb varasema arusaamaga seostada nii, et käsitletakse õpilase intuiitivseid uskumusi ja eeldusi, kuid samal ajal näidatakse, et teaduslik mõiste seletab füüsilisi nähtusi võimsamalt ja ulatuslikumalt.

(Vosniadou, 2012)

1.2.2 Teadmised kui elemendid

DiSessa (1993) „teadmised kui elemendid“ käsitus kirjeldab õppija teadmisi väikeste ja kontekstitundlike teadmisüksustena. Inimesel kujuneb füüsilise maailmaga tegutsedes mehhanismitaju ehk arusaam sellest, kuidas asjad toimivad ning millised sündmused on võimalikud, tõenäolised või võimatud. Algaja teadmine ei ole selles vaates terviklik ja süsteemne teooria, vaid pigem hajus kogum teadmisüksusi, mis võivad eri olukordades erinevalt aktiveeruda.

Keskne mõiste selles käsitluses on p-prims ehk fenomenoloogilised algüksused (*phenomenological primitive*). Need on väikesed igapäevakogemusest lähtuvad teadmiselemendid, mida inimene kasutab nähtuste seletamisel sageli iseenesestmõistetavalt. Väärarusaamu saab sellest vaatenurgast tõlgendada olukordadena, kus mõni selline teadmisüksus rakendub kontekstis, kuhu see teaduslikult ei sobi. (diSessa, 1993)

P-prims'e saab kirjeldada nelja tunnuse kaudu:

1. Elemendid.

P-prims on väikesed teadmiselemendid, mis koosnevad vähestest osadest ja aktiveeruvad siis, kui inimene tunneb olukorras ära neile vastava mustri.

2. Kognitiivne mehhanism.

P-prims toimivad äratundmise kaudu, kuid äratundmine ei tähenda otsest nägemist, vaid seda, et tajutud olukord aktiveerib sobiva teadmiselemendi.

3. Areng.

P-prims pärinevad sageli igapäevakogemusest ning õppimise käigus nende roll muutub: need seotakse järk-järgult formaalsemate teadmiste ja seletustega.

4. Süsteemsus.

P-prims ei moodusta algselt tugevalt korrastatud süsteemi, vaid on pigem lõdvalt seotud; eksperditeadmiste kujunemisel muutuvad nende omavahelised seosed ja kasutusolukorrad järjest paremini organis eerituks.

(diSessa, 1993)

1.3 Väärarusaamad

Väärarusaama definitsioon sõltub teoreetilisest raamistikust, milles seda kasutatakse. Mentaalsete ja kontseptuaalsete mudelite käsitluses võib väärarusaama mõista õppija mentaalse mudeli osana või väljendusena, mis ei ole kooskõlas teaduslikult aktsepteeritud kontseptuaalse mudeliga.. Sageli eristatakse väärarusaamu teadmiste täielikust puudumisest, sest teadmiste puudumise korral ei ole vaja kontseptuaalse muutuse käigus ümber kujundada väärat raamistikku. (Chrzanowski et al., 2018)

Väärarusaamade puhul eristatakse eelarusaamu (*preconceived notions*), mitteteaduslikke uskumusi (*nonscientific beliefs*), mõistelisi arusaamatusi (*conceptual misunderstandings*), argikeelest tulenevaid väärarusaamu (*vernacular misconceptions*) ja faktilisi väärarusaamu (*factual misconceptions*). Eelarusaamad (*preconceived notions*) on igapäevakogemuses juurdunud levinud arusaamad, mille põhjal õppija nähtusi tõlgendab. Mitteteaduslikud uskumused (*nonscientific beliefs*) on arusaamad, mis on omandatud väljaspool loodusteaduslikku õpet, näiteks religioossete või müütiliste seletuste kaudu. Mõistelised arusaamatused (*conceptual misunderstandings*) võivad tekkida siis, kui teaduslikku infot õpetatakse viisil, mis ei aita õppijal märgata vastuolu uue teadmise ja tema varasemate arusaamade vahel; segaduse lahendamiseks võib õppija sellisel juhul konstrueerida vigase mudeli, milles ta ei ole ka ise kindel. Argikeelest tulenevad väärarusaamad (*vernacular misconceptions*) tekivad sõnadest, mille tähendus erineb igapäevases ja teaduslikus kontekstis. Faktilised väärarusaamad (*factual misconceptions*) on valed faktiteadmised, mis on sageli omandatud varases eas ja säilivad hiljem kahtluse alla seadmata. (*Science Teaching Reconsidered*, 1997)

Väärarusaamade kujunemist võivad soodustada ka õppimise ja õpetamisega seotud tegurid. Nende hulka kuuluvad näiteks õppija tööma lu ülekoormamine, sobimatud mõtlemisstrateegiad, algoritmidele keskenduv õpetamine ja liiga kiire materjali läbimine. Kontseptuaalset muutust

võivad raskendada probleemülesanneteni liikumine enne sisu sisulist mõistmist, õppija varasemad teadmised, õppija epistemoloogilised arusaamad, õpitava sisu kognitiivse nõudlikkuse mittevastavus õppija arengutasemele ning keelelised probleemid. (Chrzanowski et al., 2018)

Järgnevalt käsitlen detailsemalt väärarusaamu, mida kasutasin uurimisinstrumenti koostamisel. Olen need jaotanud viide rühma. Valik piirdub Päikesesüsteemi käsitlevate väärarusaamadega, kuid sellest on välja jäetud Maa kuju, ööpäeva tekke ja varjutustega seotud väärarusaamad.

1.3.1 Väärarusaamad Päikesesüsteemi vahekauguste kohta

Astronoomiliste mõõtkavade mõistmine on õppijatele keeruline. Lelliott & Rollnick (2010) rõhutavad, et taevaobjektide väga suured mõõtmed ja nendevahelised tohutud kaugused on olulised teiste astronoomia põhiideede mõistmisel. Ka Sadler (1998) märgib, et astronoomia väga suurte mõõtkavade mõistmine näib jäävat õpilastele kättesaamatuks isegi pärast astronoomiakursuse läbimist.

Uurimustes on leitud, et Päikese ja Maa vahekaugust kiputakse mõõdukalt alahindama (Miller & Brewer, 2010). Maa ja Kuu vahekaugust aga nii ala- kui ka ülehindama (Dahsah et al., 2012; Miller & Brewer, 2010).

Lisaks üksikute vahekauguste valele hindamisele esineb väärarusaamu ka Päikesesüsteemi mudeli üldise ehituse kohta. Sharp & Kuerbis (2006) uuringus (N=31, 9-11a) kirjeldasid õpilased Päikesesüsteemi sageli kaootiliselt: Päike, planeedid ja teised objektid paiknesid ruumis juhuslikult või arvati, et planeedid liiguvad ümber Päikese üksteise järel samal orbiidil. Samuti olid planeetidevahelised suhtelised kaugused sageli halvasti esitatud.

Seejuures ei avaldu väärarusaamad ainult kaootiliste mudelitena. Mõned allikad on osutanud, et veebis ja õppematerjalides kasutatavad Päikesesüsteemi mudelid kujutavad planeetide ja Päikese vahelisi kaugusi sageli ebatäpselt, mistõttu planeedid võivad paista paiknevat liiga ühtlaste vahedega. Sellised lihtsustatud või eksitavad skeemid võivad toetada väärarusaamade kujunemist või püsimist. (American Association of Variable Star Observers, s.a.; Kikas, 2000; Wiebke et al., 2011) Ka Favia et al. (2014) nimetasid väärarusaamana, et kõik planeetide orbiidid asuvad täpselt samal tasandil.

Lisaks esineb segadust orbiitide kujuga: neid peetakse nii ringikujulisteks (Favia et al., 2014) kui ka liiga elliptilisteks (Yu et al., 2010; Cin, 2007).

1.3.2 Väärarusaamad Päikesesüsteemi taevakehade suuruste kohta

Taevakehade suuruste mõistmisel esineb õppijatel mitmeid väärarusaamu, mida vaatlen vahekaugustest ja taevakehade ruumilisest paiknemisest eraldi. Dahsah et al. (2012) leidsid, et õpilased alahindasid peaaegu alati Päikese suurust, samas kui Kuu suurust enamasti kas ala- või ülehinnati.

Bryce & Blown (2013) ja Cin (2007) osutavad, et õppijatele valmistab raskusi näiva suuruse eristamine tegelikust suurusest. Näiteks esineb väärarusaamu, et Päike ja Kuu on tegelikult sama suured või Maast umbes sama kaugel, kuna nad paistavad taevas sarnase suurusega. Väärarusaamu esineb ka teiste taevakehade võrdlemisel: Rajpaul et al. (2018) järgi peetakse planeete mõnikord tähtedest suuremaks ning Favia et al. (2014) põhjal hinnatakse Jupiteri suurust Päikese omale sarnasemaks kui see tegelikult on.

1.3.3 Väärarusaamad gravitatsiooni kohta Päikesesüsteemis

Gravitatsiooni mõiste on oluline teiste astronoomiliste mõistete õpetamisel. See on ühtlasi mõiste, millega õppijatel on igapäevane kogemus, mistõttu sobib see hästi astronoomiaga seotud väärarusaamade uurimiseks ja ümberkujundamiseks (Williamson & Willoughby, 2012).

Erinevates uuringutes on gravitatsiooni kohta välja tulnud küllaltki sarnased väärarusaamad. Kõige levinumaks neist on arusaam, et kosmoses puudub gravitatsioon. Cardinot & Fairfield (2021) (N=498, 12-15a) uuringus esines see väärarusaam 82,5%-l õpilastest.

Levinud on ka arusaam, et gravitatsioon on seotud peamiselt Maaga. Seda on seostatud Maa atmosfääri olemasoluga (Cardinot & Fairfield 2021) või arvatud, et gravitatsioon vajab levimiseks õhku või on tekitatud õhurõhu poolt (Asghar & Libarkin, 2010).

Lisaks seostavad õpilased gravitatsiooni magnetismi või Maa pöörlemisega (Asghar & Libarkin, 2010). Vahel arvatakse ka, et gravitatsioon on Maa magnetvälja poolt tekitatud tõmbejõud (Cardinot & Fairfield, 2021). On täheldatud ka arusaama, et kaaslaste arv näitab suuremat gravitatsiooni, sest taevakeha gravitatsioon suudab kaaslasti enda juures hoida (Williamson & Willoughby, 2012).

1.3.4 Väärarusaamad Päikese kui tähe kohta

Üheks sagedamini kirjeldatud astronoomia väärarusaamaks on arusaam, et Päike ei ole täht.

Sharp'i (1996) uuringus (N=42, 10–11a) ei teadnud 43% õpilastest, et Päike on täht, mis viitab Päikese vääradele klassifitseerimisele. Selle väärarusaama väljenduseks on käsitlus, mille

kohaselt Päike ei kuulu tähtede hulka, vaid moodustab eraldi tüüpi taevakeha (Favia et al., 2014; Korur, 2015) või aetakse Päikest segamini teiste taevakehadega. Näiteks peetakse Päikest planeediks või asteroidiks (Korur, 2015).

Lisaks esineb segadust Päikese ja tähtede koostise ning valguse kiirgamise põhjuste osas. Päikest kirjeldatakse koosnevat tulest, laavast ja rauast (Agan, 2004; Favia et al., 2014; Korur, 2015) ning kui „leekides kera” (Sharp, 1996)

Korur (2015) toovad väärarusaamadena esile nii arusaama, et tähed peegeldavad Päikeselt tulevat valgust, kui ka vastupidise arusaama, et Päike peegeldab teistelt tähtedelt tulevat valgust. Favia et al. (2014) nimetavad väärarusaamana ka käsitlust, et Päike on ainus valgusallikas galaktikas.

Samuti esineb segadust tähtede ja Päikese suuruse ning kauguse osas. Näiteks on kirjeldatud arusaamu, et tähed on Päikesest väiksemad ja Maale lähemal (Favia et al., 2014). Samal ajal peetakse Päikest nii Maast väiksemaks (Sharp, 1996) kui ka kõige suuremaks taevakehaks Universumis ja kõige suuremaks täheks (Favia et al., 2014; Korur, 2015)

1.3.5 Väärarusaam „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni“

Õpilaste seas on tuvastatud erinevaid mõttemudeleid, mille keskseks komponendiks on arusaam, et soojusallikale lähemale liikumine muudab objekti soojemaks (Brewer, 2008; Cox et al., 2016).

See üldine kaugusmudel avaldub aastaaegade tõlgendamisel, kus nende tekkimist selgitatakse Maa ja Päikese vahelise kauguse muutumisega. Kaugustooria suudab seletada paljusid igapäevaseid soojusnähtusi. (Kikas, 2003) Mitmed uuringud osutavad, et õpilased seostavad suvist soojust arusaamaga, et Maa paikneb suvel Päikesele lähemal ning et Maa pöörlemistelg kõigub edasi-tagasi. Trumper (2001) liigitab selle üheks levinumaks astronoomia väärarusaamaks (N = 378, vanus 15–17) ning sama väärarusaam ilmneb ka õpetajakoolituse tudengite seas Trumper (2006) uuringus. Baxter (1989) uuringus (N = 100, vanus 9–16) tuvastati väärarusaam, et Päike on talvel Maast kaugemal.

Comins, (2001) tõi esile astronoomia väärarusaama, et Päikesele kõige lähem planeet Merkuur on ka kõige kuumem. Liigitasin selle sama mõttemudeli alla kuna seletus põhineb samal mõttemudeli eeldusel, kus temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni. Sama väärarusaam ilmnis ka Azizah et al. (2022) (N = 64, üliõpilased) uuringus, kus kõrgeima temperatuuriga

planeediks peeti Merkuuri, kuna see saab suure hulga päikeseenergiat ja kasvuhooneefekti rolli ei arvestatud.

Sama väärarusaam avaldub nii aastaaegade kui ka planeetide temperatuuri selgitamisel, kus määravaks peetakse eeskätt kaugust Päikeseni.

1.4 Käesoleva tööga seotud astronoomiaalased teemad põhikooli riiklikus õppekavas

Põhikooli riikliku õppekava loodusainete valdkonnas ei ole astronoomiat esitatud eraldi teemavaldkonnana, kuid astronoomiaga seotud õpitulemusi leidub mitmes loodusaines. Kõige otsesemalt esinevad need II kooliastme loodusõpetuses, kus 6. klassi lõpetaja peab oskama koostada loodusteaduslikke mudeleid ning selgitada nende abil muu hulgas Päikesesüsteemi ehitust, planeetide liikumist, öö ja päeva ning aastaaegade vaheldumist. Samuti peab õpilane leidma infot objektide ja nähtuste kohta, koostama ülevaateid muu hulgas maailmaruumi teemal ning arutlema looduse ja maailmaruumi uurimise vajalikkuse üle. (Põhikooli riiklik õppekava, 2011)

III kooliastmes esinevad astronoomiaga seostatavad teadmised pigem teiste loodusainete õpitulemuste kaudu. Füüsikas seostuvad uuritava teemaga näiteks raskusjõu seostamine keha massiga ning kerge tuumade ühinemise praktilise väärtuse selgitamine. Geograafias seostub teemaga kliima käsitus, kus õpilane selgitab kliima erinevusi päikeseikiirguse jaotumise põhjal ning teab kliimamuutuste võimalikke tagajärgi ja nendega kohanemise võimalusi. (Põhikooli riiklik õppekava, 2011)

2. Metoodika

2.1 Uuringu ülesehitus ja läbiviimine

Magistritöö eesmärgiks oli välja töötada ja piloteerida uurimisinstrument, mis võimaldab tuvastada õpilaste väärarusaamu Päikesesüsteemi kohta enne ja pärast õppetegevuslikku sekkumist, ning analüüsida instrumendi sobivust väärarusaamade kaardistamisel.

Uuring viidi läbi pilootuuringuna, mille käigus koostati õppematerjalid ja uurimisinstrument, küsiti uurimisinstrumentidele eksperthinnangut ning katsetati instrumenti koolikeskkonnas kaheksandas ja üheksandas klassis eel- ja järeltesti vormis. Õppetegevuslik sekkumine koosnes posternäitusest ja selle põhjal täidetavast töölehest. Pärast järeltesti täitsid õpilased lühiküsitluse testide, plakatite ja töölehe keelelise arusaadavuse kohta. Magistritöö tegemise etapid olid järgmised:

1. posternäituse plakatite koostamine;
2. töölehe koostamine;
3. kirjandusega tutvumine ja asjakohaste väärarusaamade väljaselgitamine;
4. eel- ja järeltesti koostamine varasemate uuringute põhjal;
5. uurimisinstrumentidele eksperthinnangu küsimine;
6. testide muutmine ekspertide tagasiside põhjal;
7. lapsevanemate uuringust teavitamine;
8. eeltesti läbiviimine koolis;
9. posternäituse plakatite ülespanek vähemalt üks tööpäev enne tunnitöös kasutamist;
10. töölehe täitmine tunnitööna plakatite põhjal;
11. järeltesti läbiviimine;
12. lühiküsitluse läbiviimine testi keelelise arusaadavuse kohta.

2.2 Valim

Valimi moodustasid Ida-Virumaa ühe maakooli 8. ja 9. klassi õpilased. Tegemist oli mugavusvalimiga. Uuringu eri etappides osales kokku 14 õpilast, kellest lõplikku valimisse jäi 11, kuna nende puhul olid olemas nii eel- kui ka järeltesti vastused.

2.3 Uurimisinstrument

Uurimisinstrument koosneb samasugusest eel- ja järeltestist. (Lisa 1). Testid viidi läbi paber kandjal.

Test sisaldas 20 valikvastustega küsimust. Igal küsimusel oli neli vastusevarianti, millest üks oli õige. Küsimused olen jaotanud viide rühma, igasse rühma kuulub neli küsimust:

1. väärarusaamad Päikesesüsteemi vahekauguste kohta;
2. väärarusaamad Päikesesüsteemi taevakehade suuruste kohta;
3. väärarusaamad gravitatsiooni kohta Päikesesüsteemis;
4. väärarusaamad Päikese kui tähe kohta;
5. väärarusaam „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni“.

Valed vastusevariandid ehk distraktorid koostasid nii, et need peegeldaksid kirjanduses kirjeldatud väärarusaamu. Küsimuste, vastusevariantide ja distraktorite põhjalikum selgitus on esitatud lisas 3 (Lisa 3).

2.3.1 Valiidsus

Uurimisinstrumenti valiidsuse toetamiseks lähtuti testi koostamisel kirjanduses kirjeldatud Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamadest. Lisaks küsiti uurimisinstrumentile eksperthinnangut, mille põhjal muudeti küsimuste ja vastusevariantide sõnastust. Testi keelelise arusaadavuse hindamiseks viidi pärast järeldestit läbi lühiküsitlus.

2.3.2 Reliaablus

Uurimisinstrumenti sisemise kooskõla kirjeldamiseks arvutati Cronbachi alfa iga küsimusterühma kohta eraldi nii eel- kui ka järeldestis.

Tabel 1

Cronbachi alfa eel- ja järeldestis rühmade järgi

Rühmad	Eeltest	Järeldest
Väärarusaamad Päikesesüsteemi vahekauguste kohta	-0.103	0.444
Väärarusaamad Päikesesüsteemi taevakehade suuruste kohta	-1.026	-0.889
Väärarusaamad gravitatsiooni kohta Päikesesüsteemis	0.405	0.417
Väärarusaamad Päikese kui tähe kohta	-1.681	0.356
Väärarusaam „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni“.	0.800	-0.242

Cronbachi alfa väärtused (*Tabel 1*) olid küsimusterühmade lõikes valdavalt madalad ning mitmel juhul negatiivsed. See näitab, et sama rühma küsimuste vastused ei olnud omavahel tugevalt seotud. Tulemust mõjutas tõenäoliselt väike valim ja küsimuste väike arv igas rühmas. Seetõttu ei kasutatud Cronbachi alfa tulemusi instrumendi reliaabluse kinnitamiseks, vaid instrumendi sisemise kooskõla kirjeldamiseks pilootuuringu kontekstis.

2.4 Õppetegevuslik sekkumine

Õppetegevuslik sekkumine koosnes posternäitusest ja selle põhjal täidetavast töölehest.

Posternäitus koosnes 10 plakatist pealkirjadega: Päikesesüsteem, Päike, Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun. Plakatite sisu valisin nii, et seda oleks võimalik kasutada eri kooliastmetes ja lõimida teiste ainetega. Plakatid käsitlesid Päikesesüsteemi üldinfot ning nende koostamisel ei olnud eesmärgiks konkreetsete kirjanduses kirjeldatud väärtusamade otsene käsitlemine.

Plakatite abil täitsid õpilased õppetöö raames töölehte (*Lisa 2*). Töölehe ülesanded koostasid üldiselt Bloomi taksonoomiast lähtudes. Ülesanded hõlmasid nii plakatitelt info leidmist, võrdlemist, arvutamist, mudeli tõlgendamist kui ka põhjendatud otsuse tegemist.

Töölehe täitmine võttis umbes 40 minutit aega. Töölehe vastuseid ei kasutatud analüüsil.

2.5 Andmeanalüüs

Andmete sisestamiseks ja korrastamiseks kasutasin Microsoft Excelit. Andmete sisestamise näidistabelid on esitatud lisas (*Lisa 4*). Andmete analüüsimiseks ja graafikute koostamiseks kasutasin programmi RStudio. RStudio analüüsikoodi (*Lisa 6*) koostamisel kasutasin ChatGPT abi (OpenAI, 2026).

Eeltestis esile tõusnud distraktorite tuvastamiseks kasutasin täpset binomiaaltesti (Agresti, 2013). Iga distraktori puhul käsitlesin vastust binaarse tunnusega: õpilane kas valis vastava distraktori või ei valinud seda. Vaadeldud valikusagedust võrdlesin juhusliku valiku teoreetilise ootusega nelja vastusevariandi korral, kus ühe vastusevariandi eeldatav tõenäosus on $p_0=0.25$. Väikese valimi korral on täpne binomiaaltest sobiv, sest p-väärtus arvutatakse otse binomiaaljaotusest, mitte suure valimi normaaljaotuse lähendusest. (Agresti, 2013) Statistiliselt eristuvaks käsitleti tulemusi tasemel $p < 0.05$. Kuna tegemist oli väikese valimiga pilootuuringuga, tõlgendati tulemusi ettevaatlikult ning kasutati neid eelkõige kirjeldava abivahendina.

Lisaks koostasid graafiku, mis seostas vastajate üldsoorituse taseme valitud vastusevariandiga. (*Lisa 5*)

3. Tulemused

3.1 Üldtulemused eel- ja järeltestis

Pilootuuringu lõppvalimis oli 11 õpilast, kes sooritasid eel- ja järeltesti.

Eeltesti keskmiseks sooritustulemuseks oli 25.5%, mediaaniks ja moodiks 25%.

Järeltesti keskmiseks sooritustulemuseks 29.5%, mediaaniks 30% ja moodiks 40%

Järeltesti tulemused olid eeltestiga võrreldes veidi kõrgemad. (Tabel 2; Joonis 1)

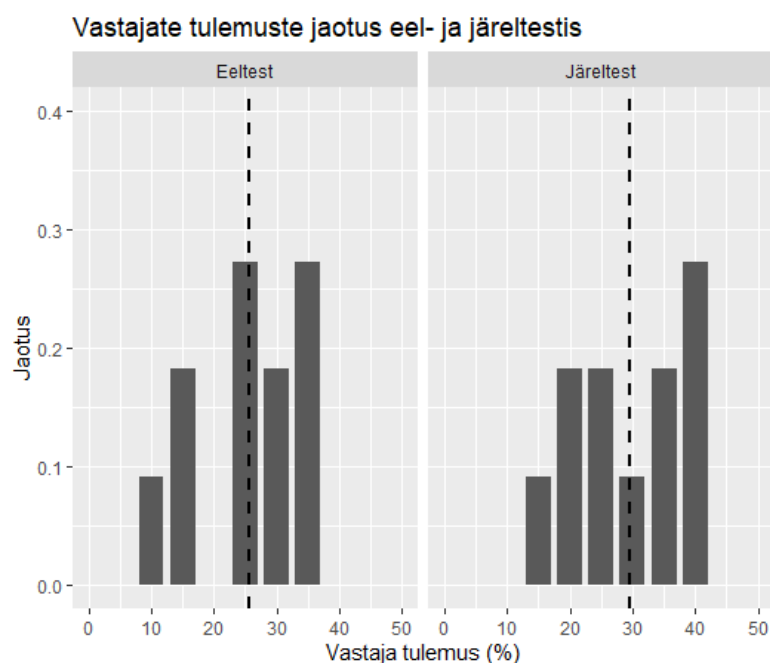
Tabel 2

Eel- ja järeltesti keskmine, mediaan ja mood

	Keskmine %	Mediaan %	Mood %
Eeltest	25.5	25	25
Järeltest	29.5	30	40

Joonis 1

Vastajate tulemuse jaotus eel- ja järeltestis. Joonisele on punktiirina kantud keskmine tulemus. Järeltesti tulemused veidi paranesid eeltestiga võrreldes.



3.2 Muutused küsimuste kaupa

Nii eel- kui ka järeltestis oli 20 nelja valikvastustega küsimust. Üksikküsimuste kaupa on eel- ja järeltesti sooritus esitatud joonise 2 (Joonis 2).

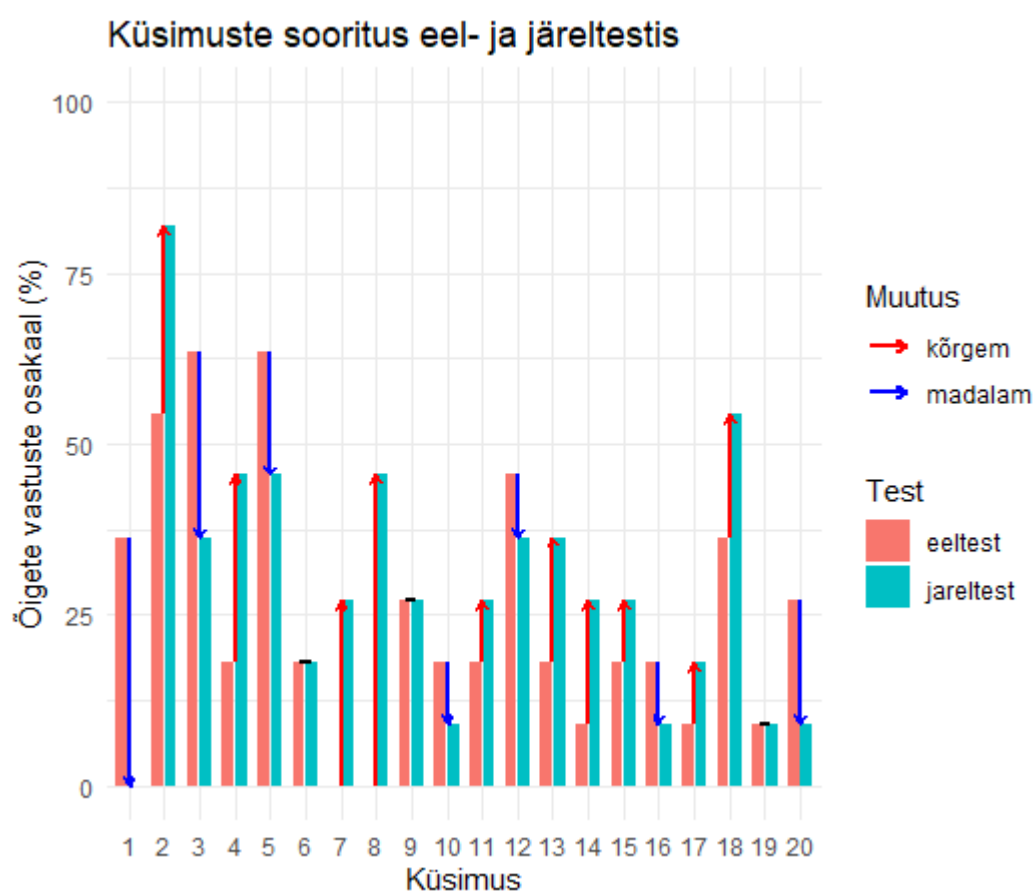
Järeltestis oli õigete vastuste osakaal eeltestiga võrreldes suurem kümnes küsimuses, väiksem seitsmes küsimuses ning jäi samaks kolmes küsimuses. Kõige suurem tõus ilmnis küsimuses

8, kus õigete vastuste osakaal suurenes 0%-lt 45.5%-le. Samuti suurenes tulemus küsimuses 2, kus õigete vastuste osakaal tõusis 54.5%-lt 81.8%-le.

Kõige suurem langus ilmnes küsimuses 11, kus õigete vastuste osakaal vähenes 36.4%-lt 0%-le. Kõige madalam tulemus oli küsimuses 19, kus õigete vastuste osakaal jäi mõlemas testis 9.1%-le.

Joonis 2

Üksikküsimuste sooritus eel- ja järeltestis. Tulbad näitavad õigete vastuste osakaalu protsentides. Noolega on märgitud, kas järeltesti sooritus oli eeltestiga võrreldes kõrgem või madalam. Kümnel juhul sooritus paranes, seitsmel juhul halvenes ja kolmel juhul jäi samaks.



3.3 Vastusevariantide jaotus eeltestis

Täpse binomiaaltestiga hindasin, kas konkreetse vastusevariandi valikusagedus eeltestis ületas juhusliku valiku ootust nelja vastusevariandi korral. Edaspidi vaatan läbi neid vastusevariante eeltestis, kus $p < 0.05$. Neid on neli ja need on toodud tabelis 3 (Tabel 3).

Tabel 3

Eeltesti vastusevariandid, mille valikusagedus ületas binominaaltesti põhjal juhusliku valiku ootust. Tabelis on esitatud küsimuse number, õige vastusevariant, enim valitud vastusevariant,

selle valinud õpilaste arv, küsimuse sooritustulemus ja binominaaltesti p-väärtus. Juhusliku valiku ootuseks võeti 25%.

Küsimuse nr	õige	valitud	Mitu valis	Sooritustulemus %	p-väärtus
2	c	c	6	54.5	0.0343
3	b	b	7	63.6	0.0076
5	b	b	7	63.6	0.0076
8	b	c	7	0	0.00761

Küsimustes 2, 3 ja 5 ületas juhusliku valiku ootust õige vastuse valikusagedus. Seetõttu kirjeldan neid küsimusi esmalt eraldi.

Küsimuses 2 küsiti, milline on Maale kõige lähem täht. Õige vastus oli c) Päike, mille valis 54.5% vastanutest. Vastusevariantide jaotusest on näha, et valiti ka teisi variante, kuid kõrgema üldsooritusega õpilased valisid pigem õige vastuse (Joonis 3).

Joonis 3

Küsimuse 2 vastusevariantide jaotus eeltestis õpilaste üldsoorituse lõikes. On näha et kõrgema üldsooritusega õpilased valisid pigem õige vastuse

Eeltest: 2. küsimus

Milline on Maale kõige lähem täht?

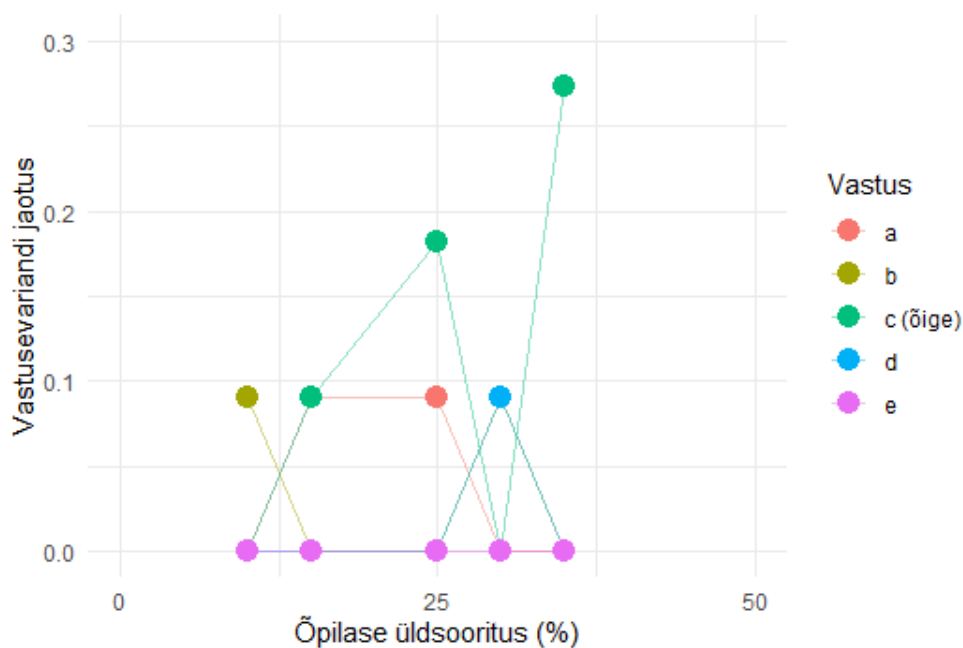
a: Koidutäht

b: Alpha Centauri

c (õige): Päike

d: Sabatäht ehk komeet

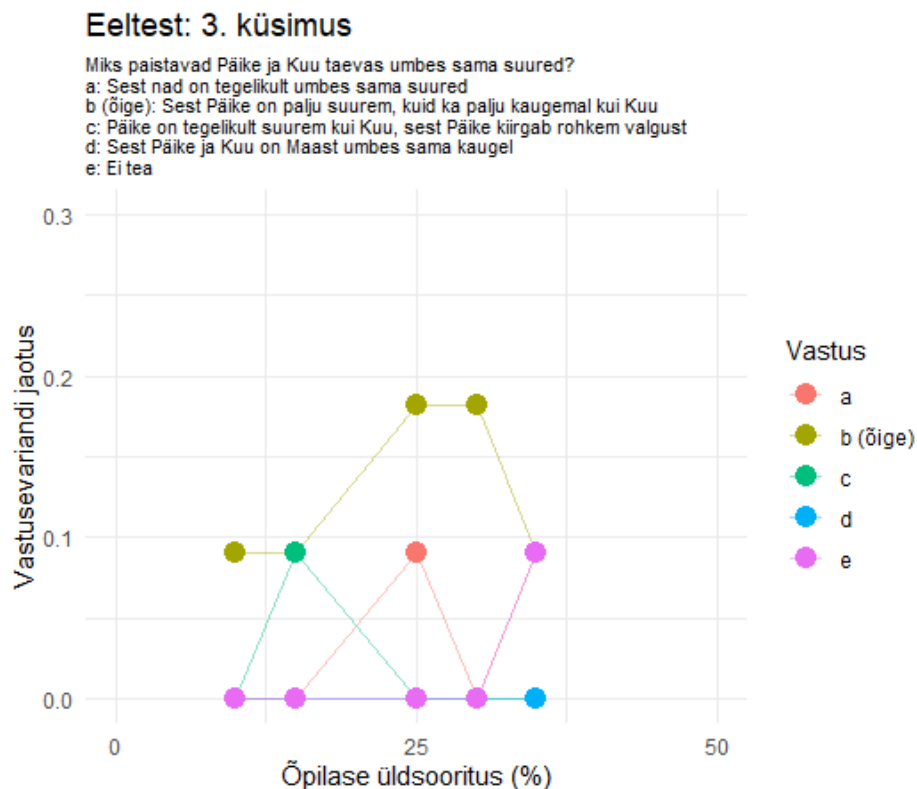
e: Ei tea



Küsimuses 3 küsiti, miks paistavad Päike ja Kuu taevas umbes sama suured. Õige vastuse b) „Sest Päike on palju suurem, kuid ka palju kaugemal kui Kuu” valis 63.6% õpilastest. Vastusevariantide jaotusest on näha, et õige vastus esines mitme erineva üldsooritusega õpilaste seas. Lisaks valiti vastusevariante a) ja c), vastusevarianti d) ei valitud ning üks õpilane jättis küsimusele vastamata. (Joonis 4)

Joonis 4

Küsimuse 3 vastuste jaotus eeltestis õpilaste üldsoorituse lõikes. Õige vastus oli b), mida esines erineva üldsooritusega õpilaste seas

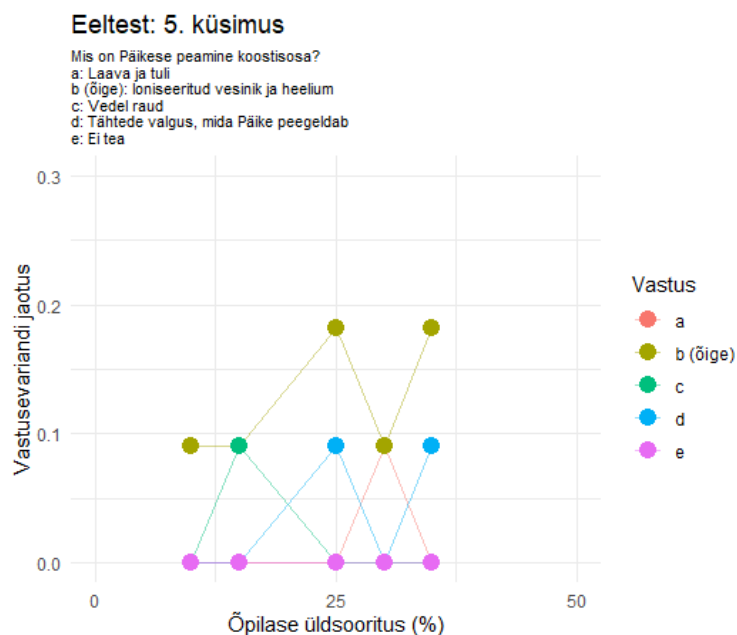


Küsimuses 5 küsiti, mis on Päikese peamine koostisosa. Õige vastuse b) „Ioniseeritud vesinik ja heelium“ valis 63.6% õpilastest. Vastusevariantide jaotusest on näha, et õige vastus esines mitme erineva üldsooritusega õpilaste seas. Lisaks valiti vastusevariante c) ja d), vastusevarianti a) ei valitud. (Joonis 5)

Küsimus 8 oli sõnastatud järgmiselt: „Oletame, et keegi kaevab tunneli otse läbi Maa. Seejärel viskab ta sinna kivi. Ülesandes ei arvestata Maa pöörlemist ning tunnelis on 20 °C õhk. Kuidas kivi edasi liigub?” Sellele küsimusele ei vastanud eeltestis keegi õigesti. Enim valiti distraktor c) „Kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse”, mille valis 63.6% vastanutest. Vastusevariantide jaotusest on näha, et selle distraktori valinud õpilaste üldsooritus paiknes peamiselt kõrgemate tulemuste juures. (Joonis 6)

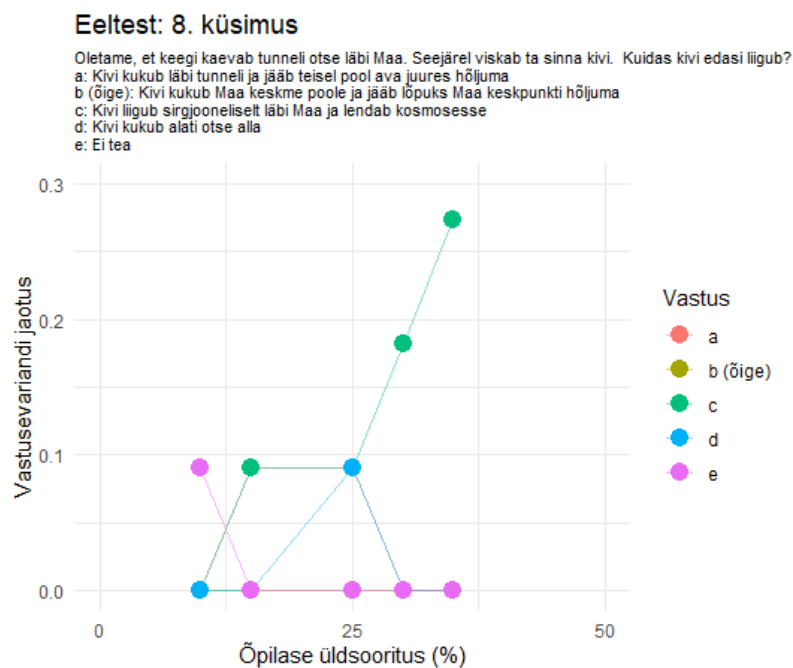
Joonis 5

Küsimuse 5 vastuste jaotus eeltestis õpilaste üldsoorituse lõikes. Õige vastus oli b), mida esines erineva üldsooritusega õpilaste seas



Joonis 6

Küsimuse 8 vastuste jaotus eeltestis õpilaste üldsoorituse lõikes. Õige vastus oli b), mida ei valinud ükski vastanutest



3.4 Tulemused väärarusaamade rühmade kaupa

Küsimused olin jaotanud viide rühma. Tabelis 4 (Tabel 4) ja joonisel 7 (Joonis 7) on esitatud eel- ja järeltesti tulemused nende rühmade kaupa. Kõrgeim sooritustulemus oli nii eel- kui ka järeltestis rühmas, mis käsitles Päikest kui tähte. Madalaim eeltesti tulemus oli gravitatsiooni ja Päikesesüsteemi vahekaugustega seotud väärarusaamade rühmades. Järeltestis suurenes sooritustulemus mõlemas rühmas. Rühmas „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni” jäi sooritustulemus eel- ja järeltestis samaks. Sooritustulemus vähenes rühmas, mis käsitles Päikesesüsteemi taevakehade suurusi.

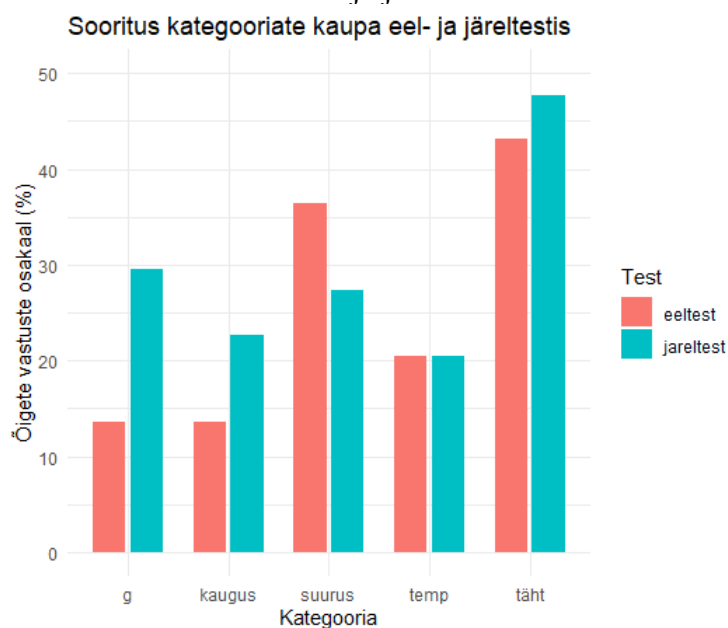
Tabel 4

Küsimuste tulemused % eel- ja järeltestis väärarusaama rühmade kaupa

Väärarusaama rühm	Eeltest	Järeltest	Muutus
Väärarusaamad gravitatsiooni kohta Päikesesüsteemis	13.6	29.5	15.9
Väärarusaamad Päikesesüsteemi vahekauguste kohta	13.6	22.7	9.1
Väärarusaamad Päikesesüsteemi taevakehade suuruste kohta	36.4	27.3	-9.1
Väärarusaamad „Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni”	20.5	20.5	0.0
Väärarusaamad Päikese kui tähe kohta	43.2	47.7	4.5

Joonis 7

Küsimuste tulemused eel- ja järeltestis väärarusaama rühmade kaupa



3.5 Õpilaste hinnang testide ja õppematerjalide arusaadavusele

Pärast järeldestit täitsid õpilased lühiküsimustiku, milles hindasid testide, töölehe ja plakatite keelelist arusaadavust 5-palli skaalal. Testiküsimuste keelelise arusaadavuse keskmine hinnang oli 4.2, töölehe keelelise arusaadavuse keskmine hinnang samuti 4.2 ning plakatite keelelise arusaadavuse keskmine hinnang 4.5.

Lisaks paluti õpilastel märkida, kui mõni testiküsimus jäi keeleliselt arusaamatuks. Ühel korral märgiti küsimus 19 ning kolmel korral küsimus 4.

Küsimus 4, mida märgiti kolmel korral keeleliselt arusaamatuks, käsitles Kuu liikumist ümber Maa. Küsimuses küsiti: „Miks ei lange Kuu Maa peale ega lenda Maast eemale?” Õige vastuse „Maa ja Kuu vaheline gravitatsioonijõud tõmbab Kuud enda poole ja hoiab seda ümber Maa tiirlemas” valis eeltestis 18.2% ja järeltestis 45.5% vastanutest. Kõik distraktorid olid vastustes esindatud nii eel- kui ka järeltestis.

Ühel korral märgiti keeleliselt arusaamatuks küsimus 19, milles küsiti: „Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?” Õige vastuse „Hiidplaneetide vahelised kaugused on üldjuhul suuremad kui kiviplaneetide vahelised kaugused” valis nii eel- kui ka järeltestis 9.1% õpilastest. Eeltestis valiti enim vastusevariant „Kui planeetide orbiidid lõikuksid, põrkuksid nad tõenäoliselt kokku, sest neil ei ole kosmoses piisavalt ruumi üksteisest möödumiseks”, mille valis 45.5% vastanutest. Järeltestis valiti enim vastusevariant „Planeetidel on soojemad ja külmemad aastaajad, sest elliptilisel orbiidil muutub nende kaugus Päikeseni”, mille valis 36.4% vastanutest.

4. Arutelu

Tulemuste tõlgendamisel tuleb arvestada, et tegemist oli väikese valimiga pilootuuringuga. Eel- ja järeltesti võrdlusesse kaasati 11 õpilase vastused, mistõttu ei saa tulemusi üldistada kõigile 8. ja 9. klassi õpilastele. Samuti ei olnud uurimisinstrument veel valideeritud, mistõttu käsitlen tulemusi esmase ülevaatenähtena sellest, milliseid väärarusaamu instrument võimaldab märgata ja milliseid täiendusi see vajab.

Esimese uurimisküsimusega sooviti teada, kas ja milliseid Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamu võimaldab uurimisinstrument tuvastada. Eeltesti vastusevariantide jaotuse põhjal tõusis kõige selgemalt esile küsimus 8, milles 63.6% õpilastest valis vastuse, et läbi Maa kaevatud tunnelisse visatud kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse. Sellist vastust on kirjanduses kirjeldatud ka varem (Cardinot & Fairfield, 2021; Driver, 2009) ning see võib viidata arusaamale, et gravitatsiooni ei seostata taevakeha keskpunkti poole suunatud jõuga.

Rühmade kaupa vaadates ilmnes kõige madalam eeltesti tulemus gravitatsiooni ja Päikesesüsteemi vahekaugustega seotud küsimustes. Samas tõusis binominaaltestis selgelt esile ainult üks vale vastusevariant, mistõttu saab pilootuuringu põhjal väärarusaamade tuvastamisest rääkida eelkõige üksikküsimuste, mitte kogu rühma tasandil.

Teise uurimisküsimusega sooviti teada, millised muutused ilmnesid järeltestis eeltestiga võrreldes pärast õppetegevuslikku sekkumist. Tulemuste põhjal oli üldine muutus väike, kuigi nii keskmine, mediaan kui ka mood olid järeltestis eeltestiga võrreldes kõrgemad (*Tabel 2*). Seetõttu ei saa pilootuuringu põhjal teha tugevat järeldust õppetegevuse mõju kohta. Pigem näitavad tulemused, et muutused ilmnesid ebaühtlaselt ning neid tuleb vaadelda küsimuste ja väärarusaamade rühmade kaupa.

Küsimuste kaupa ilmnesid nii paranemised kui ka langused (*Joonis 2*). Kõige selgem positiivne muutus oli küsimuses 8, mis seostus ka eeltestis esile tõusnud gravitatsiooniga seotud väärarusaamaga. See võib viidata sellele, et õppetegevus toetas vähemalt osa õpilaste arusaama gravitatsiooni suunast, kuid väikese valimi tõttu tuleb seda käsitleda ettevaatlikult.

Väärarusaamade rühmade kaupa ei olnud muutus samuti ühtlane (*Tabel 4, Joonis 7*). Tulemused paranesid gravitatsiooni ja Päikesesüsteemi vahekaugustega seotud rühmades, kuid jäid samaks või vähenesid teistes rühmades. See viitab, et õppetegevus ei mõjutanud kõiki käsitletud teemasid ühtmoodi.

Kolmanda uurimisküsimusega sooviti välja selgitada, milliseid täiendusi uurimisinstrument pilootuuringu tulemuste põhjal vajab. Õpilaste lühiküsimustiku põhjal hinnati testide, töölehe ja plakatite keelelist arusaadavust üldiselt kõrgelt, kuid eraldi märgiti arusaamatuks küsimused 4 ja 19. Seetõttu vajavad need küsimused enne instrumendi edasist kasutamist keelelist ülevaatamist.

Lisaks vajab täiendamist küsimuste jaotus väärarusaamade rühmadesse. Kuna igas rühmas oli vähe küsimusi ja valim oli väike, tuleb Cronbachi alfa tulemusi tõlgendada ettevaatlikult. (*Tabel 1*) Madal alfa võib viidata sellele, et sama rühma küsimused ei mõõda piisavalt ühtset nähtust, kuid pilootuuringu põhjal ei saa seda kindlalt järeldada. Edasises töös tuleks küsimused üle vaadata ning vajaduse korral ümber sõnastada või rühmitada nii, et need mõõdaksid paremini samu väärarusaamu. Lisaks tasub kaaluda mõne küsimuse, näiteks Päikesesüsteemi vahekauguste ja taevakehade suuruste kohta, muutmist avatud joonistuspõhiseks ülesandeks, sest sellisel kujul on neid teemasid sageli käsitletud ka varasemates uuringutes (Dahsah et al., 2012; Yu et al., 2010).

Eel- ja järeltesti täitmiseks kulus õpilastel üldiselt 10–20 minutit, mistõttu ei osutunud 20 küsimusega test ajaliselt liiga mahukaks. Samas ei ole küsimuste arvu edaspidi soovitatav oluliselt suurendada, sest see võib muuta testi õpilaste jaoks koormavamaks.

Lisaks tasub kaaluda viienda vastusevariandi „ei tea” lisamist. Varasemates käsitlustes on „ei tea” vastusevarianti nimetatud ühe võimalusena vähendada juhuslikku vastamist valikvastustega testides (Muijtjens et al., 1999). Pilootuuringus said õpilased vastuse märkimata jätta, kuid eraldi vastusevariant aitaks eristada selgemalt väärarusaamu teadmise puudumisest.

Kokkuvõte

Õpilased ei alusta loodusteaduslike nähtuste õppimist ilma varasemate arusaamadeta, vaid tõlgendavad uut teavet oma olemasolevate teadmiste, kogemuste ja mentaalsete mudelite kaudu (Duit & Treagust, 2003; Jones et al., 2011). Kui need arusaamad erinevad teaduslikult aktsepteeritud käsitlusest, võivad kujuneda väärarusaamad, mille muutumine ei pruugi olla kiire ega ühtlane, vaid sõltub sellest, kuidas õppija varasemad teadmised uue infoga seostuvad (diSessa, 1993; Posner et al., 1982; Vosniadou, 1994).

Magistritöö eesmärk oli välja töötada ja piloteerida uurimisinstrument, mis võimaldab tuvastada õpilaste väärarusaamu Päikesesüsteemi kohta enne ja pärast õppetegevuslikku sekkumist, ning analüüsida instrumendi sobivust väärarusaamade kaardistamisel. Uurimisinstrument koosnes samasugusest eel- ja järeltestist, milles oli 20 valikvastustega küsimust. Varasematele uuringutele tuginedes jaotati küsimused viide Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamade rühma: taevakehade vahekaugused, taevakehade suurused, gravitatsioon, Päike kui täht ning planeedi temperatuuri sõltumine kaugusest Päikeseni (Lelliott & Rollnick, 2010; Bryce & Blown, 2013; Cardinot & Fairfield, 2021; Korur, 2015; Comins, 2001).

Pilootuuring viidi läbi Ida-Virumaa ühe maakooli 8. ja 9. klassi õpilaste seas. Lõplikku valimisse kuulus 11 õpilast. Õppetegevuslik sekkumine koosnes posternäitusest ja selle põhjal täidetavast töölehest. Pärast järeltesti täitsid õpilased lühiküsitluse, milles hindasid testide, töölehe ja plakatite keelelist arusaadavust. Andmeid analüüsiti üldtulemuste, üksikküsimuste, väärarusaamade rühmade ja vastusevariantide valiku jaotuse põhjal eeltestis; üksikute vastusevariantide valiku eristuvust juhusliku valiku ootusest hinnati täpse binomiaaltestiga.

Tulemused näitasid, et järeltesti (keskmine 29.5%) üldine sooritus oli eeltestiga (keskmine 25.5%) võrreldes veidi kõrgem. Muutused ei olnud siiski ühtlased. Küsimuste kaupa suurenes õigete vastuste osakaal kümnes küsimuses, vähenes seitsmes küsimuses ja jäi samaks kolmes küsimuses. Eeltestis tõusis kõige selgemalt esile gravitatsiooniga seotud küsimus, milles enamik õpilasi valis vastuse, et läbi Maa kaevatud tunnelisse visatud kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse.

Pilootuuring näitas, et uurimisinstrument võimaldab Päikesesüsteemiga seotud väärarusaamu märgata, kuid vajab enne edasist kasutamist täiendamist. Enne instrumendi edasist kasutamist vajavad ülevaatomist küsimuste rühmitamine, mõne küsimuse sõnastus ja vastusevariantide ülesehitus. Kuigi testid, tööleht ja plakatid olid õpilaste hinnangul üldiselt arusaadavad, vajavad küsimused 4 ja 19 täpsustamist. Väikese valimi tõttu tuleb tulemusi tõlgendada ettevaatlikult. Töö tulemusena valmis esmane uurimisinstrument ja õppematerjalide kogum.

Kirjanduse loetelu

- Agan, L. (2004). Stellar Ideas: Exploring Students' Understanding of Stars. *Astronomy Education Review*, 3(1), 77–97. <https://doi.org/10.3847/AER2004008>
- Agresti, A. (2013). *Categorical data analysis* (Third edition). Wiley-Interscience.
- American Association of Variable Star Observers. (s.a.). *Unit 1: Planets and stars* [Teacher guide]. American Association of Variable Star Observers. Salvestatud https://www.aavso.org/sites/default/files/education/vsa/teacher_Chapter1.pdf
- Asghar, A., & Libarkin, J. C. (2010). Gravity, Magnetism, and “Down”: Non-physics College Students' Conceptions of Gravity. *Science Educator*, v19 n1, 42–55.
- Azizah, S. N., Akhsan, H., Muslim, M., & Ariska, M. (2022). Analysis of college students misconceptions in astronomy using four-tier test. *Journal of Physics: Conference Series*, 2165(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2165/1/012004>
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502–513. <https://doi.org/10.1080/0950069890110503>
- Blown, E. J., & Bryce, T. G. K. (2020). The Enduring Effects of Early-Learned Ideas and Local Folklore on Children's Astronomy Knowledge. *Research in Science Education*, 50(5), 1833–1884. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9756-1>
- Brewer, W. F. (2008). Naïve theories of observational astronomy: Review, analysis and theoretical implications. *International handbook of research on conceptual change* (lk 155–204). New York: Routledge.
- Bryce, T. G. K., & Blown, E. J. (2013). Children's Concepts of the Shape and Size of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 35(3), 388–446. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.750432>
- Cardinot, A., & Fairfield, J. A. (2021). Alternative Conceptions of Astronomy: How Irish Secondary Students Understand Gravity, Seasons, and the Big Bang. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(4), em1950. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10780>
- Chrzanowski, M. M., Grajkowski, W., Żuchowski, S., & Ostrowska, E. B. (2018). *Vernacular Misconceptions in Teaching Science – Types and Causes*. <https://doi.org/10.12973/tused.10244a>
- Cin, M. (2007). Alternative views of the solar system among turkish students. *International Review of Education*, 53(1), 39–53. <https://doi.org/10.1007/s11159-006-9029-5>
- Comins, N. F. (2001). *Heavenly Errors. Misconceptions About the Real Nature of the Universe*. Columbia University Press.
- Cox, M., Steegen, A., & De Cock, M. (2016, juuni 1). How Aware Are Teachers of Students' Misconceptions in Astronomy? A Qualitative Analysis in Belgium. *Science Education International*, 277–300.
- Dahsah, C., Phonphok, N., Pruekpramool, C., Sangpradit, T., & Sukonthachai, J. (2012). *Students' Conception on Sizes and Distances of the Earth -Moon- Sun Models*. 32(4). *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering* (lk 13362). (2012). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13362>
- diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- Driver, R. (Toim). (2009). *Children's ideas in science* (Repr). Open Univ. Press.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>

- Eesti teadus- ja arendustegevuse, innovatsiooni ning ettevõtluse arengukava 2021–2035.* (2021). https://www.hm.ee/sites/default/files/documents/2022-09/3._taie_arengukava_kinnitatud_15.07.2021_0.pdf
- Favia, A., Comins, N. F., Thorpe, G. L., & Batuski, D. J. (2014). *A DIRECT EXAMINATION OF COLLEGE STUDENT MISCONCEPTIONS IN ASTRONOMY: A NEW INSTRUMENT.*
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/095006900289976>
- Gönen, S. (2008). A Study on Student Teachers' Misconceptions and Scientifically Acceptable Conceptions About Mass and Gravity. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 70–81. <https://doi.org/10.1007/s10956-007-9083-1>
- Henriques, L. (2002). Children's Ideas About Weather: A Review of the Literature. *School Science and Mathematics*, 102(5), 202–215. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2002.tb18143.x>
- Inaltekin, T., & Akbaba, U. (2024). Investigation of Middle School Students' Model of Astronomy Events and Information Sources of Incorrect Model. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 11(4), 508–524. <https://doi.org/10.52380/ijcer.2024.11.4.680>
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*, 16(1), art46. <https://doi.org/10.5751/ES-03802-160146>
- Kikas, E. (2000). The influence of teaching on students' explanations and illustrations of the day/night cycle and seasonal changes. *European Journal of Psychology of Education*, 15(3), 281–295. <https://doi.org/10.1007/BF03173180>
- Kikas, E. (2003). University Students' Conceptions of Different Physical Phenomena. *Journal of Adult Development*, 10, 139–150. <https://doi.org/10.1023/A:1023410212892>
- Korur, F. (2015). Exploring Seventh-Grade Students' and Pre-Service Science Teachers' Misconceptions in Astronomical Concepts. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1373a>
- Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big Ideas: A review of astronomy education research 1974–2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771–1799. <https://doi.org/10.1080/09500690903214546>
- Miller, B., & Brewer, W. F. (2010). Misconceptions of Astronomical Distances. *International Journal of Science Education*, 32(12), 1549–1560. <https://doi.org/10.1080/09500690903144099>
- Muijtjens, Mameren, H. V., Hoogenboom, Evers, & Vleuten, C. P. M. V. D. (1999). The effect of a 'don't know' option on test scores: Number-right and formula scoring compared. *Medical Education*, 33(4), 267–275. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.1999.00292.x>
- Nazé, Y., & Fontaine, S. (2014). An astronomical survey conducted in Belgium. *Physics Education*, 49(2), 151–163. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/2/151>
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Toim), *The Cognitive Basis of Science* (1. tr, lk 133–153). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613517.008>
- OpenAI. (2026). *ChatGPT* (Version GPT-5.5 Thinking) [Large language model].
- Piaget, J. (1970). *GENETIC EPISTEMOLOGY*. Columbia University Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>

- Põhikooli riiklik õppekava, Legislation No. Vabariigi Valitsuse 6. jaanuari 2011. a määrus nr 1, RT I, 14.01.2011, 1 Riigi Teataja (2011). <https://www.riigiteataja.ee/akt/123122025006?leiaKehtiv>
- Rajpaul, V. M., Lindström, C., Engel, M. C., Brendehaug, M., & Allie, S. (2018). Cross-sectional study of students' knowledge of sizes and distances of astronomical objects. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020108>
- Sadler, P. M. (1998). Psychometric models of student conceptions in science: Reconciling qualitative studies and distractor-driven assessment instruments. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(3), 265–296. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199803\)35:3%253C265::AID-TEA3%253E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199803)35:3%253C265::AID-TEA3%253E3.0.CO;2-P)
- Salimpour, S., Bartlett, S., Fitzgerald, M. T., McKinnon, D. H., Cutts, K. R., James, C. R., Miller, S., Danaia, L., Hollow, R. P., Cabezon, S., Faye, M., Tomita, A., Max, C., De Korte, M., Baudouin, C., Birkenbauma, D., Kallery, M., Anjos, S., Wu, Q., ... Ortiz-Gil, A. (2021). The Gateway Science: A Review of Astronomy in the OECD School Curricula, Including China and South Africa. *Research in Science Education*, 51(4), 975–996. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09922-0>
- Science Teaching Reconsidered: A Handbook* (lk 5287). (1997). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5287>
- Sharma, M. D., Millar, R. M., Smith, A., & Sefton, I. M. (2004). Students' Understandings of Gravity in an Orbiting Space-Ship. *Research in Science Education*, 34(3), 267–289. <https://doi.org/10.1023/B:RISE.0000044605.00448.bd>
- Sharp, J. G. (1996). Children's astronomical beliefs: A preliminary study of Year 6 children in south-west England. *International Journal of Science Education*, 18(6), 685–712. <https://doi.org/10.1080/0950069960180604>
- Sharp, J. G., & Kuerbis, P. (2006). Children's ideas about the solar system and the chaos in learning science. *Science Education*, 90(1), 124–147. <https://doi.org/10.1002/sce.20126>
- Sneider, C., Bar, V., & Kavanagh, C. (2011). Learning about Seasons: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 10(1), 010103–010103–010122. <https://doi.org/10.3847/AER2010035>
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297–328. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9090-4>
- Trumper, R. (2001). A Cross-age Study of Senior High School Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. *Research in Science & Technological Education*, 19(1), 97–109. <https://doi.org/10.1080/02635140120046259>
- Trumper, R. (2006). Teaching future teachers basic astronomy concepts—Seasonal changes—At a time of reform in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9), 879–906. <https://doi.org/10.1002/tea.20138>
- Von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese*, 80(1), 121–140. <https://doi.org/10.1007/BF00869951>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2012). Reframing the Classical Approach to Conceptual Change: Preconceptions, Misconceptions and Synthetic Models. B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Toim), *Second International Handbook of Science Education* (lk 119–130). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_10
- Wiebke, H., Park Rogers, M. A., & Hanuscin, D. L. (2011). Sizing up the solar system. *Science and Children*, : 36–40.

- Williamson, K. E., & Willoughby, S. (2012). Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy. *Astronomy Education Review*, 11(1).
<https://doi.org/10.3847/AER2011025>
- Yu, K. C., Sahami, K., & Denn, G. (2010). Student Ideas about Kepler's Laws and Planetary Orbital Motions. *Astronomy Education Review*, 9(1).
<https://doi.org/10.3847/AER2009069>

Summary

Students do not begin learning scientific phenomena without prior understandings, but interpret new information through their existing knowledge, experiences and mental models (Duit & Treagust, 2003; Jones et al., 2011). If these understandings differ from scientifically accepted explanations, misconceptions may develop. Changing these misconceptions may not be quick or uniform, but depends on how the learner's prior knowledge is connected with new information (diSessa, 1993; Posner et al., 1982; Vosniadou, 1994).

The aim of this master's thesis was to develop and pilot a research instrument that can identify students' misconceptions about the Solar System before and after an instructional intervention, and to analyse the suitability of the instrument for mapping misconceptions. The research instrument consisted of identical pre- and post-tests with 20 multiple-choice questions. Based on previous studies, the questions were divided into five groups of Solar System-related misconceptions: distances between celestial bodies, sizes of celestial bodies, gravity, the Sun as a star, and the dependence of a planet's temperature on its distance from the Sun (Lelliott & Rollnick, 2010; Bryce & Blown, 2013; Cardinot & Fairfield, 2021; Korur, 2015; Comins, 2001).

The pilot study was conducted among 8th- and 9th-grade students at a rural school in Ida-Viru County. The final sample consisted of 11 students. The instructional intervention consisted of a poster exhibition and a worksheet completed on the basis of the posters. After the post-test, students completed a short questionnaire in which they assessed the linguistic comprehensibility of the tests, worksheet and posters. The data were analysed based on overall results, individual questions, misconception groups and the distribution of answer choices in the pre-test; the distinctiveness of individual answer choices from the expectation of random choice was assessed using an exact binomial test.

The results showed that the overall performance in the post-test (mean 29.5%) was slightly higher than in the pre-test (mean 25.5%). However, the changes were not uniform. By individual questions, the proportion of correct answers increased in ten questions, decreased in seven questions and remained the same in three questions. In the pre-test, the most clearly emerging result was related to a question about gravity, in which most students chose the answer that a stone dropped into a tunnel dug through the Earth would move in a straight line through the Earth and fly into space.

The pilot study showed that the research instrument can reveal Solar System-related misconceptions, but it needs further development before being used again. Before further use, the grouping of questions, the wording of some questions and the structure of the answer options

need to be reviewed. Although the tests, worksheet and posters were generally considered understandable by the students, questions 4 and 19 need clarification. Due to the small sample, the results must be interpreted with caution. As a result of the thesis, an initial research instrument and a set of learning materials were developed.

Lisad

Lisa 1

Eel- ja järeltest

Tõmba joon alla õigele vastusevariandile. Vali ainult üks vastus.

1. Miks on suvel soojem kui talvel?

- a) Maa on suvel Päikesele lähemal
- b) Maa tiirlemine ümber Päikese aeglustub suvel
- c) Maa telje kalle muudab Päikesekiirte langemisnurka
- d) Suvel on kasvuhoonegaase rohkem

2. Milline on Maale kõige lähem täht?

- a) Koidutäht
- b) Alpha Centauri
- c) Päike
- d) sabatäht ehk komeet

3. Miks paistavad Päike ja Kuu taevas umbes sama suured?

- a) Sest nad on tegelikult umbes sama suured
- b) Sest Päike on palju suurem, kuid ka palju kaugemal kui Kuu
- c) Päike on tegelikult suurem kui Kuu, sest Päike kiirgab rohkem valgust
- d) Sest Päike ja Kuu on Maast umbes sama kaugel

4. Miks ei lange Kuu Maa peale ega lenda Maast eemale?

- a) Kuu ümber ei ole atmosfääri, seega ei mõju Kuul gravitatsioon samamoodi nagu Maal
- b) Maa ja Kuu vaheline gravitatsioonijõud tõmbab Kuud enda poole ja hoiab seda ümber Maa tiirlemas
- c) Maa magnetväli hoiab Kuud selle orbiidil ümber Maa
- d) Kuu on Maast nii kaugel, et sellele enam gravitatsiooni ei mõju.

5. Mis on Päikese peamine koostisosa?

- a) Laava ja tuli
- b) Ioniseeritud vesinik ja heelium
- c) Vedel raud
- d) Tähtede valgus, mida Päike peegeldab

6. Astronaudid hõljuvad Rahvusvahelises Kosmosejaamas kaaluta olekus. Miks?

- a) Kosmoses pole gravitatsioonijõudu
- b) Astronaut on Maa atmosfäärist väljas
- c) Kosmosejaam ja astronaudid on vabas langemises ning astronaudid ei toetu pinnale
- d) Kosmoses on magnetväli liiga nõrk, selleks et astronaute tõmmata

7. Milline on Päikesesüsteemi kõige kuumem planeet ja miks?

- a) Merkuur, sest see on Päikesele kõige lähemal ja sellel pole pilvi
- b) Veenus, sest see on Päikesele kõige lähemal
- c) Marss, sest see on punane
- d) Veenus, sest see on Päikese lähedal ja sellel on tihe kasvuhoonegaaside rikas atmosfäär.

8. Oletame, et keegi kaevab tunneli otse läbi Maa (vt joonist). Seejärel viskab ta sinna kivi. (Ülesandes ei arvestata Maa pöörlemist. Tunnelis on 20 °C õhk).



Kuidas kivi edasi liigub?

- a) Kivi kukub läbi tunneli ja jääb teisel pool ava juures hõljuma
- b) Kivi kukub Maa keskmee poole ja jääb lõpuks Maa keskpunkti hõljuma
- c) Kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse
- d) Kivi kukub alati otse alla

Joonis 8
(OpenAI, 2026)

9. Kui planeedid asuksid samal kaugusel Päikesest, milline neist oleks kõige kuumem? Miks?

- a) Atmosfäärita planeet, sest puuduvad pilved, mis varjaksid Päikest
- b) Tiheda atmosfääriga planeet, sest sellel mõjub tugev kasvuhooneefekt
- c) Planeet, millel on suurem raadius, sest selle pind on Päikesele lähemal
- d) Kõik on sama temperatuuriga, sest kaugus Päikeseni on sama

10. Eeldame, et on olemas neli samasuguse massiga planeeti. Millise planeedi pinnal mõjuks 1kg kehale kõige suurem gravitatsioonijõud (hiidplaneedi puhul loeme pinnaks ala, kus atmosfääri rõhk on 1 bar).

- a) Ilma kuudeta planeet
- b) Sama suure läbimõõdu ja massiga planeet, mille ümber tiirlevad viis kuud
- c) Sama suure massiga ja viis korda suurema läbimõõduga hiidplaneet
- d) Sama suure massiga ja kaks korda väiksema läbimõõduga planeet

11. Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui kaugele Päikesest tuleks selles mudelis paigutada Maa, et vahekaugus oleks õige?

- a) Umbes 20–30 cm kaugusele
- b) Umbes 2–3 meetri kaugusele
- c) Umbes 20–30 meetri kaugusele
- d) Umbes 200–300 meetri kaugusele

12. Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui suur on Maa läbimõõt selles mudelis?

- a) Umbes 15 cm
- b) Umbes 2cm
- c) Umbes 2 mm
- d) Umbes 0,1 mm

13. Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui kaugele Maast tuleks selles mudelis paigutada Kuu, et vahekaugus oleks õige?

- a) Umbes 10 cm
- b) Umbes 30 cm
- c) Umbes 3 m
- d) Umbes 10 meetrit

14. Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui suur on Kuu läbimõõt selles mudelis?

- a) Umbes 10 cm
- b) Umbes 6 cm
- c) Umbes 3 cm
- d) Umbes 1 mm

15. Milline järgnevatest väidetest kirjeldab kõige paremini planeedi pinna temperatuuri kujunemist?

- a) Temperatuur sõltub ainult sellest, kui kaugel planeet Päikesest asub
- b) Mida kaugemal on planeet Päikesest, seda külmem see alati on
- c) Temperatuur sõltub kaugusest Päikesest, planeedi atmosfäärist ja energia tasakaalust
- d) Kõik Päikesest samal kaugusel olevad planeedid on sama temperatuuriga

16. Milline järgnevatest väidetest Päikese kohta on kõige õigem?

- a) Päike on keskmise suurusega täht
- b) Päikesteks nimetatakse eraldi taevakehi, mis asuvad päikesesüsteemide keskel
- c) Päike on kõige suurem täht galaktikas
- d) Päike on põlev planeet

17. Milline järgnevatest väidetest Päikesesüsteemi kohta on kõige õigem?

- a) Naaberplaneetide vahekaugused on enam-vähem sama suured
- b) Kõik planeedid asuvad täpselt samal tasandil
- c) Planeetide orbiidid on piklikud ellipsid
- d) Planeetide orbiidid on peaaegu ringikujulised ellipsid

18. Milline järgnevatest väidetest tähtede kohta on kõige õigem?

- a) Tähed peegeldavad Päikese valgust
- b) Tähed on olemas ainult öösel
- c) Tähed saavad energia termotuumareaktsioonidest
- d) Tähted saavad energia põlemisreaktsioonidest

19. Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

- a) Jupiteri ja Saturni vaheline kaugus on umbes sama suur, kui Maa ja Veenus vaheline kaugus
- b) Planeetidel on soojemad ja külmemad aastaajad, sest elliptilisel orbiidil muutub nende kaugus Päikeseni
- c) Kui planeetide orbiidid lõikuksid, põrkuksid nad tõenäoliselt kokku, sest neil ei ole kosmoses piisavalt ruumi üksteisest möödumiseks.
- d) Hiidplaneetide vahelised kaugused on üldjuhul suuremad kui kiviplaneetide vahelised kaugused

20. Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

- a) Planeedid on suuremad kui tavalised tähed
- b) Asteroidid võivad olla suuremad kui Maa kaaslane Kuu
- c) Marss on väiksem kui Maa
- d) Jupiteri läbimõõt on kaks korda väiksem kui Päikese läbimõõt

Lisa 2

Tööleht

Päikesesüsteem

1. Täida plakatite abil lünktekst.

..... on täht, mis asub Päikesesüsteemi keskel. Selle ümber tiirlevad (mitu?)..... planeeti. Need planeedid on (nimeta need)

.....
.....
.....
Esimene planeet Päikesest on, selle pind on sarnane Maa kaaslasega

See on kõige planeet Päikesesüsteemis.
Maale kõige lähemad planeedid on ja Koidutäheks nimetatakse (millal?) nähtavat See on Päikesest (mitmes?) planeet ja kõige planeet Päikesesüsteemis. Neljandaks planeediks on Seda nimetatakse (milliseks?) planeediks.

Meie elame planeedil See on ainus planeet Päikesesüsteemis millel on elu.

Esimest nelja planeeti nimetatakse

Viiendaks planeediks on kõige planeet Sellel on väga suur keeristorm, mida nimetatakse

Kõige silmapaistvamad rõngad on planeedil Seda ja Jupiteri nimetatakse ka gaasihiiglasteks.

Kõige kaugemad planeedid on ja Neid nimetatakse ka jäähiiglasteks. Kõige madalam temperatuur Päikesesüsteemi planeetidest esineb planeedil ja kõige tugevamad tuuled on planeedil

Viimast nelja planeeti nimetatakse

Nende planeetide ja kiviplaneetide vahel paikneb

Lisaks planeetidele on Päikesesüsteemis veel järgnevaid taevakehi:

.....
Kui taevakeha mass on piisavalt suur, et taevakeha oleks kerakujuline, kuid mille orbiit pole teistest taevakehadest puhas, nimetatakse seda Kõige tuntum nendest on endine planeet

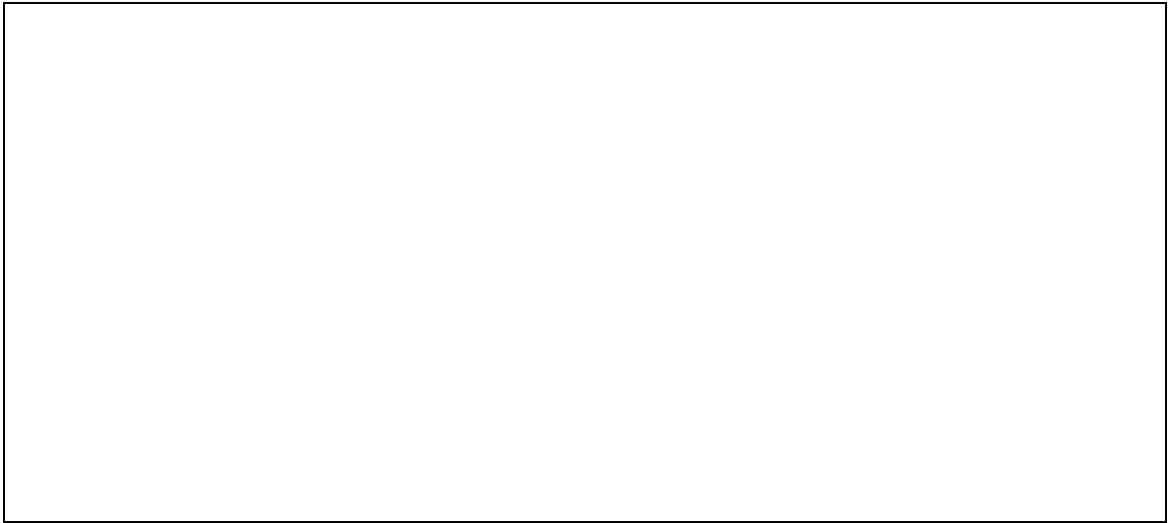
Jupiteri ja Marsi vahel paikneb palju, mis pole kerakujulised.

Sabatäheks nimetatakse Need koosnevad peamiselt

2. Võrdle kiviplaneete ja hiidplaneete

kiviplaneedid	sarnasused	hiidplaneedid

3. Arvuta, milline on sulle mõjuv raskusjõud kahel sinu enda valitud planeedil.



4. Oletame, et Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt sama suur kui selle töölehe pikem äär (29,7 cm). Joonista ringina, milline oleks Maa suurus selles mudelis.

5. Oletame, et Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 1mm (Päikest tähistab ring noolest vasakul). Märki noolele tähega M Maa kaugus Päikesest selles mudelis



6. Millisele taevakehale on sinu meelest kõige parem rajada koloonia? Selgita, miks. Mida oleks selle koloonia rajamiseks vaja?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Lisa 3

Uurimisinstrumendi selgitus

VÄÄRARUSAAMA RÜHM, KÜSIMUSED JA VASTUSEVARIANDID	SELGITUS
Väärarusaam Planeedi temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikesest	Kaugusmudel: soojusallikale lähemal paiknev objekt on soojem (Brewer, 2008; Cox et al., 2016; Kikas, 2003)
Miks on suvel soojem kui talvel?	Sama diagnostiline küsimus aastaegade kohta (Trumper, 2001); väärarusaamade ülevaade (Sneider et al., 2011)
a) Maa on suvel Päikesele lähemal	Põhiline aastaegade väärarusaama vastusevariant: suvi = Päikesele lähemal (Trumper, 2001, 2006); Favia et al.(2014): sA112 “suvi on soojem, sest oleme siis Päikesele lähemal“
b) Maa tiirlemine ümber Päikese aeglustub suvel	sA148 „aastaajad tekivad Maa pöörlemise kiirenemise ja aeglustumise tõttu“ (Favia et al., 2014)
c) Maa telje kalle muudab Päikese kiirte langemisnurka	õige
d) Suvel on kasvuhoonegaase rohkem	Sadler (1998) on kasutatud sama distraktorit (Item 17 E)
Milline on Päikesesüsteemi kõige kuumem planeet ja miks?	Levinud väärarusaam „Merkur on kõige kuumem planeet Päikesesüsteemis“ (Comins, 2001)
a) Merkuur, sest see on Päikesele kõige lähemal ja sellel pole pilvi	„Külmad päevad on põhjustatud sellest, et pilved katavad Päikese“ (Henriques, 2002). „Merkuur, Päikesele lähim planeet, on kõige kuumem planeet“ (Comins, 2001) “Õpilased eeldavad, et kõrgeima temperatuuriga planeet on Merkuur, sest see

	saab suure hulga päikeseenergiat.” (Azizah et al., 2022)
b) Veenus, sest see on Päikesele kõige lähemal	Õige planeet, vale põhjendus; kaugusmudeli rakendamine Veenusele.
c) Marss, sest see on punane	Igapäevakogemusel põhinev seletus; (Driver, 2009) sA169 „Marss on kuum, sest ta on punane „(tulejumal Marsi järgi) (Favia et al., 2014)
d) Veenus, sest see on Päikese lähedal ja sellel on tihe kasvuhoonegaaside rikas atmosfäär.	õige
Kui planeedid asuksid samal kaugusel Päikesest, milline neist oleks kõige kuumem. Miks?	Kaugusmudeli kontroll; kaugus võrdsustatud, määravaks jääb atmosfäär.
a) Atmosfäärita planeet, sest puuduvad pilved, mis varjaksid Päikest	„Külmad päevad on põhjustatud sellest, et pilved katavad Päikese“ (Henriques, 2002). Atmosfäärita planeedil pole pilvi.
b) Tiheda atmosfääriga planeet, sest sellel mõjub tugev kasvuhooneefekt	Õige
c) Planeet, millel on suurem raadius, sest selle pind on Päikesele lähemal	Kaugusmudel (Kikas, 2003). Lisaks sA58 “Merkuur (Päikesele lähim planeet) on igal pool oma pinnal kuum” (Favia et al., 2014)
d) Kõik on sama temperatuuriga, sest kaugus Päikeseni on sama	Naiivne mudel, kus temperatuur sõltub ainult kaugusest soojusallikani (Kikas, 2003; Vosniadou, 1994)
Milline järgnevatest väidetest kirjeldab kõige paremini planeedi temperatuuri kujunemist?	Küsimus eristab kauguse absoluutset mõju ja planeedi enda omaduste, eriti atmosfääri, mõju temperatuurile.

a) Temperatuur sõltub ainult sellest, kui kaugel planeet Päikesest asub.	Naiivne mudel, kus temperatuur sõltub ainult kaugusest Päikeseni. (Kikas, 2003)
b) Mida kaugemal on planeet Päikesest, seda külmem see alati on	Sama mudeli üleüldistus, kus seost rakendatakse absoluutsena ("alati") „Päike on talvel Maast kaugemal“ (Baxter, 1989)
c) Temperatuur sõltub kaugusest Päikesest, planeedi atmosfäärist ja energia tasakaalust	õige
d) Kõik Päikesest samal kaugusel olevad planeedid on sama temperatuuriga	Kaugusmudeli loogiline järeldus: kui temperatuur sõltub ainult kaugusest, on samal kaugusel olevad planeedid sama temperatuuriga.
Väärarusaamad Päikese kui tähe kohta	18 õpilast (10-11a) 42st ei teadnud, et Päike on täht (Sharp, 1996). Segadus Päikese koostise ja energia kiirgamise kohta (Agan, 2004; Favia et al., 2014; Korur, 2015)
Milline on Maale kõige lähim täht?	Kontrollib, kas õpilane liigitab Päikese täheks ja tunneb selle Maale lähima tähena.
a) Koidutäht	Igapäevakeelel põhinev väärarusaam: sõna „täht“ kantakse üle taevakehale, mis ei ole teaduslikus mõttes täht (Chrzanowski et al., 2018)
b) Alpha Centauri	Lähim täht Päikesesüsteemile, kuid mitte Maale
c) Päike	õige
d) sabatäht ehk komeet	Igapäevakeelel põhinev väärarusaam; „täht“ sõnas „sabatäht“. Lisaks väide sA45: „langev täht on tegelikult täht, mis kihutab

	läbi universumi või langeb läbi taeva” (Favia et al., 2014)
Milline väide Päikese kohta on kõige õigem?	Kontrollib Päikese liigitamist täheks ning arusaama Päikese suurusest ja olemusest.
a) Päike on keskmise suurusega täht	õige
b) Päikesteks nimetatakse eraldi taevakehi, mis asuvad päikesesüsteemide keskel	sA177 „Päike on eraldi tüüpi taevakeha oma omadustega, see ei ole täht.“ (Favia et al., 2014). Sama väärarusaam (Korur, 2015)
c) Päike on kõige suurem täht galaktikas	sA17 „kõik tähed on Päikesest väiksemad“; sA198 „Päike on suurim täht“ (Favia et al., 2014) „Päike on suurem kui teised tähed“ (Agan, 2004)
d) Päike on põlev planeet	sA192 „Päike koosneb tulest“; sA193 „Päike on „soojusplaneet“ (Favia et al., 2014) „Päike on planeet“(Agan, 2004)
Milline väidetest tähtede kohta on kõige õigem	Kontrollib, kas õpilane eristab tähtede termotuumareaktsioonidest pärinevat kiirgust peegeldunud valgusest ja põlemisest.
a)Tähed peegeldavad Päikese valgust	Väärarusaam “Tähed peegeldavad Päikeselt tulevat valgust” esines 12% 7. klassi õpilastel (Korur, 2015) sA214 „Päike on ainus valgusallikas galaktikas – planeedid ja tähed peegeldavad päikesevalgust, et me neid näeksime“ (Favia et al., 2014)
b)Tähed on olemas ainult öösel	„Tähed eksisteerivad ainult öösel“ (Nazé & Fontaine, 2014)

c) Tähed saavad energia termotuumareaktsioonidest	õige
d) Tähted saavad energia põlemisreaktsioonidest	Eeldus 2: „Täht koosneb tulest või laavast“(Agan, 2004) sA192 „Päike koosneb tulest“ (Favia et al., 2014) Päikese kohta: „See on ümmarguse kujuga ja sellest tulevad välja leegid, kuid leeke ei ole näha, kui just väga lähedale ei lähe.“ (Sharp, 1996)
Mis on Päikese peamine koostisosa?	Kontrollib arusaama tähtede valguse ja energia päritolust
a)Laava ja tuli	Eeldus 2: „Täht koosneb tulest või laavast“(Agan, 2004) sA206 „kogu Päike on sulalaava“ (Favia et al., 2014)
b) Ioniseeritud vesinik ja heelium	õige
c) Vedel raud	sA202 „Päike koosneb peamiselt rauast“ (Favia et al., 2014)
d) Tähtede valgusest, mida Päike peegeldab	“Päike peegeldab teistelt tähtedelt tulevat valgust.” (Korur, 2015)
Väärarusaamad päikesesüsteemi vahekauguste kohta	“Astronoomia väga suurte mõõtkavade mõistmine näib jäävat õpilastele kättesaamatuks isegi pärast gümnaasiumis maateaduse või astronoomiakursuse läbimist.” (Sadler, 1998)
Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui kaugele Päikesest tuleks selles mudelis paigutada Maa, et vahekaugus oleks õige?	Trumper (2001) küsimus:“ Kui kasutada korvpalli Päikese mudelina, kui kaugele paigutaksid Maa?” Päikese ja Maa vahekaugust mõõdukalt alahinnatakse. (Miller & Brewer, 2010)

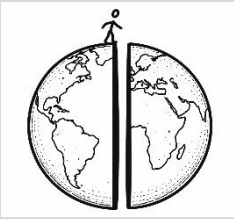
a) Umbes 20–30 cm kaugusele	alahindab tugevalt
b) Umbes 2–3 meetri kaugusele	alahindab mõõdukalt
c) Umbes 20–30 meetri kaugusele	õige
d) Umbes 200–300 meetri kaugusele	ülehindab
Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui kaugule Maast tuleks selles mudelis paigutada Kuu, et vahekaugus oleks õige?	„Kujuta ette, et Maa on pesapalli suurune (umbes 3 tollise läbimõõduga)... hinda Kuu ja Päikese kaugust sellest.“ (Miller & Brewer, 2010) Maa ja Kuu vahelist kaugust enamasti kas alahinnati või ülehinnati (Dahsah et al., 2012).
a) Umbes 10 cm	alahindab tugevalt
b) Umbes 30 cm	alahindab mõõdukalt
c) Umbes 3 m	õige
d) Umbes 10 meetrit	Kuu kaugust sageli ülehinnatakse (Miller & Brewer, 2010)
Milline järgnevatest väidetest Päikesesüsteemi kohta on kõige õigem	Päikesesüsteemi ruumilise paigutuse, suhteliste kauguste ja planeetide liikumise kontroll (Sharp & Kuerbis, 2006)
a) naaberplaneetide orbiitide vahekaugused on enam-vähem sama suured	Õppematerjalides olevad Päikesesüsteemi mudelid kujutavad sageli vahekaugusi valesti, viies väärarusaamade tekkeni. (Wiebke et al., 2011)

b) Kõik planeedid asuvad täpselt samal tasandil	sA52 „kõik planeedid tiirlevad täpselt ekliptika tasandis“ (Favia et al 2014)
c) Planeetide orbiidid on piklikud ellipsid	Paljud õpilased arvavad, et orbiidid on väga elliptilised (Cin, 2007; Sadler, 1998; Yu et al., 2010)
d) Planeetide orbiidid on peaaegu ringikujulised ellipsid	õige
Milline väidetest on kõige õigem	Päikesesüsteemi suhteliste kauguste ja orbiitide paigutuse mõistmine (Sharp & Kuerbis, 2006)
a) Jupiteri ja Saturni orbiitide vaheline kaugus on umbes sama suur, kui Maa ja Veenus orbiitide vaheline kaugus	Õppematerjalides olevad Päikesesüsteemi mudelid kujutavad sageli vahekaugusi valesti, viies väärarusaamade tekkeni, (Wiebke et al., 2011) Orbiitide erinevus on 1,8 korda
b) Planeetidel on soojemad ja külmemad aastaajad, sest elliptilisel orbiidil muutub nende kaugus Päikeseni	“Kui Maa orbiit oleks täiuslik ring, ei kogeks me enam aastaegade erinevusi” (Trumper, 2006)
c) Kui planeetide orbiidid lõikuksid, põrkuksid nad tõenäoliselt kokku, sest neil ei ole kosmoses piisavalt ruumi üksteisest möödumiseks.	„Planeetide orbiidid ei saa lõikuda, muidu põrkuksid planeedid kokku“ (Yu et al., 2010)
d) Hiidplaneetide vahelised kaugused on üldjuhul suuremad kui kiviplaneetide vahelised kaugused	õige
Väärarusaamad taevakehade suuruste kohta	

Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui suur on Maa läbimõõt selles mudelis?	Päikese ja Maa suhtelise suuruse mõistmine; Päikese suurust kiputakse alahindama (Cin, 2007; Dahsah et al., 2012)
a) Umbes 15 cm	Enamik osalejaid ülehindasid Maa suurust, kusjuures väike osa (0,5%) õpilastest pidas Maad suhtelise suuruse hindamisel suuremaks kui Päike. (Dahsah et al., 2012)
b) Umbes 2cm	Maa suuruse mõõdukas ülehindamine.
c) Umbes 2 mm	õige
d) Umbes 0,1 mm	Väike osa õpilastest alahindasid Maa suurust õige mudeli valikul. (Dahsah et al., 2012)
Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui suur on Kuu läbimõõt selles mudelis?	Kuu ja Maa suhtelise suuruse mõistmine Enamik osalejaid kas ülehindasid või alahindasid Kuu suurust. (Dahsah et al., 2012)
a) Umbes 10 cm	Kuu suuruse tugev ülehindamine.
b) Umbes 6 cm	Kuu suuruse mõõdukas ülehindamine.
c) Umbes 3 cm	õige
d) Umbes 1 mm	Kuu suuruse alahindamine.
Miks paistavad Päike ja Kuu taevas umbes sama suured?	Näiva ja tegeliku suuruse eristamine (Bryce & Blown, 2013; Cin, 2007)
a) Sest nad on tegelikult umbes sama suured	„Päike ja Kuu on sama suured“ (Bryce & Blown, 2013; Cin, 2007)

b) Sest Päike on palju suurem, kuid ka palju kaugemal kui Kuu	õige
c) Päike on tegelikult suurem kui Kuu, sest Päike kiirgab rohkem valgust.	„Päike on suurem kui Kuu, et anda rohkem valgust.“ (Sharp, 1996)
d) Sest Päike ja Kuu on Maast umbes sama kaugel	„Päike ja Kuu on Maast umbes sama kaugel, sest need on sama suured“ (Cin, 2007)
Milline väidetest on kõige õigem?	Taevakehade suhtelised suurused; planeetide, tähtede, asteroidide ja kuude suurusjärgu eristamine.
a) Planeedid on suuremad kui tavalised tähed	„Planeedid on tähtedest suuremad“ põhikoolis levinud väärarusaam (Rajpaul et al., 2018)
b) Asteroidid võivad olla suuremad kui Maa kaaslane Kuu	sA98 „Kuu on kinni püütud asteroid“ (Favia et al., 2014)
c) Marss on väiksem kui Maa	õige
d) Jupiteri läbimõõt on kaks korda väiksem kui Päike läbimõõt	sA49 „Jupiter on peaaegu piisavalt suur ja massiivne, et olla täht“ (Favia et al., 2014)
Väärarusaamad gravitatsiooni kohta kosmoses	Gravitatsioon kui astronoomia keskne mõiste; levinud väärarusaamad: kosmoses gravitatsioon puudub, gravitatsioon vajab õhku/atmosfääri või on seotud magnetismiga.
Astronaudid hõljuvad Rahvusvahelises Kosmosejaamas kaaluta olekus. Miks?	Kosmoselaeva ja Astronauti kaaluta oleku näidet on sageli kasutatud kaaluta oleku ja gravitatsiooni väärarusaamade kindlakstegemiseks. (Sharma et al., 2004; Williamson & Willoughby, 2012)

a) Kosmoses pole gravitatsioonijõudu	Väga levinud arusaam. (Cardinot & Fairfield, 2021) 82,4%
b) Astronaut on Maa atmosfäärist väljas	Gravitatsiooni seostatakse Maa atmosfääriga ja õhu olemasoluga (Asghar & Libarkin, 2010; Cardinot & Fairfield, 2021; Gönen, 2008)
c) Kosmosejaam ja astronautid on vabas langemises ning astronautid ei toetu pinnale	õige
d) Kosmoses on magnetväli liiga nõrk, selleks et astronaute tõmmata	Alternatiivne arusaam 2- „gravitatsioon on magnetiline tõmbejõud“ (Cardinot & Fairfield, 2021). Sarnane väärarusaam (Asghar & Libarkin, 2010)
Miks ei lange Kuu Maa peale ega lenda Maast eemale?	kontrollib arusaamu atmosfääri, magnetismi ja kauguse mõjust gravitatsioonile.
a) Kuu ümber ei ole atmosfääri, seega ei mõju Kuul gravitatsioon samamoodi nagu Maal	Gravitatsiooni seostatakse Maa atmosfääriga ja õhu olemasoluga (Asghar & Libarkin, 2010; Cardinot & Fairfield, 2021; Gönen, 2008)
b) Maa ja Kuu vaheline gravitatsioonijõud tõmbab Kuud enda poole ja hoiab seda ümber Maa tiirlemas	õige
c) Maa magnetväli hoiab Kuud selle orbiidil ümber Maa	Alternatiivne arusaam 2- „gravitatsioon on magnetiline tõmbejõud“ (Cardinot & Fairfield, 2021). Sarnane väärarusaam (Asghar & Libarkin, 2010)
d) Kuu on Maast nii kaugel, et sellele enam gravitatsiooni ei mõju.	Alternatiivne arusaam 1: „Kosmoses või Kuul puudub gravitatsioon“ (Cardinot & Fairfield, 2021)
Oletame, et keegi kaevab tunneli otse läbi Maa (vt joonist). Seejärel viskab ta sinna kivi. (Ülesandes ei arvestata Maa pöörlemist. Tunnelis on 20 °C õhk).	Sageli kasutatav diagnostiline küsimus

Kuidas kivi edasi liigub? 	gravitatsiooni väärarusaamade välja selgitamiseks. (Driver, 2009)
a) Kivi kukub läbi tunneli ja jääb teisel pool ava juures hõljuma	Sagedasti esinev vastus (Driver, 2009)
b) Kivi kukub Maa keskme poole ja jääb lõpuks Maa keskpunkti hõljuma	õige
c) Kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse	Kõige sagedamini esinev vastus (Cardinot & Fairfield, 2021; Driver, 2009)
d) Kivi kukub alati otse alla	Naiivne mõttemudel, kus gravitatsioon mõjub alati universaalselt alla (Asghar & Libarkin, 2010)
Eeldame, et on olemas neli samasuguse massiga planeeti. Millise planeedi pinnal mõjuks 1kg kehale kõige suurem gravitatsioonijõud (<i>hiidplaneedi puhul loeme pinnaks ala, kus atmosfääri rõhk on 1 bar</i>).	Gravitatsioon sõltub massist ja raadiusest; kontrollib kaaslaste arvu ja planeedi suuruse põhiseid väärseletusi.
a) ilma kuudeta planeet	Võrdlusvariant. Selle valimine viitab, et planeedi raadiuse mõju gravitatsioonijõule ei arvestata.
b) sama suure läbimõõdu ja massiga kiviplaneet, mille ümber tiirlevad viis kuud	„Gravitatsioon on suurem planeetidel, millel on rohkem kuid, sest planeedid suudavad hoida neid kuid enda ümber“ (Williamson & Willoughby, 2012)
c) sama suure massiga ja viis korda suurema läbimõõduga hiidplaneet	Mõttemudel kus mõõtetelt suurem planeet=suurem gravitatsioon.

d) sama suure massiga ja kaks korda väiksema läbimõõduga kiviplaneet	õige
--	------

Lisa 4

Andmeanalüüsis RStuudiosse sisestatud tabelite näidised

Tabel 5 Eel- ja järeltesti osaline andmetabeli näide. Vasakpoolses veerus on vastajate koodid, ülemises reas küsimuste numbrid. Vastused on juhuslikud

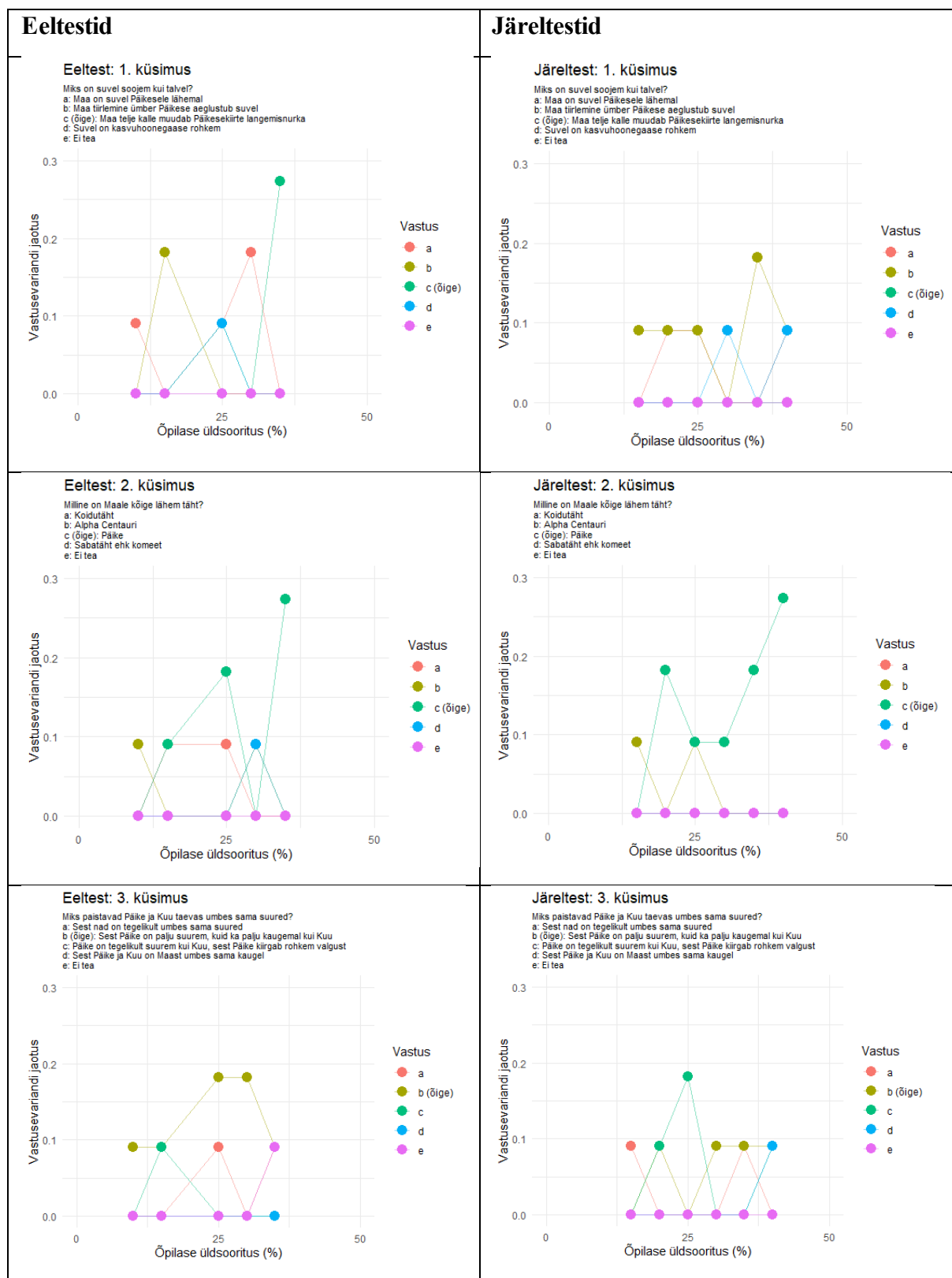
kood	1	2	3	4	5	6	7	18
E01	a	b	c	d	a	b	c	d
E02	d	a	b	c	d	a	b	d
E03	c	d	e	a	b	c	d	e

Tabel 6 Õigete vastuste (võti) osaline andmetabel. Ülemises reas on küsimuste numbrid, teises reas õiged vastused, kolmandas rühm, kuhu küsimus kuulub

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c	c	b	b	b	c	d	b	b	d
temp	täht	suurus	g	täht	g	temp	g	temp	g

Lisa 5

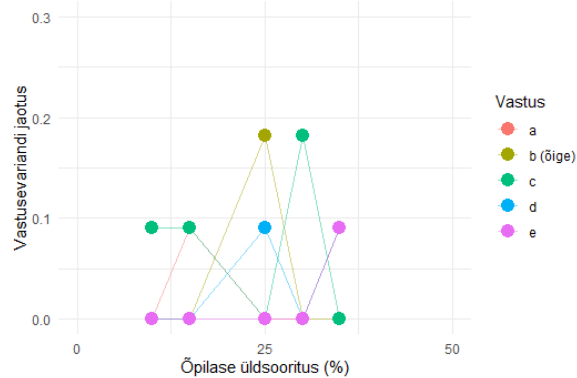
Tabel 7 Küsimuste vastusevariantide jaotus õpilaste üldsooritusest sõltuvalt



Eeltest: 4. küsimus

Miks ei lange Kuu Maa peale ega lenda Maast eemale?

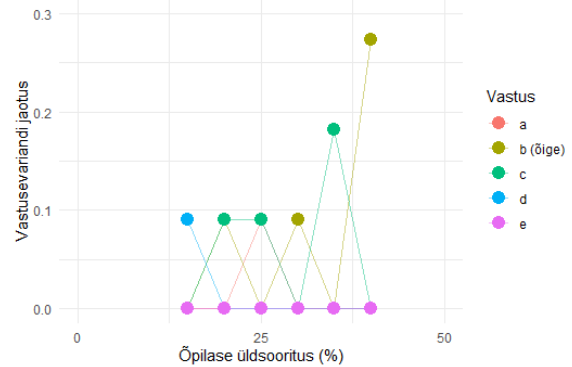
- a: Kuu ümber ei ole atmosfääri, seega ei mõju Kuul gravitatsioon samamoodi nagu Maal
b (õige): Maa ja Kuu vaheline gravitatsioonijõud tõmbab Kuud enda poole ja hoiab seda ümber Maa
c: Maa magnetväli hoiab Kuud selle orbiidi ümber Maa
d: Kuu on Maast nii kaugel, et sellele enam gravitatsiooni ei mõju.
e: Ei tea



Järeldest: 4. küsimus

Miks ei lange Kuu Maa peale ega lenda Maast eemale?

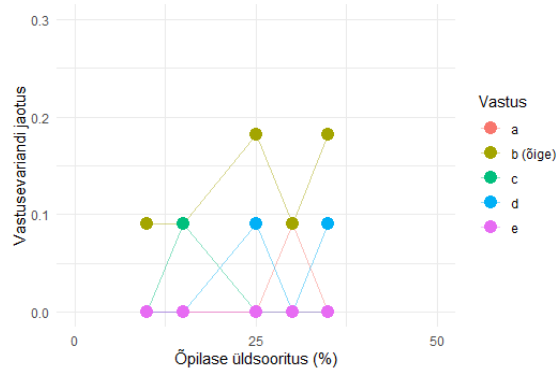
- a: Kuu ümber ei ole atmosfääri, seega ei mõju Kuul gravitatsioon samamoodi nagu Maal
b (õige): Maa ja Kuu vaheline gravitatsioonijõud tõmbab Kuud enda poole ja hoiab seda ümber Maa
c: Maa magnetväli hoiab Kuud selle orbiidi ümber Maa
d: Kuu on Maast nii kaugel, et sellele enam gravitatsiooni ei mõju.
e: Ei tea



Eeltest: 5. küsimus

Mis on Päikese peamine koostisosa?

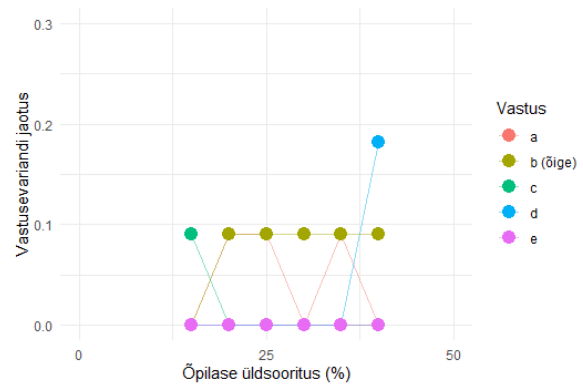
- a: Laava ja tuli
b (õige): Ioniseeritud vesinik ja heelium
c: Vedel raud
d: Tähtede valgus, mida Päike peegeldab
e: Ei tea



Järeldest: 5. küsimus

Mis on Päikese peamine koostisosa?

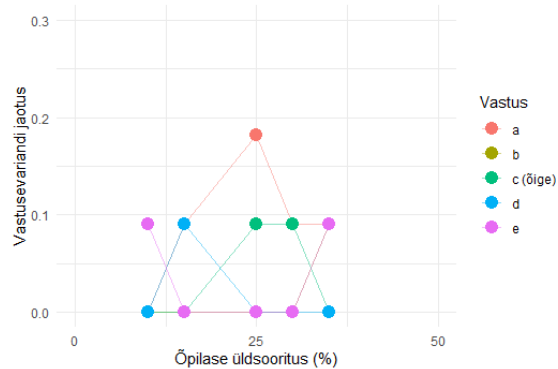
- a: Laava ja tuli
b (õige): Ioniseeritud vesinik ja heelium
c: Vedel raud
d: Tähtede valgus, mida Päike peegeldab
e: Ei tea



Eeltest: 6. küsimus

Astronaudid hõljuvad Rahvusvahelises Kosmosejaamas kaaluta olekus. Miks?

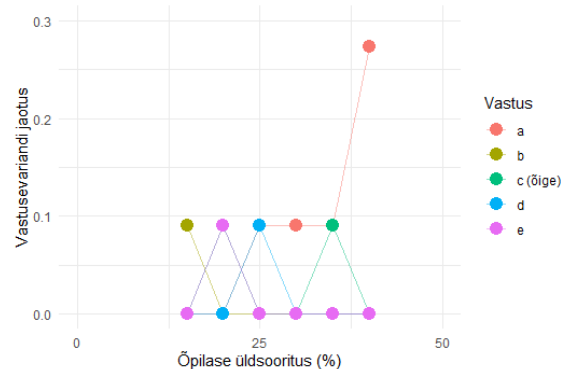
- a: Kosmoses pole gravitatsioonijõudu
b: Astronaut on Maa atmosfäärist väljas
c (õige): Kosmosejaam ja astronaudid on vabas langemises ning astronaudid ei toetu pinnale
d: Kosmoses on magnetväli liiga nõrk, selleks et astronaute tõmmata
e: Ei tea



Järeldest: 6. küsimus

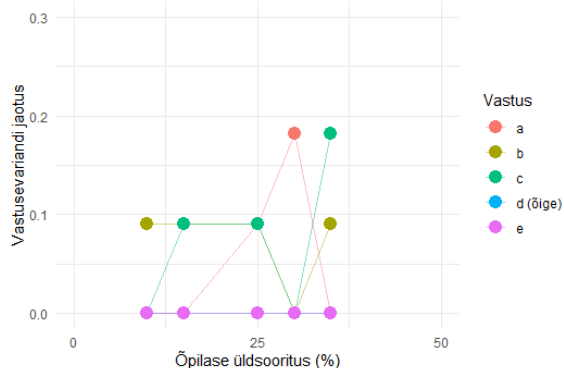
Astronaudid hõljuvad Rahvusvahelises Kosmosejaamas kaaluta olekus. Miks?

- a: Kosmoses pole gravitatsioonijõudu
b: Astronaut on Maa atmosfäärist väljas
c (õige): Kosmosejaam ja astronaudid on vabas langemises ning astronaudid ei toetu pinnale
d: Kosmoses on magnetväli liiga nõrk, selleks et astronaute tõmmata
e: Ei tea



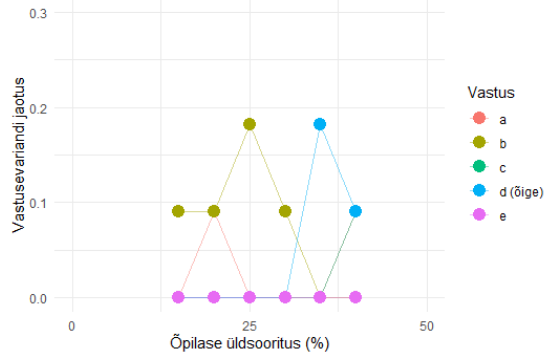
Eeltest: 7. küsimus

Miline on Päikesesüsteemi kõige kuumem planeet ja miks?
a: Merkuur, sest see on Päikesele kõige lähemal ja sellel pole pilti
b: Veenus, sest see on Päikesele kõige lähemal
c: Mars, sest see on punane
d (õige): Veenus, sest see on Päikese lähedal ja sellel on tihedalt kasvuhoonegaaside rikas atmosfäär
e: Ei tea



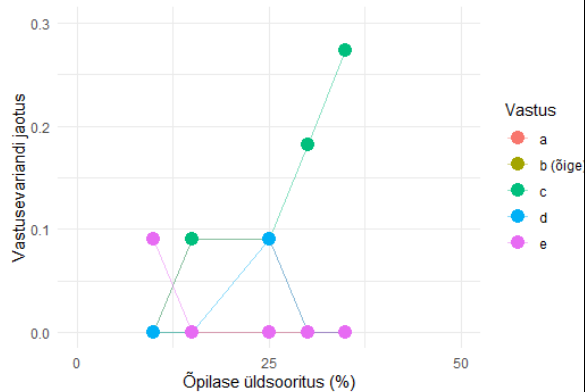
Järeldest: 7. küsimus

Miline on Päikesesüsteemi kõige kuumem planeet ja miks?
a: Merkuur, sest see on Päikesele kõige lähemal ja sellel pole pilti
b: Veenus, sest see on Päikesele kõige lähemal
c: Mars, sest see on punane
d (õige): Veenus, sest see on Päikese lähedal ja sellel on tihedalt kasvuhoonegaaside rikas atmosfäär
e: Ei tea



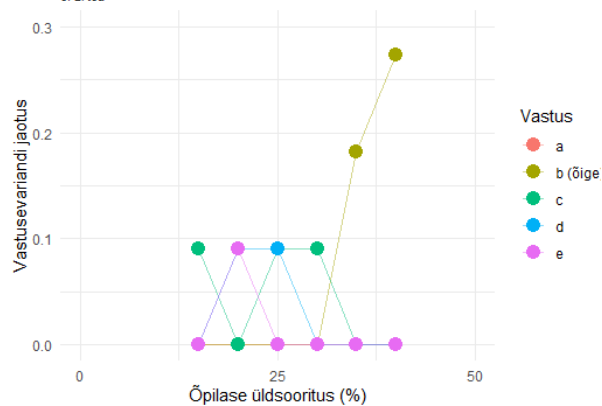
Eeltest: 8. küsimus

Oletame, et keegi kaevab tunneli otse läbi Maa. Seejärel viskab ta sinna kivi. Kuidas kivi edasi liig?
a: Kivi kukub läbi tunneli ja jääb teisel pool ava juures hõljuma
b (õige): Kivi kukub Maa keskme poole ja jääb lõpuks Maa keskpunkti hõljuma
c: Kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse
d: Kivi kukub alati otse alla
e: Ei tea



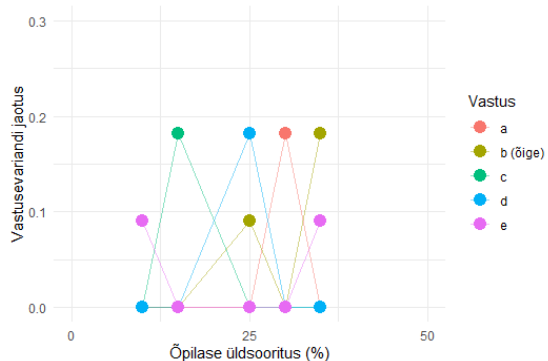
Järeldest: 8. küsimus

Oletame, et keegi kaevab tunneli otse läbi Maa. Seejärel viskab ta sinna kivi. Kuidas kivi edasi liig?
a: Kivi kukub läbi tunneli ja jääb teisel pool ava juures hõljuma
b (õige): Kivi kukub Maa keskme poole ja jääb lõpuks Maa keskpunkti hõljuma
c: Kivi liigub sirgjooneliselt läbi Maa ja lendab kosmosesse
d: Kivi kukub alati otse alla
e: Ei tea



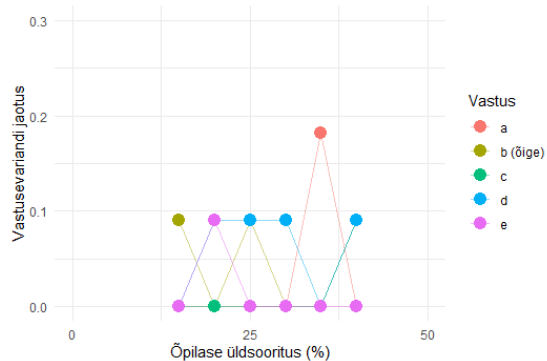
Eeltest: 9. küsimus

Kui planeedid asuksid samal kaugusel Päikesest, milline neist oleks kõige kuumem? Miks?
a: Atmosfäärita planeet, sest puuduvad pilved, mis varjaksid Päikest
b (õige): Tiheda atmosfääriga planeet, sest sellel mõjub tugev kasvuhooneefekt
c: Planeet, millel on suurem raadius, sest selle pind on Päikesele lähemal
d: Kõik on sama temperatuuriga, sest kaugus Päikeseni on sama
e: Ei tea



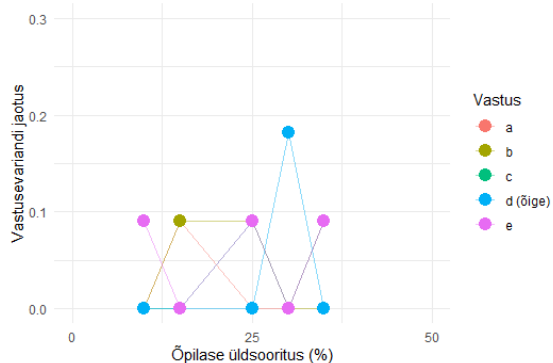
Järeldest: 9. küsimus

Kui planeedid asuksid samal kaugusel Päikesest, milline neist oleks kõige kuumem? Miks?
a: Atmosfäärita planeet, sest puuduvad pilved, mis varjaksid Päikest
b (õige): Tiheda atmosfääriga planeet, sest sellel mõjub tugev kasvuhooneefekt
c: Planeet, millel on suurem raadius, sest selle pind on Päikesele lähemal
d: Kõik on sama temperatuuriga, sest kaugus Päikeseni on sama
e: Ei tea



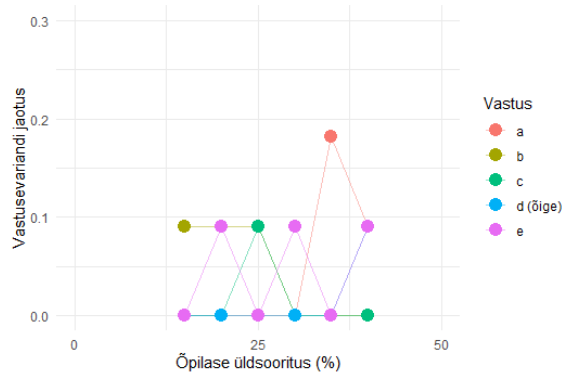
Eeltest: 10. küsimus

Eeldame, et on olemas neli samasuguse massiga planeeti. Millise planeedi pinnal mõjuks 1kg kehale k:
a: Ima kuudeta planeet
b: Sama suure läbimõõdu ja massiga planeet, mille ümber tiirlevad viis kuud
c: Sama suure massiga ja viis korda suurema läbimõõduga hõidplaneet
d (õige): Sama suure massiga ja kaks korda väiksema läbimõõduga planeet
e: Ei tea



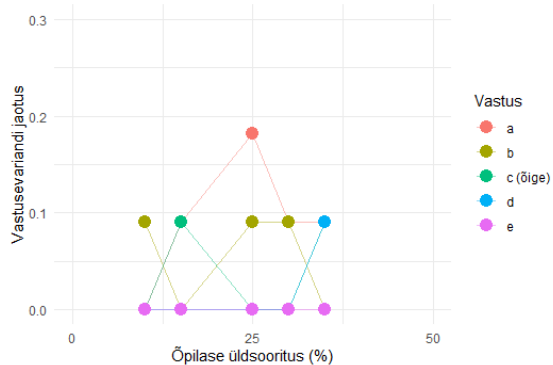
Järeldest: 10. küsimus

Eeldame, et on olemas neli samasuguse massiga planeeti. Millise planeedi pinnal mõjuks 1kg kehale k:
a: Ima kuudeta planeet
b: Sama suure läbimõõdu ja massiga planeet, mille ümber tiirlevad viis kuud
c: Sama suure massiga ja viis korda suurema läbimõõduga hõidplaneet
d (õige): Sama suure massiga ja kaks korda väiksema läbimõõduga planeet
e: Ei tea



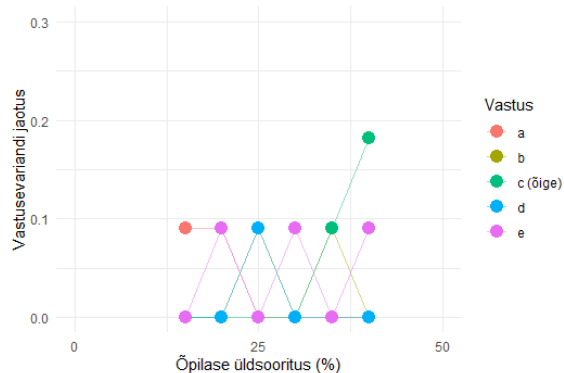
Eeltest: 11. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui kaugele Päikesest tuleks selles mudelis paig:
a: Umbes 20–30 cm kaugusele
b: Umbes 2–3 meetri kaugusele
c (õige): Umbes 20–30 meetri kaugusele
d: Umbes 200–300 meetri kaugusele
e: ei tea



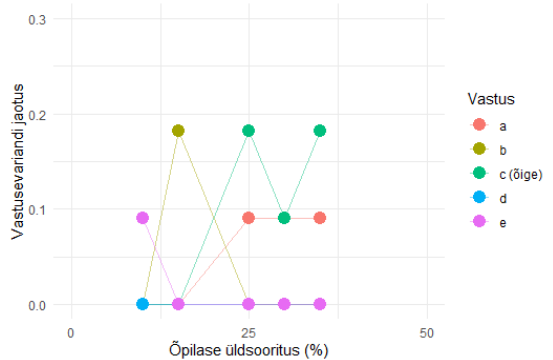
Järeldest: 11. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui kaugele Päikesest tuleks selles mudelis paig:
a: Umbes 20–30 cm kaugusele
b: Umbes 2–3 meetri kaugusele
c (õige): Umbes 20–30 meetri kaugusele
d: Umbes 200–300 meetri kaugusele
e: ei tea



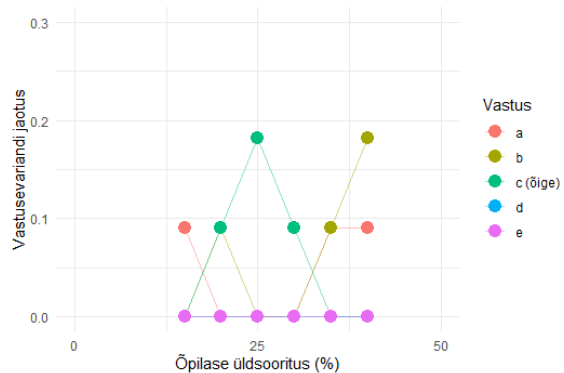
Eeltest: 12. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui suur on Maa läbimõõt selles mudelis?
a: Umbes 15 cm
b: Umbes 2cm
c (õige): Umbes 2 mm
d: Umbes 0,1 mm
e: Ei tea



Järeldest: 12. küsimus

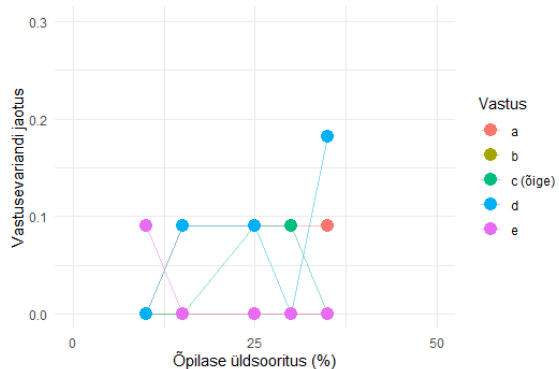
Päikesesüsteemi mudelis on Päikese läbimõõt 20 cm. Kui suur on Maa läbimõõt selles mudelis?
a: Umbes 15 cm
b: Umbes 2cm
c (õige): Umbes 2 mm
d: Umbes 0,1 mm
e: Ei tea



Eeltest: 13. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui kaugele Maast tuleks selles mudelis paigutada ?

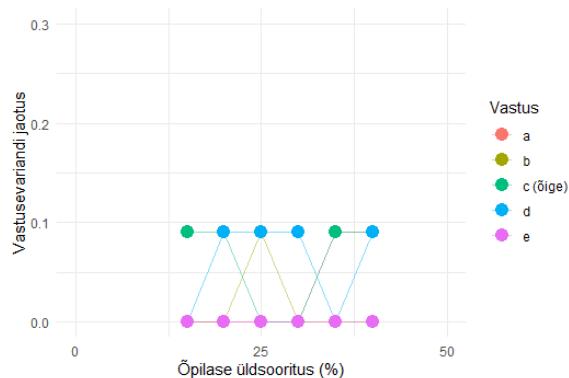
a: Umbes 10 cm
b: Umbes 30 cm
c (õige): Umbes 3 m
d: Umbes 10 meetrit
e: Ei tea



Järeldest: 13. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui kaugele Maast tuleks selles mudelis paigutada ?

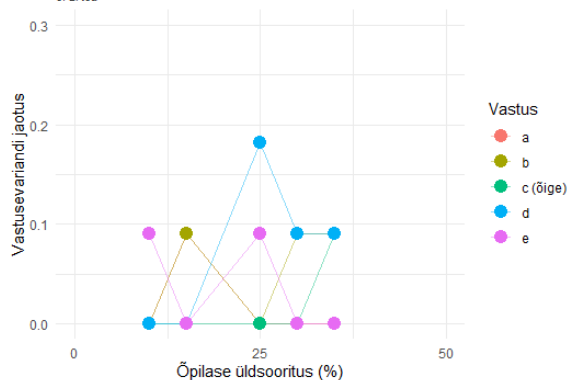
a: Umbes 10 cm
b: Umbes 30 cm
c (õige): Umbes 3 m
d: Umbes 10 meetrit
e: Ei tea



Eeltest: 14. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui suur on Kuu läbimõõt selles mudelis?

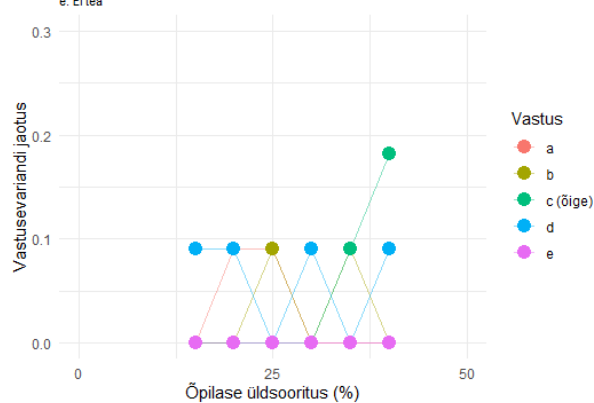
a: Umbes 10 cm
b: Umbes 6 cm
c (õige): Umbes 3 cm
d: Umbes 1 mm
e: Ei tea



Järeldest: 14. küsimus

Päikesesüsteemi mudelis on Maa läbimõõt 10 cm. Kui suur on Kuu läbimõõt selles mudelis?

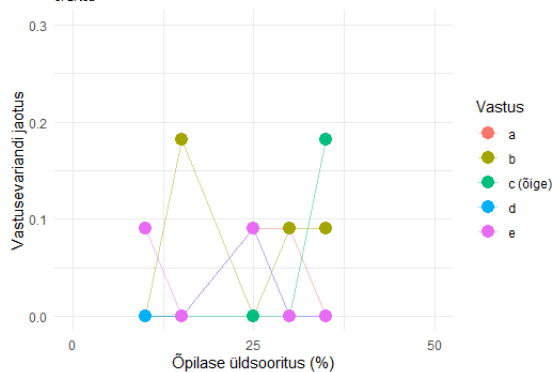
a: Umbes 10 cm
b: Umbes 6 cm
c (õige): Umbes 3 cm
d: Umbes 1 mm
e: Ei tea



Eeltest: 15. küsimus

Milline järgnevatest väidetest kirjeldab kõige paremini planeedi pinna temperatuuri kujunemist?

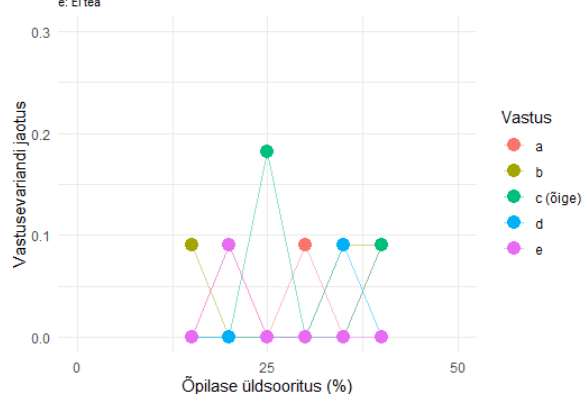
a: Temperatuur sõltub ainult sellest, kui kaugel planeet Päikesest asub
b: Mida kaugemal on planeet Päikesest, seda külmem see alati on
c (õige): Temperatuur sõltub kaugusest Päikesest, planeedi atmosfäärist ja energia tasakaalust
d: Kõik Päikesest samal kaugusel olevad planeedid on sama temperatuuriga
e: Ei tea



Järeldest: 15. küsimus

Milline järgnevatest väidetest kirjeldab kõige paremini planeedi pinna temperatuuri kujunemist?

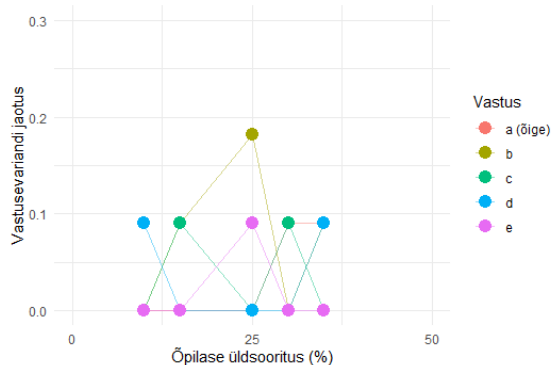
a: Temperatuur sõltub ainult sellest, kui kaugel planeet Päikesest asub
b: Mida kaugemal on planeet Päikesest, seda külmem see alati on
c (õige): Temperatuur sõltub kaugusest Päikesest, planeedi atmosfäärist ja energia tasakaalust
d: Kõik Päikesest samal kaugusel olevad planeedid on sama temperatuuriga
e: Ei tea



Eeltest: 16. küsimus

Milline järgnevatest väidetest Päikese kohta on kõige õigem?

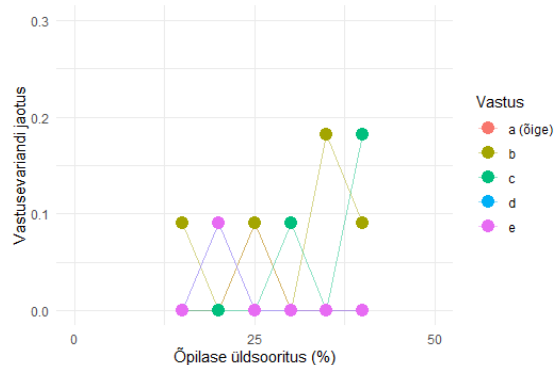
- a (õige): Päike on keskmise suurusega täht
- b: Päikeseks nimetatakse eraldi täheväikehi, mis asuvad päikesesüsteemide keskel
- c: Päike on kõige suurem täht galaktikas
- d: Päike on põlv planeet
- e: Ei tea



Järeitest: 16. küsimus

Milline järgnevatest väidetest Päikese kohta on kõige õigem?

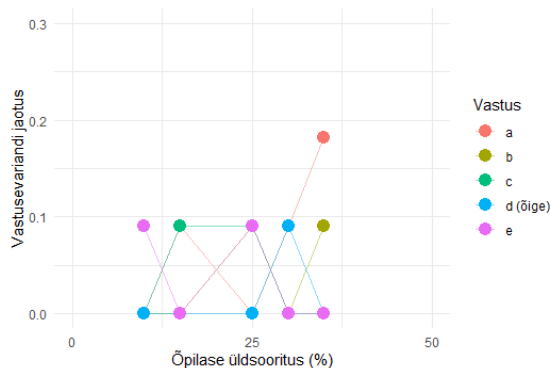
- a (õige): Päike on keskmise suurusega täht
- b: Päikeseks nimetatakse eraldi täheväikehi, mis asuvad päikesesüsteemide keskel
- c: Päike on kõige suurem täht galaktikas
- d: Päike on põlv planeet
- e: Ei tea



Eeltest: 17. küsimus

Milline järgnevatest väidetest Päikesesüsteemi kohta on kõige õigem?

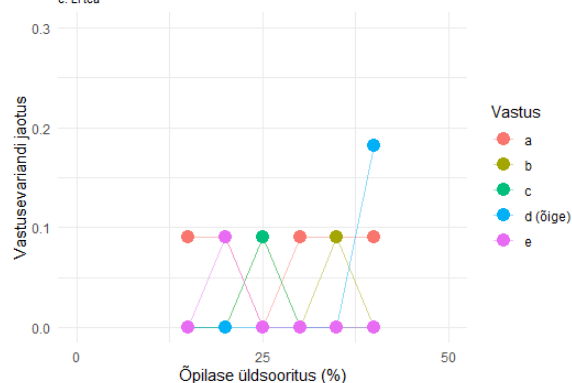
- a: Naaberplaneetide vahelkaugused on enam-vähem sama suured
- b: Kõik planeedid asuvad täpselt samal tasandil
- c: Planeetide orbiidid on piklikud ellipsid
- d (õige): Planeetide orbiidid on peaaegu ringikujulised ellipsid
- e: Ei tea



Järeitest: 17. küsimus

Milline järgnevatest väidetest Päikesesüsteemi kohta on kõige õigem?

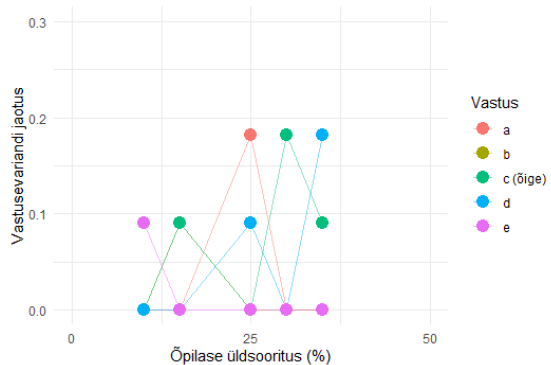
- a: Naaberplaneetide vahelkaugused on enam-vähem sama suured
- b: Kõik planeedid asuvad täpselt samal tasandil
- c: Planeetide orbiidid on piklikud ellipsid
- d (õige): Planeetide orbiidid on peaaegu ringikujulised ellipsid
- e: Ei tea



Eeltest: 18. küsimus

Milline järgnevatest väidetest tähtede kohta on kõige õigem?

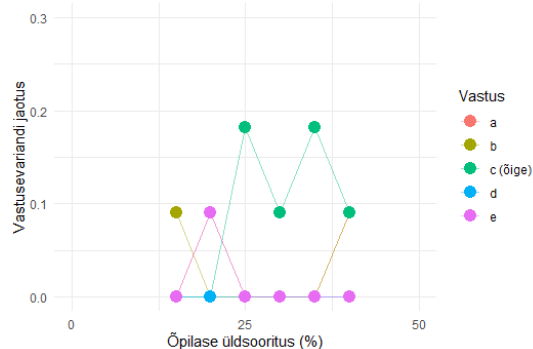
- a: Tähted peegeldavad Päikese valgust
- b: Tähted on olemas ainult öösel
- c (õige): Tähted saavad energia termotuumareaktsioonidest
- d: Tähted saavad energia põlemisreaktsioonidest
- e: Ei tea



Järeitest: 18. küsimus

Milline järgnevatest väidetest tähtede kohta on kõige õigem?

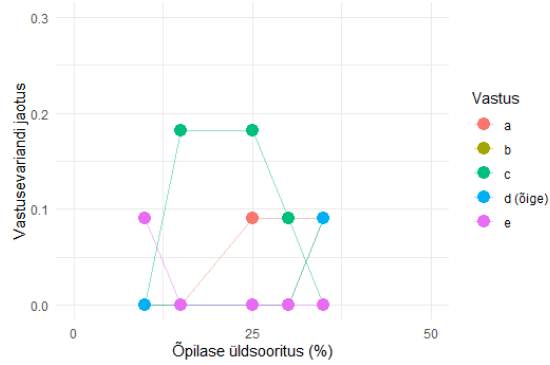
- a: Tähted peegeldavad Päikese valgust
- b: Tähted on olemas ainult öösel
- c (õige): Tähted saavad energia termotuumareaktsioonidest
- d: Tähted saavad energia põlemisreaktsioonidest
- e: Ei tea



Eeltest: 19. küsimus

Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

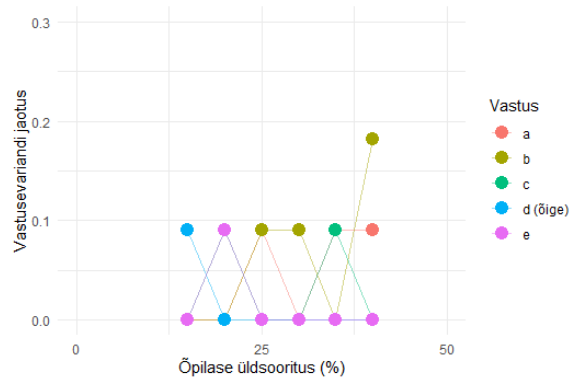
- a: Jupiteri ja Saturni vaheline kaugus on umbes sama suur, kui Maa ja Veenus vaheline kaugus
- b: Planeetidel on soojemad ja külmemad aastaajad, sest elliptisel orbiidil muutub nende kaugus Päikesest
- c: Kui planeetide orbiidid lõikuksid, põrkuksid nad tõenäoliselt kokku, sest neil ei ole kosmoses piisava
- d (õige): Hiidplaneetide vahelised kaugused on üldjuhul suuremad kui kiviplaneetide vahelised kaugused
- e: Ei tea



Järetest: 19. küsimus

Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

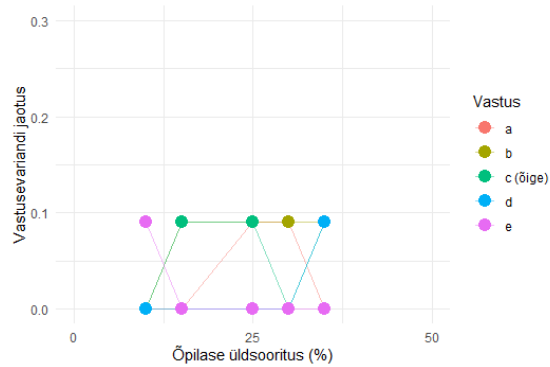
- a: Jupiteri ja Saturni vaheline kaugus on umbes sama suur, kui Maa ja Veenus vaheline kaugus
- b: Planeetidel on soojemad ja külmemad aastaajad, sest elliptisel orbiidil muutub nende kaugus Päikesest
- c: Kui planeetide orbiidid lõikuksid, põrkuksid nad tõenäoliselt kokku, sest neil ei ole kosmoses piisava
- d (õige): Hiidplaneetide vahelised kaugused on üldjuhul suuremad kui kiviplaneetide vahelised kaugused
- e: Ei tea



Eeltest: 20. küsimus

Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

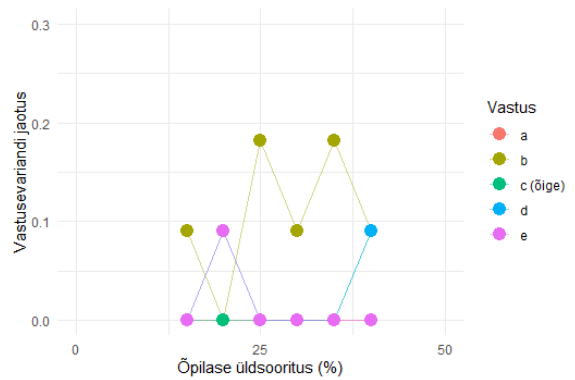
- a: Planeetid on suuremad kui tavalised tähed
- b: Asteroidid võivad olla suuremad kui Maa kaaslane Kuu
- c (õige): Mars on väiksem kui Maa
- d: Jupiteri läbimõõt on kaks korda väiksem kui Päikese läbimõõt
- e: Ei tea



Järetest: 20. küsimus

Milline järgnevatest väidetest on kõige õigem?

- a: Planeetid on suuremad kui tavalised tähed
- b: Asteroidid võivad olla suuremad kui Maa kaaslane Kuu
- c (õige): Mars on väiksem kui Maa
- d: Jupiteri läbimõõt on kaks korda väiksem kui Päikese läbimõõt
- e: Ei tea



Lisa 6

R-kood

```
library(readxl)

eeltest <- read_excel("eeltest.xlsx")
voti <- read_excel("võti.xlsx")
jarelttest <- read_excel("jarelttest.xlsx")
vastused <- read_excel("kysimused.xlsx")

#
#võtan välja read, mida järelttestis pole tehtud
names(eeltest)[1] <- "kood"
names(jarelttest)[1] <- "kood"

# küsimuste veerud
kysimused <- names(jarelttest)[-1]

# järelttest: alles jäävad ainult read, kus vähemalt üks vastus on olemas
jarelttest2 <- jarelttest[
  rowSums(!is.na(jarelttest[kysimused]) & jarelttest[kysimused] != "") > 0,
]

# eeltest: alles jäävad ainult need, kellel on järelttestis vastused olemas
eeltest2 <- eeltest[eeltest$kood %in% jarelttest2$kood, ]

# kontroll
eeltest2$kood == jarelttest2$kood
nrow(eeltest)
nrow(eeltest2)
nrow(jarelttest)
nrow(jarelttest2)
eeltest2$kood
jarelttest2$kood

#
# õigsuse kontroll ja jaotuse graafik
library(dplyr)
library(ggplot2)
oiged <- as.character(voti[1, ])

#vastajate tulemuse%
arvuta_sooritus <- function(tabel, testi_nimi) {
  tabel_10 <- tabel
```

```

    for (i in seq_along(kysimused)) {
      kys <- kysimused[i]
      tabel_10[[kys]] <- ifelse(tabel[[kys]] == oiged[i], 1, 0)
    }

    tulemus <- data.frame(
      kood = tabel_10$kood,
      protsent = rowMeans(tabel_10[, kysimused]) * 100,
      test = testi_nimi
    )

    return(tulemus)
  }
#testide tulemuste %
eel_sooritus <- arvuta_sooritus(eeltest2, "Eeltest")
jarel_sooritus <- arvuta_sooritus(jaretest2, "Järeltest")

sooritus_koos <- rbind(eel_sooritus, jarel_sooritus)
#jaotustabel
jaotus <- sooritus_koos %>%
  count(test, protsent) %>%
  group_by(test) %>%
  mutate(jaotus = n / sum(n)) %>%
  ungroup()
#keskmised, mediaan, mood
mood <- function(x) {
  ux <- unique(x)
  ux[which.max(tabulate(match(x, ux)))]
}
keskmised <- sooritus_koos %>%
  group_by(test) %>%
  summarise(
    keskmise = round(mean(protsent), 1),
    mediaan = round(median(protsent), 1),
    mood = round(mood(protsent), 1),
    .groups = "drop"
  )
keskmised

```

```

# jaotuse graafik
ggplot(jaotus, aes(x = protsent, y = jaotus)) +
  geom_col(width = 4) +
  geom_vline(
    data = keskmised,
    aes(xintercept = keskmine),
    linewidth = 1,
    linetype = "dashed"
  ) +
  facet_wrap(~ test) +
  scale_x_continuous(limits = c(0, 50), breaks = seq(0, 100, 10)) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 0.4)) +
  labs(
    x = "Vastaja tulemus (%)",
    y = "Jaotus",
    title = "Vastajate tulemuste jaotus eel- ja järeltestis"
  )

#Õigete vastuste tabel
eeltest_10 <- eeltest2
for (i in seq_along(kysimused)) {
  kys <- kysimused[i]
  eeltest_10[[kys]] <- ifelse(eeltest2[[kys]] == oiged[i], 1, 0)
}
eeltest_10$kokku_oiged <- rowSums(eeltest_10[, kysimused])
eeltest_10$protsent <- eeltest_10$kokku_oiged / length(kysimused) * 100
#
# küsimuste protsendid
protsendid <- colMeans(eeltest_10[, kysimused]) * 100
# uus viimane rida
protsendi_rida <- eeltest_10[1, ]
protsendi_rida[1, 1] <- "protsent"
for (kys in kysimused) {
  protsendi_rida[[kys]] <- round(protsendid[kys], 1)
}
# kui tabelis on kokku_oiged ja protsent veerud
if ("kokku_oiged" %in% names(protsendi_rida)) {

```

```

    protsendi_rida$kokku_oigeid <- NA
  }
  if ("protsent" %in% names(protsendi_rida)) {
    protsendi_rida$protsent <- round(mean(as.matrix(eeltest_10[, kysimused])) * 100, 1)
  }
  # lisa viimaseks reaks
  eeltest_10 <- rbind(eeltest_10, protsendi_rida)
  # Õigete vastuste tabel järeltesti jaoks
  jarelttest_10 <- jarelttest2
  for (i in seq_along(kysimused)) {
    kys <- kysimused[i]
    jarelttest_10[[kys]] <- ifelse(jarelttest2[[kys]] == oiged[i], 1, 0)
  }
  jarelttest_10$kokku_oigeid <- rowSums(jarelttest_10[, kysimused])
  jarelttest_10$protsent <- jarelttest_10$kokku_oigeid / length(kysimused) * 100
  #
  # küsimuste protsendid
  protsendid_jarel <- colMeans(jarelttest_10[, kysimused]) * 100
  # uus viimane rida
  protsendi_rida_jarel <- jarelttest_10[1, ]
  protsendi_rida_jarel[1, 1] <- "protsent"
  for (kys in kysimused) {
    protsendi_rida_jarel[[kys]] <- round(protsendid_jarel[kys], 1)
  }
  # kui tabelis on kokku_oigeid ja protsent veerud
  if ("kokku_oigeid" %in% names(protsendi_rida_jarel)) {
    protsendi_rida_jarel$kokku_oigeid <- NA
  }
  if ("protsent" %in% names(protsendi_rida_jarel)) {
    protsendi_rida_jarel$protsent <- round(mean(as.matrix(jarelttest_10[, kysimused])) * 100,
1)
  }
  # lisa viimaseks reaks
  jarelttest_10 <- rbind(jarelttest_10, protsendi_rida_jarel)
  # Õigete vastuste tabel järeltesti jaoks
  View(jarelttest_10)
  #eel-järeltesti küsimuste võrdlus

```

```

vordlus_kysimused <- data.frame(
  kysimus = kysimused,
  eeltest = round(protsendid, 1),
  jareltest = round(protsendid_jarel, 1),
  muutus = round(protsendid_jarel - protsendid, 1)
)
View(vordlus_kysimused)
#võrdlusgraafik
library(ggplot2)
library(tidyr)
library(dplyr)
vordlus_kysimused$suund <- ifelse(
  vordlus_kysimused$muutus > 0, "kõrgem",
  ifelse(vordlus_kysimused$muutus < 0, "madalam", "sama")
)
vordlus_kysimused$kysimus <- factor(vordlus_kysimused$kysimus, levels = kysimused)
vordlus_pikk <- vordlus_kysimused %>%
  pivot_longer(
    cols = c(eeltest, jareltest),
    names_to = "test",
    values_to = "protsent"
  )
ggplot(vordlus_pikk, aes(x = kysimus, y = protsent, fill = test)) +
  geom_col(position = position_dodge(width = 0.75), width = 0.65) +
  # vertikaalsed nooled muutuse jaoks
  geom_segment(
    data = subset(vordlus_kysimused, muutus != 0),
    aes(
      x = as.numeric(kysimus),
      xend = as.numeric(kysimus),
      y = eeltest,
      yend = jareltest,
      color = suund
    ),
    arrow = arrow(length = grid::unit(0.15, "cm")),
    inherit.aes = FALSE,

```

```

    linewidth = 0.8
  ) +
    # must horisontaalne kriips, kui muutust pole
  geom_segment(
    data = subset(vordlus_kysimused, muutus == 0),
    aes(
      x = as.numeric(kysimus) - 0.15,
      xend = as.numeric(kysimus) + 0.15,
      y = eeltest,
      yend = eeltest
    ),
    inherit.aes = FALSE,
    linewidth = 0.9,
    color = "black"
  ) +
    scale_color_manual(
      values = c("kõrgem" = "red", "madalam" = "blue")
    ) +
    scale_y_continuous(limits = c(0, 100)) +
    labs(
      title = "Küsimuste sooritus eel- ja järeltestis",
      x = "Küsimus",
      y = "Õigete vastuste osakaal (%)",
      fill = "Test",
      color = "Muutus"
    ) +
    theme_minimal()
#Muutustest täpsemalt
#mutuste tabel vastaja kaupa
library(dplyr)
library(tidyr)
# võtmetabel: küsimus + õige vastus
voti_pikk <- data.frame(
  kysimus = kysimused,
  oige = as.character(voti[1, ])
)

```

```

# eeltest pikaks
eel_pikk <- eeltest2 %>%
  pivot_longer(
    cols = all_of(kysimused),
    names_to = "kysimus",
    values_to = "eel_vastus"
  )
# järeeltest pikaks
jarel_pikk <- jareeltest2 %>%
  pivot_longer(
    cols = all_of(kysimused),
    names_to = "kysimus",
    values_to = "jarel_vastus"
  )
# muutuste tabel
muutused <- eel_pikk %>%
  left_join(jarel_pikk, by = c("kood", "kysimus")) %>%
  left_join(voti_pikk, by = "kysimus") %>%
  mutate(
    eel_vastus = tolower(trimws(as.character(eel_vastus))),
    jarel_vastus = tolower(trimws(as.character(jarel_vastus))),
    oige = tolower(trimws(as.character(oige))),
    eel_oige = eel_vastus == oige,
    jarel_oige = jarel_vastus == oige,
    muutuse_tyyp = case_when(
      eel_oige == TRUE & jarel_oige == TRUE ~ "jäi õigeks",
      eel_oige == FALSE & jarel_oige == TRUE ~ "muutus õigeks",
      eel_oige == TRUE & jarel_oige == FALSE ~ "läks valeks",
      eel_oige == FALSE & jarel_oige == FALSE & eel_vastus == jarel_vastus ~ "sama vale
vastus",
      eel_oige == FALSE & jarel_oige == FALSE & eel_vastus != jarel_vastus ~ "teine vale
vastus",
      TRUE ~ "muu"
    )
  )
View(muutused)
#muutused küsimustes kokku

```

```

muutused_kysimuste_kaupa <- muutused %>%
  count(kysimus, muutuse_tyyp, name = "n") %>%
  group_by(kysimus) %>%
  mutate(
    protsent = round(n / sum(n) * 100, 1)
  ) %>%
  ungroup()
View(muutused_kysimuste_kaupa)

#vastuste liikumine
vastuste_liikumine <- muutused %>%
  mutate(liikumine = paste(eel_vastus, "→", jarel_vastus)) %>%
  count(kysimus, liikumine, name = "n") %>%
  group_by(kysimus) %>%
  mutate(protsent = round(n / sum(n) * 100, 1)) %>%
  arrange(kysimus, desc(n)) %>%
  ungroup()
View(vastuste_liikumine)

#õige->vale
oige_vale <- muutused %>%
  group_by(kysimus) %>%
  mutate(kokku_vastajaid = n()) %>%
  ungroup() %>%
  filter(eel_oige == TRUE, jarel_oige == FALSE) %>%
  count(kysimus, oige, jarel_vastus, kokku_vastajaid, name = "n") %>%
  mutate(
    protsent_koigist = round(n / kokku_vastajaid * 100, 1)
  ) %>%
  arrange(as.numeric(kysimus), desc(n))
View(oige_vale)

#vale->vale
vale_vale <- muutused %>%
  group_by(kysimus) %>%
  mutate(kokku_vastajaid = n()) %>%
  ungroup() %>%
  filter(eel_oige == FALSE, jarel_oige == FALSE) %>%
  mutate(

```

```

    vale_vale_tyypp = ifelse(eel_vastus == jarel_vastus,
                             "sama vale",
                             "teine vale"),
    liikumine = paste(eel_vastus, "→", jarel_vastus)
  ) %>%
  count(kysimus, vale_vale_tyypp, eel_vastus, jarel_vastus, liikumine, kokku_vastajaid, name
= "n") %>%
  mutate(
    protsent_koigist = round(n / kokku_vastajaid * 100, 1)
  ) %>%
  arrange(as.numeric(kysimus), vale_vale_tyypp, desc(n))
View(vale_vale)
#suuremad kindlad muutused
oige_vale_2plus <- oige_vale %>%
  filter(n >= 2) %>%
  arrange(as.numeric(kysimus), desc(n))
View(oige_vale_2plus)
vale_vale_3plus <- vale_vale %>%
  filter(n >= 3) %>%
  arrange(as.numeric(kysimus), desc(n))
View(vale_vale_3plus)
#suured üldised muutused
suured_muutused <- vordlus_kysimused %>%
  filter(abs(muutus) >= 20) %>%
  arrange(desc(abs(muutus)))
View(suured_muutused)
#Milliseid distraktoreid valiti
# Funktsioon: leiab küsimuste kaupa valitud distraktorid
arvuta_distraktorid <- function(tabel, testi_nimi) {
  distraktorid <- tabel %>%
    pivot_longer(
      cols = all_of(kysimused),
      names_to = "kysimus",
      values_to = "vastus"
    ) %>%
    mutate(
      vastus = tolower(trimws(as.character(vastus))),

```

```

    oige = rep(tolower(trimws(as.character(oiged))), times = nrow(tabel)),
    kas_oige = vastus == oige
  ) %>%
  filter(kas_oige == FALSE) %>%
  count(kysimus, vastus, name = "mitu") %>%
  group_by(kysimus) %>%
  mutate(
    test = testi_nimi,
    protsent_koigist = round(mitu / nrow(tabel) * 100, 1),
    protsent_valedest = round(mitu / sum(mitu) * 100, 1)
  ) %>%
  ungroup() %>%
  arrange(as.numeric(gsub("[^0-9]", "", kysimus)), desc(mitu))
  return(distraktorid)
}
distraktorid_eel <- arvuta_distraktorid(eeltest2, "eeltest")
distraktorid_jarel <- arvuta_distraktorid(jareltest2, "järeltest")
View(distraktorid_eel)
View(distraktorid_jarel)
#
#IRT
vastused <- read_excel("kysimused.xlsx", col_names = FALSE)
vastused <- vastused[, 1:3]
names(vastused) <- c("kysimus_nr", "variant", "tekst")

vastused <- vastused %>%
  mutate(
    kysimus_nr = as.numeric(kysimus_nr),
    variant = tolower(trimws(as.character(variant))),
    tekst = as.character(tekst)
  )
#tekstist tabel
tee_irt_andmed <- function(test_tabel, test_10, testi_nimi) {
  test_10_puhas <- test_10[test_10[[1]] != "protsent", ]
  sooritus <- test_10_puhas
  sooritus$uldsooritus <- rowMeans(sooritus[, kysimused]) * 100

```

```

sooritus <- sooritus[, c(1, ncol(sooritus))]
names(sooritus) <- c("kood", "uldsooritus")

test_pikk <- test_tabel %>%

pivot_longer(
  cols = all_of(kysimused),
  names_to = "kysimus",
  values_to = "vastus"
) %>%

left_join(sooritus, by = "kood") %>%

mutate(
  test = testi_nimi,
  vastus = tolower(trimws(as.character(vastus)))
)

return(test_pikk)
}

#eel-järeltesti pööramine
eeltest_pikk <- tee_irt_andmed(eeltest2, eeltest_10, "eeltest")
järeltest_pikk <- tee_irt_andmed(järeltest2, järeltest_10, "järeltest")
#graafiku andmed
tee_irt_graafik <- function(test_pikk, testi_nimi, kysimus_nr) {

  kysimus_id <- kysimused[kysimus_nr]
  oige_vastus <- tolower(trimws(as.character(voti[1, kysimus_nr])))

  # küsimuse tekst
  kysimuse_tekst <- vastused %>%
    filter(kysimus_nr == !!kysimus_nr, variant == as.character(kysimus_nr)) %>%
    pull(tekst)

  # vastusevariantide tekstid
  variandidid_tekstina <- vastused %>%
    filter(kysimus_nr == !!kysimus_nr, variant %in% c("a", "b", "c", "d", "e")) %>%
    mutate(
      mark = ifelse(variant == oige_vastus, " (õige)", ""),
      rida = paste0(variant, mark, ": ", tekst)
    ) %>%

```

```

pull(rida)

subtitle_tekst <- paste(
  c(kysimuse_tekst, variandid_tekstina),
  collapse = "\n"
)

# graafiku andmed
graafik <- test_pikk %>%
  filter(kysimus == kysimus_id) %>%
  filter(!is.na(vastus), vastus != "") %>%
  mutate(
    vastus = factor(vastus, levels = c("a", "b", "c", "d", "e"))
  ) %>%
  count(uldsooritus, vastus, name = "n") %>%
  complete(uldsooritus, vastus, fill = list(n = 0)) %>%
  mutate(jaotus = n / sum(n)) %>%
  mutate(
    vastus_mark = ifelse(as.character(vastus) == oige_vastus,
                        paste0(as.character(vastus), " (õige)"),
                        as.character(vastus))
  )

p <- ggplot(graafik, aes(x = uldsooritus, y = jaotus, color = vastus_mark, group =
vastus_mark)) +
  geom_line(linewidth = 0.5, alpha = 0.45) +
  geom_point(size = 4) +
  labs(
    title = paste0(testi_nimi, ": ", kysimus_nr, ". küsimus"),
    subtitle = subtitle_tekst,
    x = "Õpilase üldsooritus (%)",
    y = "Vastusevariandi jaotus",
    color = "Vastus"
  ) +
  scale_x_continuous(limits = c(0, 50), breaks = seq(0, 100, 25)) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 0.3)) +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.subtitle = element_text(size = 8),

```

```

        legend.position = "right"
    )
    return(p)
}

#graafik
for (i in seq_along(kysimused)) {
    p_eel <- tee_irt_graafik(eeltest_pikk, "Eeltest", i)
    print(p_eel)

    p_jarel <- tee_irt_graafik(jareltest_pikk, "Järeltest", i)
    print(p_jarel)
}

#kategooriad-rühmad
eeltest_10_puhas <- eeltest_10[eeltest_10[[1]] != "protsent", ]
jareltest_10_puhas <- jareltest_10[jareltest_10[[1]] != "protsent", ]
library(dplyr)
library(tidyr)

# küsimuste kategooriad võtme 2. realt
kategooriad <- as.character(voti[2, ])
voti_kategooriad <- data.frame(
    kysimus = kysimused,
    kategooria = kategooriad
)

#eeltest
eel_kategooriad <- eeltest_10_puhas %>%
    pivot_longer(
        cols = all_of(kysimused),
        names_to = "kysimus",
        values_to = "oige_10"
    ) %>%
    left_join(voti_kategooriad, by = "kysimus") %>%
    group_by(kategooria) %>%
    summarise(
        eeltest = round(mean(oige_10) * 100, 1),
        .groups = "drop"
    )

#järeltest

```

```

jarel_kategooriad <- jarelttest_10_puhas %>%
  pivot_longer(
    cols = all_of(kysimused),
    names_to = "kysimus",
    values_to = "oige_10"
  ) %>%
  left_join(voti_kategooriad, by = "kysimus") %>%
  group_by(kategooria) %>%
  summarise(
    jarelttest = round(mean(oige_10) * 100, 1),
    .groups = "drop"
  )
#kokku
kategooria_vordlus <- eel_kategooriad %>%
  left_join(jarel_kategooriad, by = "kategooria") %>%
  mutate(
    muutus = round(jarelttest - eelttest, 1)
  )
View(kategooria_vordlus)
#graafik
kategooria_pikk <- kategooria_vordlus %>%
  pivot_longer(
    cols = c(eelttest, jarelttest),
    names_to = "test",
    values_to = "protsent"
  )

ggplot(kategooria_pikk, aes(x = kategooria, y = protsent, fill = test)) +
  geom_col(position = position_dodge(width = 0.75), width = 0.65) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 50)) +
  labs(
    title = "Sooritus rühmade kaupa eel- ja järeltestis",
    x = "Rühm",
    y = "Õigete vastuste osakaal (%)",
    fill = "Test"
  ) +

```

```

theme_minimal()
#Cronbachi alfa
library(psych)
library(dplyr)
arvuta_alpha_kategooriates <- function(tabel_10, testi_nimi) {
  tulemused <- data.frame()
  for (kat in unique(voti_kategooriad$kategooria)) {
    kat_kysimused <- voti_kategooriad$kysimus[voti_kategooriad$kategooria == kat]
    andmed <- tabel_10[, kat_kysimused]
    andmed <- as.data.frame(lapply(andmed, as.numeric))
    alpha_tulemus <- psych::alpha(andmed, warnings = FALSE)
    tulemused <- rbind(
      tulemused,
      data.frame(
        test = testi_nimi,
        kategooria = kat,
        kysimusi = length(kat_kysimused),
        cronbach_alpha = round(alpha_tulemus$total$raw_alpha, 3)
      )
    )
  }
  return(tulemused)
}
alpha_eel <- arvuta_alpha_kategooriates(eeltest_10_puhas, "eeltest")
alpha_jarel <- arvuta_alpha_kategooriates(jarelttest_10_puhas, "järeltest")

alpha_kokku <- rbind(alpha_eel, alpha_jarel)

View(alpha_kokku)
# p-väärtused
library(dplyr)
library(tidyr)
n_vastajaid <- nrow(eeltest2)
voti_pikk <- data.frame(
  kysimus = kysimused,
  oige = tolower(trimws(as.character(voti[1, ])))

```

```

)
eeltest_pikk_bn <- eeltest2 %>%
  pivot_longer(
    cols = all_of(kysimused),
    names_to = "kysimus",
    values_to = "vastus"
  ) %>%
  mutate(
    vastus = tolower(trimws(as.character(vastus)))
  ) %>%
  left_join(voti_pikk, by = "kysimus")
vastused_binom <- eeltest_pikk_bn %>%
  filter(!is.na(vastus), vastus != "") %>%
  count(kysimus, oige, vastus, name = "mitu") %>%
  mutate(
    n = n_vastajaid,
    osakaal = round(mitu / n, 3),
    protsent = round(mitu / n * 100, 1),
    kas_oige = ifelse(vastus == oige, "õige", "vale"),
    p0 = 0.25,
    p_value = sapply(mitu, function(x) {
      binom.test(
        x = x,
        n = n_vastajaid,
        p = 0.25,
        alternative = "greater"
      )$p.value
    })
  ) %>%
  arrange(as.numeric(kysimus), p_value)
View(vastused_binom)
vastused_binom_olulised <- vastused_binom %>%
  filter(p_value < 0.05)
View(vastused_binom_olulised)

```

Lisa 7

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ella Skiller,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Väärarusaamad Päikesesüsteemist 8. ja 9. klassi õpilaste näitel: uurimisinstrumendi pilootuuring,

mille juhendaja on Kaido Reivelt, PhD,

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 3.0, 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.

Ella Skiller

28.05.2026