

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

Kristjan Rea

**Virtuaalsete 3D-mudelite ja 3D-printeriga loodud füüsiliste
mudelite rakendamine „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema
õppimiseks põhikoolis**

Magistritöö (30 EAP)

Gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja

Juhendajad: Leo Aleksander Siiman, PhD

Ülle Liiber, MSc

TARTU

2016

Lühikokkuvõte

Virtuaalsete 3D-mudelite ja 3D-printeriga loodud füüsiliste mudelite rakendamine „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimiseks põhikoolis

Tahvelarvutid ja 3D-printerid on muutumas koolides aina tavapärasemateks vahenditeks. Siiski seistakse tihtilugu silmitsi olukorraga, kus uut tehnoloogiat ei osata õppe-eesmärkide toetamiseks rakendada. Sellest lähtuvalt oli magistritöö eesmärkideks uurida, kuidas mõjutavad virtuaalsed 3D-mudelid tahvelarvutites ja 3D-printeritega loodud füüsilised mudelid „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimisel õpilaste kaardilugemise oskuseid ja ruumilist mõtlemist. Eesmärkide saavutamiseks disainiti eeltestid, kolm erinevat õpistsenaariumi ja järeltestid, millele vastas kokku 105 7. klassi õpilast. Tööst selgus, et õpistsenaariumi tulemused kolme uurimisaluse rühma vahel erinesid statistiliselt oluliselt ($H = 57,51; p < 0,05$) ning kõige paremini sooritasid selle õpilased, kes kasutasid 3D-printeriga loodud füüsilisi modeleid. Seevastu õpilaste kaardilugemise oskustele ja ruumilisele mõtlemisele õpistsenaariumis kasutatavad vahendid (füüsilised ja virtuaalsed 3D-mudelid ning 2D-mudelid) statistiliselt olulist mõju ei avaldanud.

Märksõnad: 3D-printimine, füüsilised 3D-mudelid, virtuaalsed 3D-mudelid, ruumiline mõtlemine, geograafia. **CERCS: S272 Õpetajakoolitus**

Abstract

Applying virtual 3D-models and physical 3D-models created by a 3D-printer for learning about the topic “Landforms and Groups of Landforms” in basic schools

Tablet computers and 3D-printers are becoming more and more common in schools. However, this new technology is often not effectively applied in teaching and in achieving better student learning outcomes. The aim of this master's thesis was to examine how virtual 3D-models on tablet computers and physical 3D-models created by a 3D-printer influence students' map reading skills and spatial thinking when learning about the topic “Landforms and Groups of Landforms”. To reach the aims of the study, pretests, an intervention with three different conditions and posttests were designed, in which 105 students from the 7th grade participated. The study revealed that the results of three different conditions were statistically significantly different ($H = 57,51; p < 0,05$) and that students who used physical models created by 3D-printers performed the best. However, students map reading skills and spatial ability skills were not influenced by the three differing instruments (physical 3D-models, virtual 3D-models and paper-based 2D-models) used in intervention.

Key words: 3D-printing, physical 3D-models, virtual 3D-models, spatial thinking, geography. **CERCS: S272 Teacher education**

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Kirjanduse ülevaade.....	6
1.1. Ruumiline mõtlemine ja geograafia.....	6
1.2. Vandenberg & Kuse (1978) ruumilise mõtlemise test.....	7
1.3. Mis on 3D-printer ja 3D-printimine?	8
1.4. 3D-printerite rakendamine õppetöös.....	9
1.5. Füüsiliste mudelite kasutamise eelised õpetamisel.....	10
1.6. Virtuaalsete mudelite kasutamise eelised õpetamisel	10
2. Metoodika	11
2.1. Uuringu disain	11
2.2. Valim.....	12
2.3. Instrumendid	13
2.4. Andmeanalüüs	15
3. Tulemused	17
3.1. Eeltestide tulemused	17
3.2. Õpistsenaariumi tulemused	19
3.3. Järeltestide tulemused	23
4. Arutelu ja järeldused.....	26
5. Kokkuvõte.....	29
Kasutatud kirjandus	31
Tänuavaldused.....	35
Summary	36
Lisad	38

Sissejuhatus

Tehnoloogia kiire arengu tõttu on uudsed tehnikavahendid saanud laiale kasutajaskonnale, sealhulgas ka õpilastele koolides, ruttu kättesaadavaks. Arvutiklassid sinna juurde kuuluva inventariga on muutunud Eesti koolides iseenesestmõistetavaks nagu tahvel ja kriit, kuid tahvelarvutid ning eelkõige kolmedimensioonilised ehk 3D-printerid veel mitte. Siiski leidub neidki üha rohkemates koolides. Näiteks mittetulundusühingu Eesti 2.0 pilootprojekti raames jagati 2015. aastal viiekümnele Eesti põhikoolile ja gümnaasiumile 3D-printerid (Eesti 2.0, 2016) ning 2016. aastal on Tallinna linnal plaan varustada kõik pealinna koolid 3D-printeritega (Tallinna veebileht, 2016). Ometi ei tähenda 3D-printerite olemasolu koolis ilmtingimata seda, et neid õppetöös otstarbekalt kasutatakse (Thornburg, 2014). Samamoodi ei pruugi ka tahvelarvutid koolitunnis kõige mõistlikumal moel kasutust leida. Seetõttu on vajalik leida viise, kuidas olemasolevaid 3D-printereid ja tahvelarvuteid õppe-eesmärkide toetamiseks rakendada.

Eesti ja ka teiste Euroopa riikide õpilaste huvi loodus- ja täppisteaduste ning tehnoloogia ehk STEM-valdkonna (ingl. k. *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) erialade vastu on madal (Eurydice network, 2011; Van den Berghe & De Martelaere, 2012; Archer *et al.*, 2013; Eesti infoühiskonna..., 2013). Samas on tõestatud, et hea ruumilise mõtlemisega õpilased teevad hilisemas elus karjääri valdavalt STEM-valdkonna erialadel (Wai *et al.*, 2009). Seega võiks õpilaste ruumilise mõtlemise arendamine suunata neid vastavaid erialasid õppima. Ruumilist mõtlemist saab arendada mitmel erineval moel, kuid koolikontekstis oleksid kõige sobilikumad otseselt STEM-õppeainetega seotud ülesanded (Uttal *et al.*, 2013).

Üks STEM-õppeainetest, kus ainesisu edastamisel saab õpilaste ruumilist mõtlemist arendada, on geograafia. Näiteks õppeteema „Pinnavormid ja pinnamood“ nõuab õpilastelt kahedimensiooniliste (2D) objektide kujutlemist kolmedimensioonilistena (3D), mis valmistab neile raskusi (King, 2006). Ka geograafiaõpetajate sõnutsi on vastavat teemat paljudel õpilastel keeruline omandada. Mitmete uurimuste kohaselt arendaksid õppetöösse kaasatud mudelid ruumilist mõtlemist (Baker & Talley, 1974; Eliot & Hauptmam, 1981; Dori & Barak, 1999; *cit.* Dori & Barak, 2001). Koolides oleks võimalik kasutada tahvelarvuteid eelnevalt loodud virtuaalsete mudelite vaatlemiseks ning 3D-printereid füüsiliste mudelite valmistamiseks ja rakendamiseks õppetöös.

Käesoleva magistritöö eesmärkideks on:

- selgitada välja, kuidas mõjutavad virtuaalsed ja 3D-printeritega loodud füüsilised mudelid „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimisel õpilaste kaardilugemise oskuseid;
- uurida, kuidas mõjutavad virtuaalsed ja 3D-printeritega loodud füüsilised mudelid „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimisel õpilaste ruumilist mõtlemist.

Eesmärkidest lähtuvalt püstitati järgmised uurimisküsimused:

- 1) Kuidas erinevad õpilaste „Pinnavormide ja pinnamoe“ õpistsenaariumi tulemused, kasutades 3D-printeriga loodud füüsilisi mudeleid (edaspidi ka kui füüsilised 3D-mudelid), virtuaalseid 3D-mudeleid tahvelarvutis (edaspidi ka kui virtuaalsed 3D-mudelid) ja 2D-mudeleid paberil (edaspidi ka kui 2D-mudelid)?
- 2) Mil määral mõjutab füüsiliste ja virtuaalsete 3D-mudelite ning 2D-mudelite kasutamine õpilaste kaardilugemise oskusi?
- 3) Kuidas muutub õpilaste ruumilise mõtlemise tase sõltuvalt sellest, kas nad kasutasid õpistsenaariumis füüsilisi 3D-mudeleid, virtuaalseid 3D-mudeleid või 2D-mudelid?
- 4) Millisel määral erinevad poiste ja tüdrukute tulemused kolmes esimeses uurimisküsimuses?
- 5) Kuidas erinevad poiste ja tüdrukute tulemused rühmiti?

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Ruumiline mõtlemine ja geograafia

Euroopa riikides läbiviidud uurimused kinnitavad õpilaste vähest huvi asuda õppima ning tööle loodus- ja täppisteaduste ning tehnoloogia ehk STEM-valdkonnas (Eurydice network, 2011; Van den Berghe & De Martelaere, 2012; Archer *et al.*, 2013). Sarnaselt Euroopa eakaaslastele iseloomustab ka Eesti õpilasi madal huvi STEM-valdkonna vastu (Eesti infoühiskonna..., 2013). Olukorra parandamiseks on Eesti elukestva õppe strateegia 2020-s püstitatud eesmärk, mille kohaselt peab 2020. aastaks tõusma kõrghariduses loodus- ja täppisteaduste ning tehnoloogia erialade lõpetanute osakaal 2012. aasta 22%-lt (EHIS, 2012) 25%-ni (Eesti elukestva ..., 2014).

Eelmainitud eesmärki võiks aidata saavutada õpilaste ruumilise mõtlemise arendamine, mis Newcombe (2010) järgi on objektide asukohtade, vormide, üksteisesse suhestumise ja liikumisteede mõistmine. Ackerman & Heggstad (1997) uurimusest selgus, et ruumilise mõtlemise taseme ja STEM-valdkonna vastu huvi tundmise vahel esineb positiivne seos. Wai *et al.* (2009) gümnaasiumiõpilaste (N = 400 000) seas läbiviidud longituuduuringust nähtus, et hea ruumilise mõtlemise tasemega õpilased olid 11 aastat hiljem teinud karjääri peamiselt STEM-valdkonna erialadel. Ka Uttal *et al.* (2013) metaanalüüsist ilmes, et ruumiline mõtlemine on STEM-hariduses oluline ning seda on võimalik õige sekkumise korral arendada.

Ruumilist mõtlemist edendavad mitmed erinevad meetodid: haakuvatest mänguklotsidest ruumiliste kujundite kokku panemine, käte ja silmade koordineerimise nõudvate spordialadega tegelemine, 3D-arvutimängude mängimine jne (Brudigam & Crawford, 2012). Enamikes ruumilise mõtlemise arendamist käsitlevates uurimustes on õpiobjektidena kasutatud abstraktseid esemeid, millel niisama hästi kui puudub ühisosa STEM-õppeainetega. Koolis on aga ruumilise mõtlemise arendamise juures oluline, et selleks kasutatavad ülesanded oleksid otseselt seotud mõne STEM-õppeainega. (Uttal *et al.*, 2013) Siinjuures on heaks näiteks Kolvoord *et al.* (2014), kelle loodud õpiobjektis kasutasid gümnaasiumiõpilased geoinfosüsteemi, et lahendada keerukaid elulisi probleeme, mis nõudsid ruumiliste seoste analüüsimist.

Geograafia, mille hulka kuuluvad ka geoinfosüsteemid, on üks STEM-valdkonna õppeainest, kus ruumilisel mõtlemisel on võtmeroll (Van Der Merwe, 2009). Nimelt peetakse geograafia õppimisel kõige olulisemaks aspektiks ruumilist mõtlemist. Paraku on see ka aspekt, millega

on paljudel õpilastel vastavas õppeaines probleeme. Näiteks valmistab õpilastele raskusi maastikul viibides enda asukoha kindlaks tegemine kaardil ja kahedimensiooniliste objektide ette kujutamine kolmedimensioonilistena ning vastupidi. (King, 2006) Viimasega haakub tõik, et õpilastel on raskusi kaartide, täpsemini reljeefikaartide lugemise (Wiegand & Stiell, 1997) ehk sümbolite märkamise, äratundmise, üksteisest eristamise ja mõistmisega (Keates, 1996), mis on Põhikooli riikliku õppekava (PRÕK) kohaselt üks nõutud õpitulemus (PRÕK, 2014).

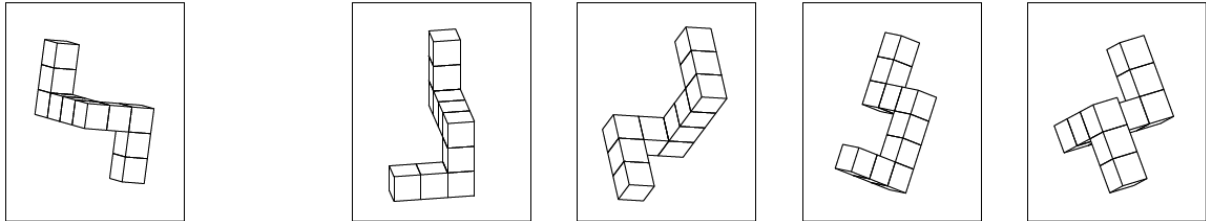
PRÕK (2014) järgi tuleb loodusainete, sealhulgas geograafia õpetamisel „õppetegevust kavandades ja korraldades rakendada nüüdisaegseid info- ja kommunikatsioonitehnoloogial (IKT) põhinevaid õpikeskkondi ning õppematerjale ja -vahendeid“. Cox *et al.* (2004) kohaselt kasutatakse IKT keskkondadest loodusainetes kõige laialdasemalt simulatsioone ja mudeleid. Mitmed autorid on oma uurimustes rõhutanud, et just mudelite abil õppimine hõlbustab õpilastel kahedimensiooniliste objektide ettekujutamist kolmedimensioonilistena (Baker & Talley, 1974; Eliot & Hauptmam, 1981; Dori & Barak, 1999; *cit.* Dori & Barak, 2001). Mudelid, mida õpetamiseks kasutatakse võivad olla nii virtuaalsed ehk käega katsutamatud kui ka füüsilised ehk käega katsutavad.

1.2. Vandenberg & Kuse (1978) ruumilise mõtlemise test

Ruumilise mõtlemise taset on võimalik mõõta ja selle tarvis on loodud mitmeid erinevaid teste (Ha & Fang, 2013). Neist levinuim on Vandenberg & Kuse (1978) ruumilise mõtlemise test (RMT) (Caissie *et al.*, 2009), mis on tuntud oma kõrge valiidsuse ja reliaabluse poolest (Mohler, 2006). Vandenberg & Kuse (1978) kirjelduse kohaselt koosneb nende RMT kahekümnest Shepard & Metzler (1971) loodud kuupidest moodustatud sihtkujundist, millest igähele peab testi tegija leidma nelja variandi seast kaks õiget vastuskujundit, mis erinevad sihtkujundist üksnes asendi poolest (Joonis 1). Vandenberg & Kuse RMT abil on näiteks leitud kinnitust laialt levinud arvamusele, et mehed on ruumilises mõtlemises märkimisväärselt paremad kui naised (Linn & Petersen, 1985).

Voyer & Hou (2006) ja Caissie *et al.* (2009) uurisid, kuidas mõjutavad Vandenberg & Kuse RMT tulemusi kujundite keerukus. Nad klassifitseerisid vastusevariandid varjatud ja varjamata osadega kujunditeks ning valed vastusevariandid sihtkujundist struktuuralselt erinevateks ja sihtkujundi peegelpildis olevateks kujunditeks. Caissie *et al.* (2009) eristasid lisaks veel heterogeenseid kujundeid ehk kujundeid, mille otsmiste kuupide arv on erinev ja homogeenseid kujundeid ehk kujundeid, mille otsmiste kuupide arv on võrdne. Voyer & Hou (2006) ning

Caissie *et al.* (2009) leidsid, et peegelpildis ja varjatud osadega kujundid on märgatavalt raskemini äratuntavad kui struktuuralselt erinevad ja varjamata osadega kujundid. Caissie *et al.* (2009) uurimusest ilmnes veel, et homogeenised kujundid olid keerulisemad kui heterogeensed kujundid.



Joonis 1. Eraldiseisvale sihtkujundile tuleb nelja variandi seast leida kaks õiget vastuskujundit, millest antud juhul on õiged esimene ja kolmas. Joonisel on kujutatud Peters *et al.* (1995) kvaliteedi parandamise eesmärgil ümberjoonistatud kujundeid Vandenberg & Kuse RMT-st.

1.3. Mis on 3D-printer ja 3D-printimine?

Konventsionaalne printimine kasutab sõnade ja piltide paberile saamiseks arvutiga ühenduses olevaid 2D-printereid. Seevastu kolmedimensiooniline printimine võimaldab arvutiga ühendatud seadmel, mida kutsutakse 3D-printeriks, luua kolmemõõtmelisi füüsilisi objekte. Täpsemini on 3D-printer aparaat, mis muudab arvutis 3D-modelleerimistarkvaraga (nt *Blender*) disainitud mudeli või 3D-skanneriga arvutisse sisestatud kujutise füüsiliseks objektis. (Kaur, 2012) 3D-printimine hõlmab endas mitmeid üksteisega lähedalt seotud tehnoloogiaid, mille kõigi lõpptulemiks on kolmemõõtmeline füüsiline objekt (Segerman, 2012). Enamikes 3D-printerites kasutatakse FDM-tehnoloogiat (ingl. k. *fused-deposition modeling*), mis seisneb kuuma poolvedela plasti õhukeste kihtidena üksteise peale kandmises (Kaur, 2012; Christiansen *et al.*, 2015). Näiteks plastist kera valmistamiseks prindib 3D-printer esmalt väikese ringi, pärast seda aga järjest suuremaid ringe kuni jõutakse kera ekvaatorini. Seejärel prindib 3D-printer järjest väiksemaid ringe kuni kera ongi valmis. Peale plasti kasutatakse 3D-printimiseks ka kipsi, metalli jpt materjale. (Andersen *et al.*, 2005) 3D-printeriga loodud eseme ruumala võib olla paar kuupsentimeetrit ja külje pikkus umbes viisteist sentimeetrit (Thornburg, 2014).

3D-printimise tehnoloogiate arendamine sai alguse 1970ndate lõpus (Bradshaw *et al.*, 2010; Campbell *et al.*, 2011), et võimaldada kiirprototüüpimist tööstusdisaini valdkonnas. Nimelt võimaldab 3D-printimine eseme disaineril muuta arvutis loodud prototüüp füüsiliseks mudeliks kiiremini kui teiste meetoditega. (Segerman, 2012) Lisaks kasutatakse 3D-printimise

tehnoloogiat valdkondades nagu ehitus, auto-, lennuki-, kosmose- ja jalatsitööstus, meditsiin, geoinfosüsteemid ning haridus (Kaur, 2012).

1.4. 3D-printerite rakendamine õppetöös

3D-printerid olid pikka aega paljudele koolidele kättesaamatud nende kõrge hinna tõttu (Andersen *et al.*, 2005). 3D-printimise tehnoloogiate ülikiire arengu tõttu on 3D-printerite hinnad tänaseks alanenud 440–1340 euronini ning need on muutunud koolidele taskukohasemaks (Thornburg, 2014). Koolid on saanud hankida 3D-printereid ka läbi erinevate projektide, näiteks mittetulundusühingu Eesti 2.0 pilootprojekti raames varustati 2015. aastal viitkümnet Eesti põhikooli ja gümnaasiumi 3D-printeriga (Eesti 2.0, 2016). 2016. aastal on Tallinna linnal plaanis hankida 3D-printerid kõikidesse, s.o viiekümne kaheksasse üldhariduskooli (Tallinna veebileht, 2016). Kuna 3D-printereid on aina rohkemates koolides, siis seisab üha rohkemate õpetajate ees väljakutse hakata neid õppe-eesmärkide saavutamiseks rakendama (Thornburg, 2014).

2005. aastal väitis Andersen *et al.* (2005), et 3D-printerite kasutamine haridusvaldkonnas on lapsekingades. Täna sel päeval, enam kui kümme aastat hiljem, pole olukord märkimisväärselt paranenud, mida illustreerib fakt, et 3D-printerite kasutamise kohta hariduses on ilmunud vaid üksikuid uurimusi. Näiteks Suurbritannia kahekümne ühe kooli seas teostatud projekti raames leiti, et 3D-printerid on suure potentsiaaliga õppevahendid, mis sobivad suurepäraselt õpilaspõhiste projektide läbiviimiseks ning suurendavad oluliselt õpilaste õpimotivatsiooni (Department for Education, 2013). Karelson (2015) magistritööst, milles uuriti 3D-printerit kasutanud õpetajate hinnanguid 3D-printeri kasutamisele õppetöös, selgus, et õpetajate hinnangul on 3D-printer koolis vajalik eeskätt õpilaste arendamiseks, huvi tõstmiseks tehnikateaduste vastu, positiivsete emotsioonide tekitamiseks ning ainetevahelise integratsiooni teostamiseks. Bioloogia õppeaine kontekstis on 3D-printerite kasutamist uurinud Andersen *et al.* (2005), kes lõi rakendusprogrammi *Growth*, mille abil õpilased saavad modelleerida näiteks puude mudeleid ning need hiljem 3D-printeriga välja printida. Keemias on mitmete molekulaarstruktuuride füüsilisi mudeleid traditsiooniliste vahenditega keerukas teha või pole võimalik neid kaubandusvõrgust soetada, mistõttu valmistasid Scalfani & Vaid (2014) spetsiaalseid molekulaarstruktuuride faile, mida saab 3D-printeriga füüsilisteks mudeliteks muuta ning keemia õpetamiseks rakendada. Casas & Estop (2015) löid seevastu kristalli mudelite faile, mida õppejõud saavad 3D-printeriga väljaprintituna vastavate teemade õpetamisel kasutada.

1.5. Füüsiliste mudelite kasutamise eelised õpetamisel

Füüsiliste mudelite, olgu need loodud 3D-printeritega või muul viisil, plussiks on asjaolu, et lisaks vaatlemisele saab neid ka käes hoida (Andersen *et al.*, 2005; Casas & Estop, 2015). Sestap on füüsilisi mudeleid võimalik uurida lõpmatutest vaatenurkadest, mis stimuleerib rohkem õppurite meeli, aidates seeläbi saada õpitavatest teemadest terviklikumat ülevaadet ja neid paremini mõista kui kahedimensiooniliste jooniste abil (Chen *et al.*, 2011). Ka Larsson & Tibell (2015) leidsid, et füüsilised mudelid aitavad kaasa õppeteemadest arusaamise paranemisele. Peale selle tõid nad välja, et füüsilised mudelid toimivad justkui „silmade avajad“ ja „mõtlemisvahendid“. Chen *et al.* (2011) uurimusest ilmnas, et 90% õppurite arvates suurendavad õppetöös kasutatavad füüsilised mudelid nende huvi õppimise vastu ning arendavad ruumilist mõtlemist. Veelgi enam, füüsilised mudelid, täpsemini 3D-kaardid on kasulikud abivahendid raske nägemispuudega või täielikult nägemise kaotanud lastele geograafia õpetamisel (Ludíková & Finková, 2012).

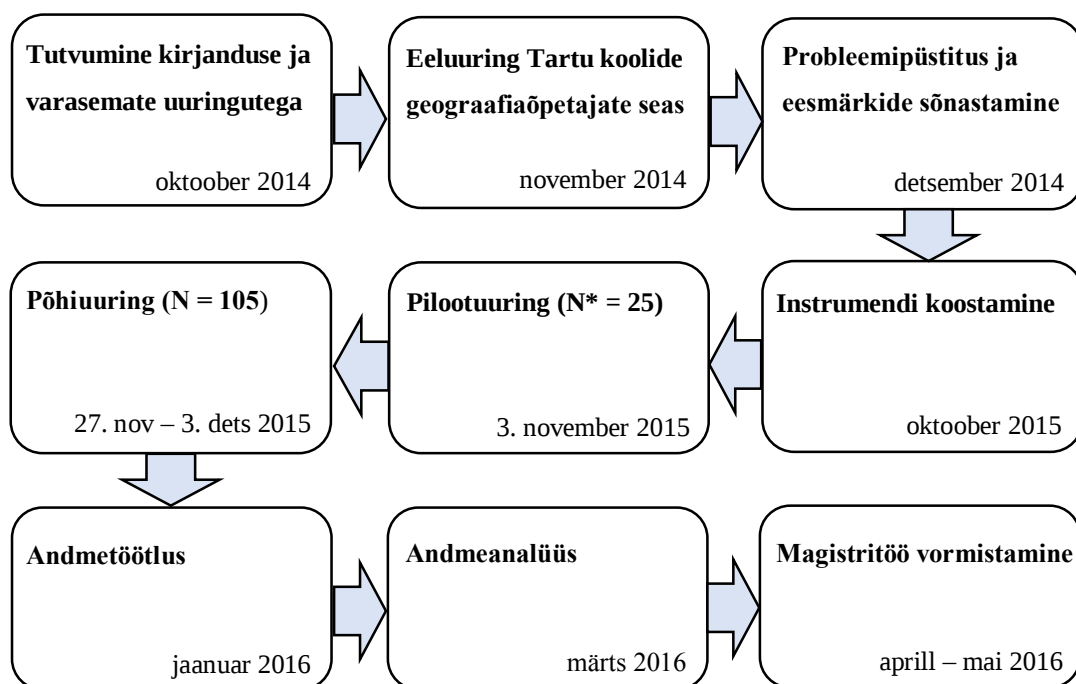
1.6. Virtuaalsete mudelite kasutamise eelised õpetamisel

Virtuaalsete, see tähendab tegelikkust reaalselt jälgendavate arvutiekraanil vaadeldavate mudelite tugevateks külgedeks on see, et neid saab hõlpsasti modifitseerida, näiteks muuta värvi või suurust (Hall & Obregon, 2002; Andersen *et al.*, 2005). Virtuaalsetel mudelitel pole suuruse piiranguid ning need võivad olla äärmiselt detailsed, kuna vaatlemisel on võimalik kasutada suumimist. Lisaks saab virtuaalseid mudeleid odavalt ja kiiresti paljundada ning teistega jagada. (Hall & Obregon, 2002) Casas & Estop (2015) sõnul on virtuaalsed mudelid digiajastu õppurite jaoks atraktiivsed õppevahendid. Seda kinnitab ka Vavra *et al.* (2011) uurimus, millest leiti, et virtuaalsed mudelid püüavad õpilaste tähelepanu, suurendavad nende õpimotivatsiooni ning tunniteemast haaratust. Kuna mitmed virtuaalsete mudelite puudused on füüsiliste mudelite eelisteks ja vastupidi, siis soovitavad Libarkin & Brick (2002) ning Andersen *et al.* (2005) kasutada õppetöös paralleelselt nii virtuaalseid kui ka füüsilisi mudeleid.

2. Metoodika

2.1. Uuringu disain

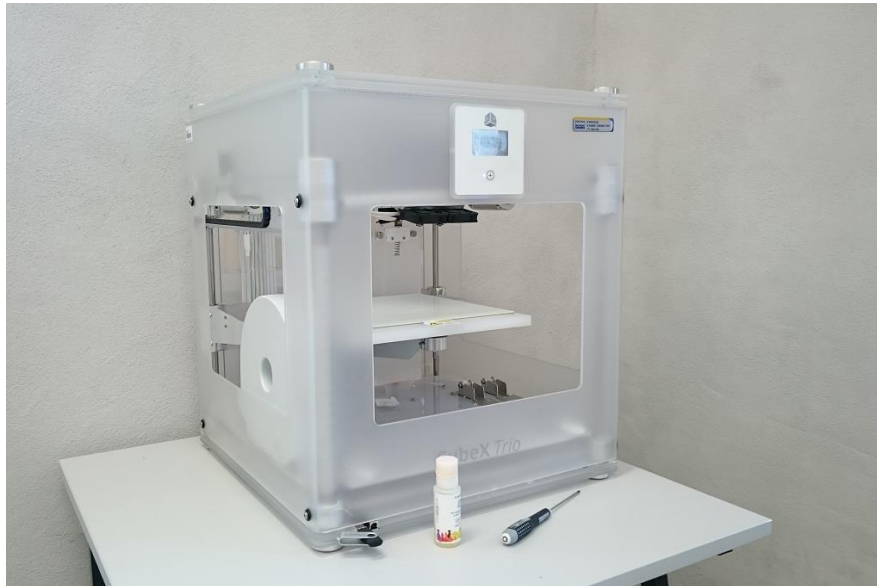
Uurimistöö koostamist alustati 2014. aasta oktoobris, mil tutvuti kirjanduse ja varasemate uuringutega (Joonis 2). Leidmaks õpilaste jaoks enim raskusi valmistav teema geograafias, mida füüsiliste ja virtuaalsete mudelite abil lahendada saaks, küsitleti e-kirja teel seitsmeteist Tartu koolide geograafiaõpetajat. Lähtuvalt 75% õpetajate arvamustest valiti uuritavaks teemaks „Pinnavormid ja pinnamood“ ning püstitati uurimisprobleem ja sõnastati eesmärgid.



Joonis 2. Uuringu disain (* N = õpilaste arv).

2015. aasta oktoobris koostati eeltestidest (I, II osa), õpistsenaariumist (III, IV osa) ja järeltestidest (V, VI osa) koosnev test. Loodi kolm sisult identset, ent õpistsenaariumis kasutatavate vahendite poolest eristuvat testi, millele tehti spikerdamise vältimiseks A ja B versioonid. Neist esimeses õpistsenaariumis olid kasutada 3D-printeriga loodud plastist kolmemõõtmelised mudelid (Lisa 1), teises samakõrgusjoontega paberist pinnamoe kaardid (Lisa 2) ning kolmandas tahvelarvutis vaadeldavad virtuaalsed kolmemõõtmelised mudelid (Lisa 3). Esmalt koostati graafilise kujunduse tarkvara *Adobe Illustrator CS6*’ga 2D-mudelite rühma õpistsenaariumis kasutatavad joonised. Seejärel loodi vabavaralise 3D-modelleerimistarkvara *Blender 2.76* abil kahemõõtmelistest joonistest kolmemõõtmelised mudelid. Füüsiliste 3D-mudelite rühma õpistsenaariumis kasutatavate mudelite välja printimiseks kasutati Tartu Ülikooli Haridusuuenduskeskuse 3D-printerit *3D Systems CubeX*

Trio (Joonis 3). Tehniliste probleemide tõttu oli paari mudeli printimiseks vaja kasutada ka Tartu Ülikooli Protokeskuse 3D-printerit *Ultimaker 2*. Virtuaalsete 3D-mudelite rühma õpistsenaariumis kasutatavate mudelite vaatlemiseks tahvelarvutites programmeeris magistritöö juhendaja Leo A. Siiman vastava rakenduse.



Joonis 3. 3D-printer 3D Systems CubeX Trio.

Ruumilise mõtlemise taseme hindamiseks vajalikud testi osad (II, VI) koostati lähtudes Vandenberg & Kuse (1978) uuringust, kus kasutati Shepard & Metzler (1971) loodud kuupidest kujundite joonised, mille Peters (1995) oli kvaliteedi parandamise eesmärgil ümberjoonistanud. Järeltesti V osas kasutati Maa-ameti Geoportaali kaardiväljavõtet (Maa-amet, 2015).

Põhiuuringule, mis leidis aset 27. novembrist – 3. detsembrini, eelnes pilootuuring, misjärel täiendati ja kohandati testi. 2016. aasta jaanuaris viidi läbi andmetöötlus ja märtsis andmeanalüüs ning töö vormistati aprillis ja mais.

2.2. Valim

Uuringu valim moodustati mugavusvalimi põhimõttel. Põhiuuring 7. klassi õpilaste hulgas viidi läbi viies Tartu linna üldhariduskoolis: Tartu Veeriku Koolis, Tartu Tamme Koolis, Tartu Erakoolis, Tartu Katoliku Hariduskeskuses ja Tartu Miina Härma Gümnaasiumis. Valim koosnes 105 õpilasest, sealjuures 51 poisist ja 54 tüdrukust vanuses 13–14 eluaastat. Valimi soolise jaotumise kohta kolme uuringualuse rühma vahel annab ülevaate tabel 1.

Tabel 1. Sooline jaotus kolmes uuringualuses rühmas.

	Tüdrukud N*	Tüdrukute osakaal %	Poisid N	Poiste osakaal %	Kokku N
Füüsiliste 3D-mudelite rühm	17	47	19	53	36
2D-mudelite rühm	20	57	15	43	35
Virtuaalsete 3D-mudelite rühm	17	50	17	50	34

*N = õpilaste arv

2.3. Instrumendid

Uuringuinstrumentidena kasutati eelteste (I, II osa), õpistsenaariumit (III, IV osa) ja järeltesti (V, VI osa). Eeltesti I osas uuriti, millised on õpilaste eelteadmised „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema kohta ja II osas keskenduti õpilaste ruumilise mõtlemise taseme analüüsile.

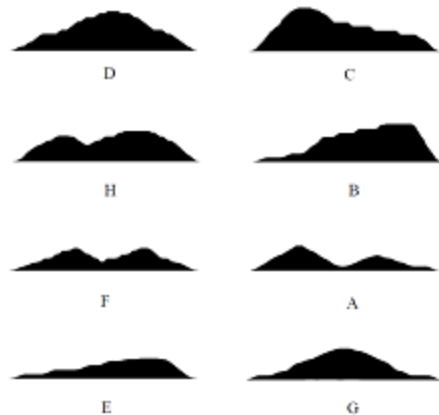
Õpistsenaariumi esimeses pooles (III osa) pidid õpilased uurima samakõrgusjoontega pinnamoe kaarte (Lisa 1, 2, 3) ja sobitama need sõltuvalt rühmast õigete 3D-printeriga loodud füüsiliste küngaste mudelite (Joonis 4), paberil küngaste külgvaadete (Joonis 5) või tahvelarvutis virtuaalsete küngaste mudelitega (Joonis 6). Pinnamoe kaardid, sealhulgas neile vastavad küngaste mudelid, loodi üksteisega võrdlemisi sarnased, et õpilased peaksid valiku tegemisel süvendatult samakõrgusjooni uurima ja sellest lähtuvalt otsuse tegema.

Sõltuvalt rühmast tuli õpilastel õpistsenaariumi teises pooles (IV osa) uurida 3D-printeriga loodud füüsilist maastikumudelit (Joonis 7), paberist samakõrgusjoontega pinnamoe kaarti (Joonis 8, Lisa 4) või tahvelarvutis virtuaalset maastikumudelit (Joonis 9) ja vastata nende põhjal küsimustele. Õpilased pidid leidma maastikumudelil või kaardil kõrgeima ja madalaima punkti, määrama kõige järsuma nõlva, otsustama jõe voolamise suuna jms. Selleks, et hinnata, kas vastus oli juhuslik või kaalutletult langetatud, tuli õpilastel kahe ülesande puhul oma vastuseid ka põhjendada. Kuna füüsiliste 3D-mudelite rühmas polnud võimalik igale õpilasele täiskomplekti 3D-mudeleid muretseda, siis pidid testi A ja B versiooni saanud õpilased pärast III osa täitmist vahetama omavahel 3D-mudeleid. Mõlemad õpistsenaariumi osad (III ja IV) hindasid sarnast nähtust, mistõttu käsitleti neid tulemuste analüüsimisel valdavalt koos.

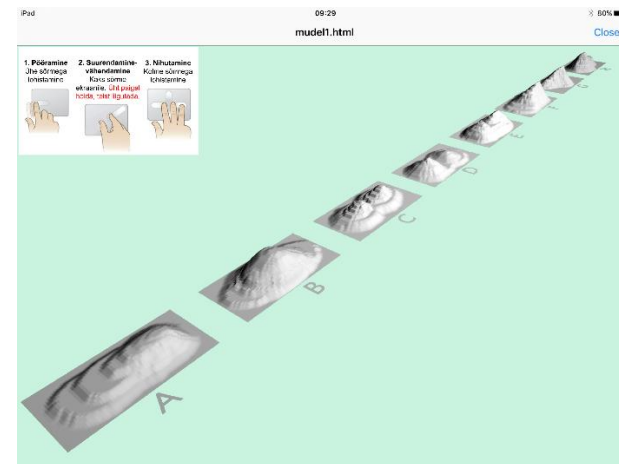
Õpistsenaariumi ülesannete koostamisel lähtuti Põhikooli riiklikust õppekavast, mille kohaselt II kooliastme läbinud õpilane oskab kirjeldada samakõrgusjoonte alusel pinnavormi kuju, nõlvade kallet ning absoluutset ja suhtelist kõrgust. Samuti peaks õpilane teadma ka mõisteid nagu küngas, org, nõlv, samakõrgusjoon, suhteline ja absoluutne kõrgus. (PRÕK, 2014)



Joonis 4. 3D-printeriga loodud küngaste modelid.



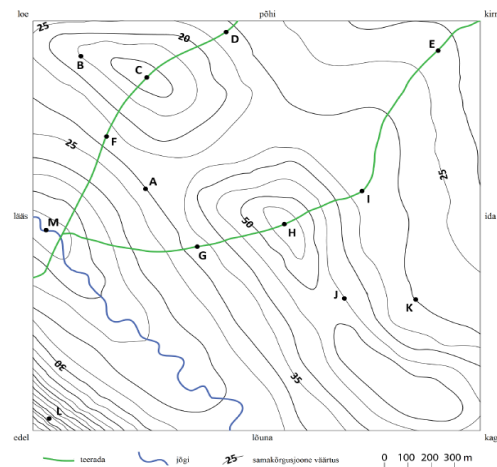
Joonis 5. Küngaste külgsuured paberil.



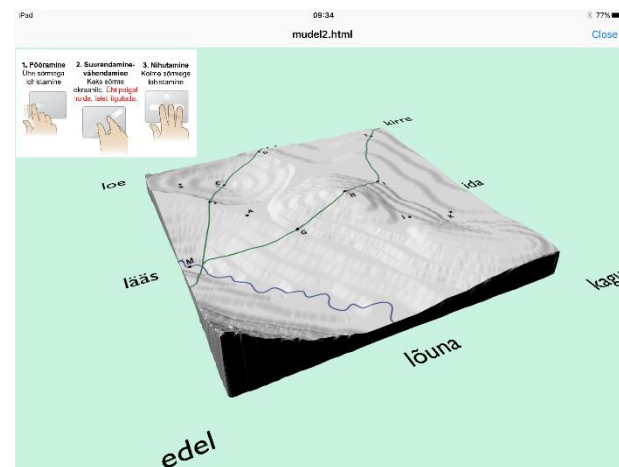
Joonis 6. Tahvelarvuti ekraanitõmmis virtuaalsetest küngaste modelitest.



Joonis 7. 3D-printeriga loodud maastikumudel.



Joonis 8. Samakõrgusjoontega paberkaart.



Joonis 9. Tahvelarvuti ekraanitõmmis virtuaalsest maastikumudelist.

Järeld testi V osas vastasid õpilased analoogsetele küsimustele nagu õpistsenaariumi IV osas, kuid seda tehti reaalselt maastikku kujutava paberkaardi põhjal (Lisa 5). Järeld testi VI osas testiti taaskord õpilaste ruumilist mõtlemist.

Instrumendi valiidsus ja reliaablus tagati järgmiste meetoditega:

- uuringus osalesid vaid 7. klassi õpilased, kes olid eelmises kooliastmes „Pinnavormide ja pinnamoe“ teemat õppinud (PRÕK, 2014) ning seega testis käsitletava ainealase sisuga tuttavad;
- 7. klassis, kus samuti uuesti pinnamoe teemat õpitakse, polnud üheski uuritavas klassis enne testi vastavat teemat läbitud;
- iga klassi õpilased jagati enne testi juhuslikult kolme rühma, pidades sealjuures silmas soolist tasakaalu;
- rühmad asetsesid klassis üksteisest eraldatult, peamiselt erinevates pingiridades;
- enne testi täitma asumist tutvustati õpilastele põgusalt uuringu eesmärgi ja juhendit. Testi täitsid õpilased individuaalselt;
- iga testi osa lahendamiseks oli ette nähtud kindel maksimaalne aeg, mis oli kirjas ka töökäsus. Igale testi osale järgnes STOPP-leht, mis tuletas õpilastele meelde mitte asuda järgmist osa lahendama enne kui sellest märku antakse. Põhiuuring vältas 45 minutit;
- testi viisid läbi käesoleva töö autor koos juhendajaga ning lisaks viibis klassis ka õpetaja.

Enne põhiuuringut teostati pilootuuring Tartu Mart Reiniku Kooli kahekümne viie 7. klassi õpilase seas, kes ei osalenud käesolevas uuringus. Pilootuuringust saadud tagasiside põhjal muudeti testi erinevate osade tegemisele kuluvat maksimaalset aega, täiendati õpilaste jaoks arusaamatuks jäänud töökäske, lisati testide pealkirjadele numbrid, et jaotamisel ja parandamisel erinevaid rühmi hõlpsamini identifitseerida, ning korrastati kuupidest koosnevate kujundite järjekorda testi II ja VI osas.

2.4. Andmeanalüüs

Andmehalduseks kasutati *Microsoft Excel'i 2013* ja andmeanalüüsiks *Dell Statistica 13.0* programmi. Uuritavate rühmade tulemuste analüüsimiseks leiti statistilised suurused nagu aritmeetiline keskmine, standardhälve, õigete vastuste esinemine protsentides ja koostati sagedusjaotused. Statistiliselt oluliste (p) erinevuste kindlaks tegemiseks rühmade ning rühmasiseselt poiste ja tüdrukute vahel kasutati ühefaktorilist dispersioonanalüüsi (*one-way*

ANOVA) või Student'i t-testi. Juhul kui konkreetse rühma tulemuste sagedusjaotus ei vastanud normaaljaotusele, mida kontrolliti Shapiro-Wilk'i testiga, siis rakendati mitteparameetrilist Kruskal-Wallise või Mann-Whitney U-testi. Kui Kruskal-Wallise testist ilmnes, et statistiliselt oluline erinevus rühmade vahel eksisteerib, siis selgitati Mann-Whitney U-testi abil välja rühmad, mille vahel statistiliselt oluline erinevus ilmneb. Statistiliselt olulise erinevuse kriteeriumiks kõikide testide puhul oli $p < \alpha$, kus α on 0,05.

3. Tulemused

3.1. Eeltestide tulemused

Eeltesti I osast ehk eelteadmiste testist selgus, et füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite ja virtuaalsete 3D-mudelite rühma aritmeetiline keskmine on suhteliselt sarnane (3,15 punkti (p), 2,74 p ja 3,18 p) (Tabel 2). Kruskal-Wallise test kinnitas samuti, et kolme rühma tulemuste vahel puudub statistiliselt oluline erinevus ($H = 3,13$; $p > 0,05$). Võrreldes eraldi poiste ja tüdrukute tulemusi kolmes uuritavas rühmas nähtus, et poiste aritmeetiline keskmine varieerus $2,73 (\pm 1,16)$ punktist 2D-mudelite rühmas kuni $3,41 (\pm 1,23)$ punktini virtuaalsete 3D-mudelite rühmas ning tüdrukutel $2,75 (\pm 1,29)$ punktist 2D-mudelite rühmas kuni $3,23 (\pm 1,25)$ punktini füüsiliste 3D-mudelite rühmas. Kruskal-Wallise testi tulemused poiste ($H = 3,42$; $p > 0,05$) ja ühefaktoriaalse dispersioonanalüüsi tulemused tüdrukute ($F_{2,51} = 0,66$; $p > 0,05$) puhul kinnitavad, et nii poiste kui ka tüdrukute lõikes kolme rühma vahel statistiliselt olulist erinevust ei esine. Seega olid kolme rühma õpilased eelteadmiste poolest omavahel võrreldavad.

Tabel 2. Eeltestide tulemused rühmade võrdluses.

INSTRUMENT	GRUPP	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		2D-MUDELITE RÜHM		VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	
		K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)	K (p)	SH (p)
I osa: eelteadmiste test**	Kokku	3,16	1,23	2,74	1,22	3,18	1,27
	Poisid	3,10	1,24	2,73	1,16	3,41	1,23
	Tüdrukud	3,23	1,25	2,75	1,29	2,94	1,29
II osa: ruumilise mõtlemise eeltest***	Kokku	4,80	2,15	4,46	2,10	4,62	2,13
	Poisid	5,05	2,07	5,93	1,62	5,23	1,79
	Tüdrukud	4,53	2,27	3,35	1,72	4,00	2,32

* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve ** max 5 p *** max 7 p

Poiste ja tüdrukute tulemuste rühmade sisene võrdlus näitas, et füüsiliste 3D-mudelite ja 2D-mudelite rühmas olid poiste ja tüdrukute aritmeetilised keskmised põhimõtteliselt võrdsed (Tabel 3). Virtuaalsete 3D-mudelite rühmas oli poiste aritmeetiline keskmine ($3,41 \pm 1,23$ p) suurem kui tüdrukutel ($2,94 \pm 1,30$ p), kuid vaatamata sellele ei ilmnenud statistiliselt olulist erinevust noormeeste ja neidude tulemuste vahel. Eelmainitut kinnitas ka Student'i t-test ($T = 1,26$; $p > 0,05$), mis näitas ka seda, et füüsiliste 3D-mudelite ($T = -0,31$; $p > 0,05$) ja

2D-mudelite ($T = -0,04$; $p > 0,05$) rühmades poiste ja tüdrukute tulemuste vahel statistiliselt olulist erinevust ei ole.

Tabel 3. Eeltestide tulemused võrreldes poisse ja tüdrukuid rühmiti.

INSTRUMENT	POISID		TÜDRUKUD	
	K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)
FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM				
I osa: teadmiste test	3,10	1,24	3,23	1,25
II osa: ruumilise mõtlemise eeltest	5,05	2,06	4,53	2,26
2D-MUDELITE RÜHM				
I osa: teadmiste test	2,73	1,16	2,75	1,29
II osa: ruumilise mõtlemise eeltest	5,93	1,62	3,35	1,72
VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM				
I osa: teadmiste test	3,41	1,23	2,94	1,30
II osa: ruumilise mõtlemise eeltest	5,23	1,79	4,00	2,32

* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve

Eeltesti II osast ehk ruumilise mõtlemise eeltestist selgus, et õpilaste aritmeetilised keskmised füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas märkimisväärselt ei erine (4,80 p, 4,46 p ja 4,62 p) (Tabel 2). Ka Kruskal-Wallise testi tulemused ($H = 0,62$; $p > 0,05$) tõestasid kolme rühma tulemuste vahel statistiliselt olulise erinevuse puudumist. Võrreldes poiste ja tüdrukute aritmeetilisi keskmisi kolmes uuritavas rühmas selgus, et poistel on see statistiline suurus füüsiliste 3D-mudelite rühmas 5,05 p; 2D-mudelite rühmas 5,93 p ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas 5,23 p ning tüdrukutel vastavalt 4,53 p, 3,35 p ja 4,00 p. Kruskal-Wallise testi tulemused kinnitasid, et nii poiste ($H = 2,35$; $p > 0,05$) kui ka tüdrukute ($H = 2,73$; $p > 0,05$) lõikes kolme rühma vahel statistiliselt olulist erinevust ei esine. Niisiis olid kolme rühma õpilased ruumilise mõtlemise taseme poolest võrreldavad.

Poiste ja tüdrukute rühmade sisene tulemuste võrdlus näitas, et poiste aritmeetiline keskmine on füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas parem kui tüdrukutel (Tabel 3). Statistiliselt olulist erinevust poiste ja tüdrukute tulemuste vahel näitas Mann-Whitney U-test siiski vaid 2D-mudelite rühmas ($U = 36,00$; $p < 0,05$). Füüsiliste 3D-mudelite ($U = 142,50$; $p > 0,05$) ja virtuaalsete 3D-mudelite ($U = 102,50$; $p > 0,05$) rühmas statistiliselt olulist erinevust ei esinenud.

3.2. Õpistsenaariumi tulemused

Tulemustest selgus, et füüsilisi 3D-mudeleid kasutanud õpilaste rühm saavutas õpistsenaariumis kõrgeima aritmeetilise keskmise tulemuse ($18,92 \pm 1,57$ p). Järgnesid virtuaalsete 3D-mudelite ($15,47 \pm 3,53$ p) ja 2D-mudelite rühm ($10,86 \pm 4,29$ p). Kruskal-Wallise test näitas, et kolme rühma vahel esines statistiliselt oluline erinevus ($H = 57,51$; $p < 0,05$). Mann-Whitney U-testiga selgitati välja, et statistiliselt oluline erinevus esines kõikide rühmade vahel (Lisa 6). Poiste ja tüdrukute aritmeetilisi keskmisi kolmes uuritavas rühmas võrreldes selgus, et soost olenemata saavutasid õpilased parima tulemuse füüsilisi 3D-mudeleid kasutades ning halvimal olid tulemused 2D-mudelite abil ülesandeid täites (Tabel 4). Kruskal-Wallise test kinnitas poiste ($H = 25,09$; $p < 0,05$) ja tüdrukute ($H = 32,14$; $p < 0,05$) lõikes kolme rühma vahelist statistiliselt olulist erinevust. Mann-Whitney U-testi abil selgus, et statistiliselt oluline erinevus esines nii poiste kui ka tüdrukute arvestuses kõikide rühmade vahel (Lisa 6).

Tabel 4. Õpistsenaariumi tulemused rühmade võrdluses.

INSTRUMENT	GRUPP	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		2D-MUDELITE RÜHM		VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	
		K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)	K (p)	SH (p)
III + IV osa: ülesanne 1 ja 2**	Kokku	18,92	1,57	10,86	4,29	15,47	3,53
	Poisid	18,84	1,80	11,33	4,06	15,82	3,38
	Tüdrukud	19,00	1,32	10,50	4,52	15,12	3,76

* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve ** max 21 p

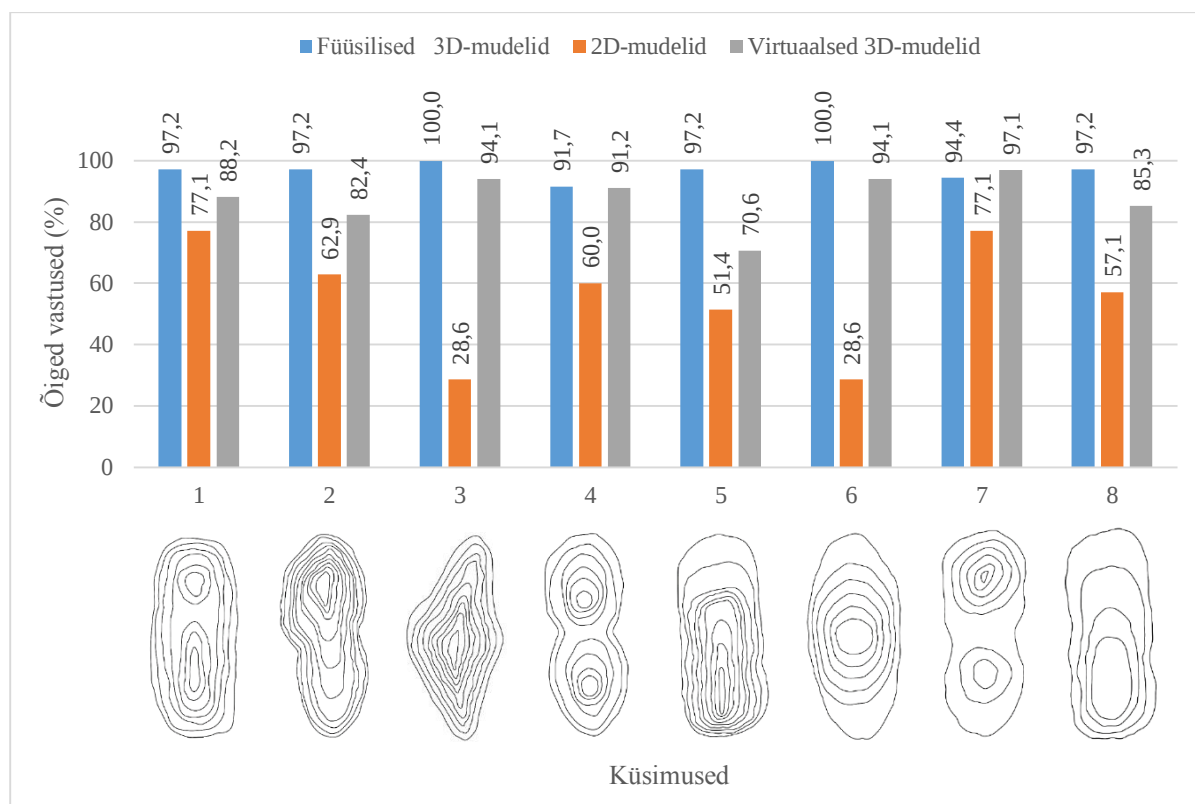
Tabel 5. Õpistsenaariumi tulemused võrreldes poisse ja tüdrukuid rühmiti.

INSTRUMENT	POISID		TÜDRUKUD	
	K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)
FÜÜSILISED 3D-MUDELID				
III + IV osa: ülesanne 1 ja 2	18,84	1,80	19,00	1,32
2D-MUDELID				
III + IV osa: ülesanne 1 ja 2	11,33	4,06	10,50	4,52
VIRTUAALSED 3D-MUDELID				
III + IV osa: ülesanne 1 ja 2	15,82	3,38	15,12	3,76

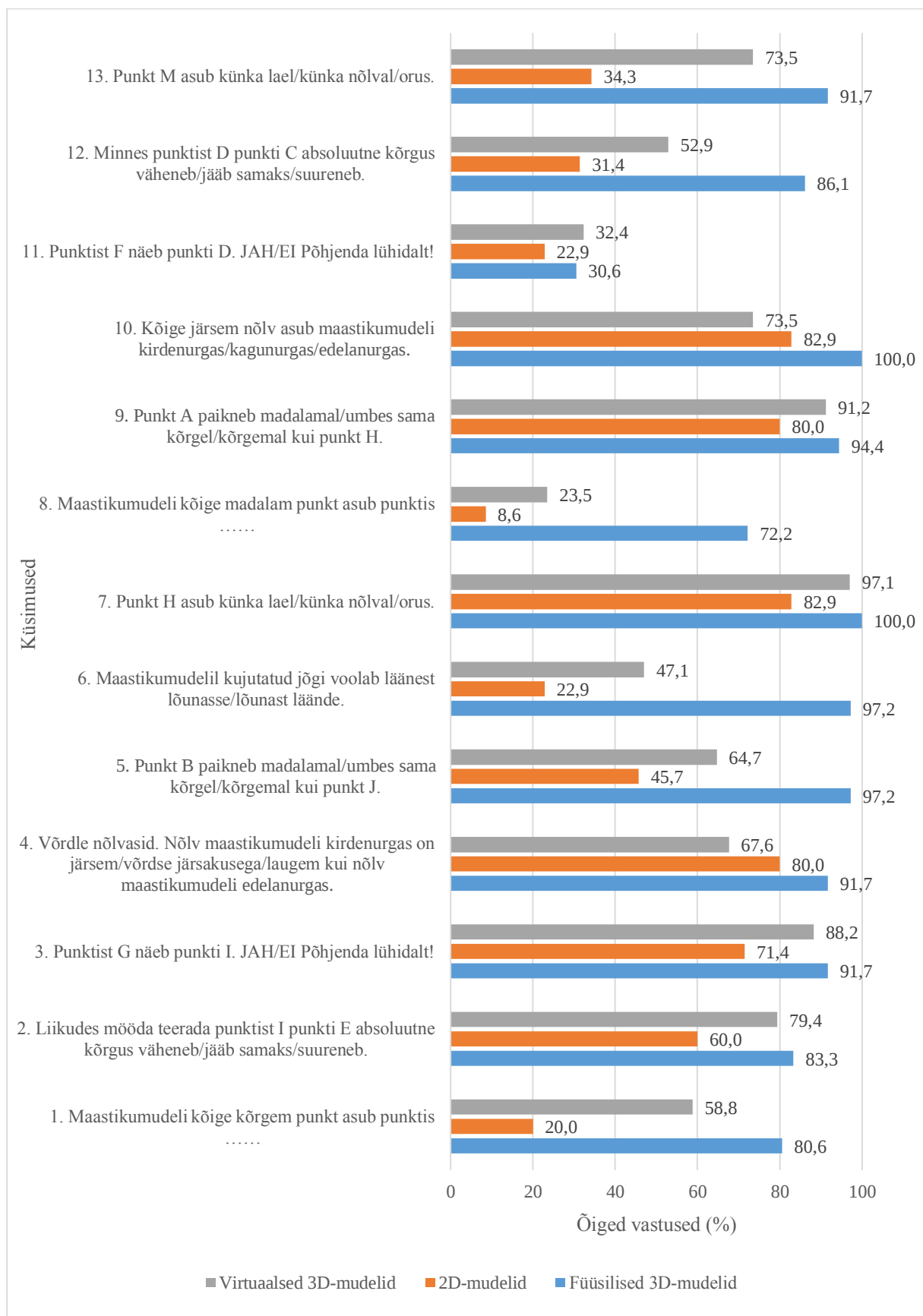
* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve

Tabel 5 annab ülevaate, et poiste ja tüdrukute aritmeetilised keskmised rühmade siseselt oluliselt ei erinenud. Mann-Whitney U-test füüsiliste 3D-mudelite ($U = 159,00$; $p > 0,05$) ja virtuaalsete 3D-mudelite ($T = 0,56$; $p > 0,05$) rühmas ning Student'i t-test 2D-mudelite ($U = 132,00$; $p > 0,05$) rühmas kinnitasid, et statistiliselt olulist erinevust tüdrukute ja poiste tulemuste vahel ei ilmne.

Õpistsenaariumi esimesest poolest ehk testi III osast selgus, et kõige edukamalt leidsid samakõrgusjoontega pinnamoe kaartidele vasteid õpilased rühmast, kus oli kasutada füüsilised 3D küngaste modelid (Joonis 10). Õigete vastuste protsent kaheksa küsimuse juures jääb selles rühmas vahemikku 91,7–100%. Virtuaalseid 3D küngaste mudeleid kasutanud rühma tulemused on mõnevõrra halvemad, ent siiski ligilähedased füüsiliste 3D-mudelite rühma tulemustega. Kaheksa küsimuse puhul on õigete vastuste protsentuaalne vahemik 70,6–97,1%. Kõige nõrgemaid tulemusi saadi rühmas, mille õpilastel oli vaja samakõrgusjoontega pinnamoe kaartidele leida õiged vasted küngaste külgsaadete seast. Selles rühmas jääb kaheksa küsimuse õigete vastuste protsent vahemikku 28,6–77,1%. Kaheksast küsimusest seitsme puhul oli õigesti vastanute protsent kolme rühma võrdluses kõige suurem füüsiliste 3D-mudelite rühmas.



Joonis 10. Õpistsenaariumi esimese poole tulemused rühmiti (küsimuste järjekord lähtub füüsiliste 3D-mudelite rühma III osa A variandist).



Joonis 11. Õpistsenaariumi teise poole tulemused rühmiti (küsimuste järjekord lähtub füüsiliste 3D-mudelite rühma III osa A variandist).

Õpistsenaariumi teisest poolest ehk testi IV osast selgus, et kolmeteistkümnest küsimusest kaheteistkümne korral on õigesti vastanute protsent kolme rühma võrdluses kõige kõrgem füüsiliste 3D-mudelite rühmas (Joonis 11). Vaid üheteistkümnenenda küsimuse puhul on õigeid vastuseid protsentuaalselt kõige rohkem virtuaalsete 3D-mudelite rühmas (32,4%). Kolmeteistkümnest küsimusest üheteistkümne puhul oli õigesti vastanute protsent kolme rühma võrdluses madalaim 2D-mudelite rühmas. Neljanda ja kümnenenda küsimuse korral oli õigesti vastanute protsent madalaim virtuaalsete 3D-mudelite rühmas. Ühes neist pidid õpilased võrdlema kahe nõlva järsakust maastikumudelil/kaardil ning teises leidma, millises maastikumudeli/kaardi osas asub järsim nõlv. Suurim vahe kahe rühma tulemuste vahel ilmnes kuuenda küsimuse puhul, kus uuriti, mis ilmakaare suunas jõgi maastikumudelil/kaardil voolab. Füüsiliste 3D-mudelite rühma õpilastest vastas küsimusele õigesti 97,2%, kuid 2D-mudelite rühma õpilastest kõigest 22,9%. Seevastu kümnenenda ja seitsmenda küsimuse korral oli füüsiliste 3D-mudelite rühmas õigesti vastanute protsent koguni 100%. Kümnenendas küsimuses pidid õpilased määrama maastikumudelil/kaardil kõige järsuma nõlva ja seitsmendas küsimuses otsustama kõrgeima punkti asukoha. Kolmeteistkümne küsimuse seas kõige vähem õigeid vastuseid (8,6%) anti 2D-mudelite rühmas küsimusele, milles tuli märkida maastikumudeli/kaardi madalaim punkt.

3.3. Järeldestide tulemused

Järeldesti V osast ehk kaardilugemise oskuste testist ilmnas, et aritmeetiline keskmine füüsiliste 3D-mudelite rühmas on 8,36 ($\pm 1,74$) p, 2D-mudelite rühmas 7,11 ($\pm 2,55$) p ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas 7,85 ($\pm 2,07$) p (Tabel 6). Hoolimata nende tulemuste suhteliselt suurest erinevusest näitas Kruskal-Wallise test siiski, et statistiliselt olulist erinevust rühmade vahel ei esine ($H = 4,46$; $p > 0,05$). Võrreldes eraldi poiste ja tüdrukute tulemusi kolmes uuritavas rühmas selgus, et poiste aritmeetiline keskmine varieerus 7,27 ($\pm 2,31$) p-st 2D-mudelite rühmas kuni 8,37 ($\pm 1,74$) p-ni füüsiliste 3D-mudelite rühmas ning tüdrukutel 7,00 ($\pm 2,77$) p-st 2D-mudelite rühmas kuni 8,35 ($\pm 1,80$) p-ni füüsiliste 3D-mudelite rühmas. Kruskal-Wallise testi tulemused kinnitasid nii poiste ($H = 1,79$; $p > 0,05$) kui ka tüdrukute ($H = 2,48$; $p > 0,05$) tulemuste lõikes kolme rühma vahel statistiliselt olulise erinevuse puudumist.

Tabel 6. Järeldestide tulemused rühmade võrdluses.

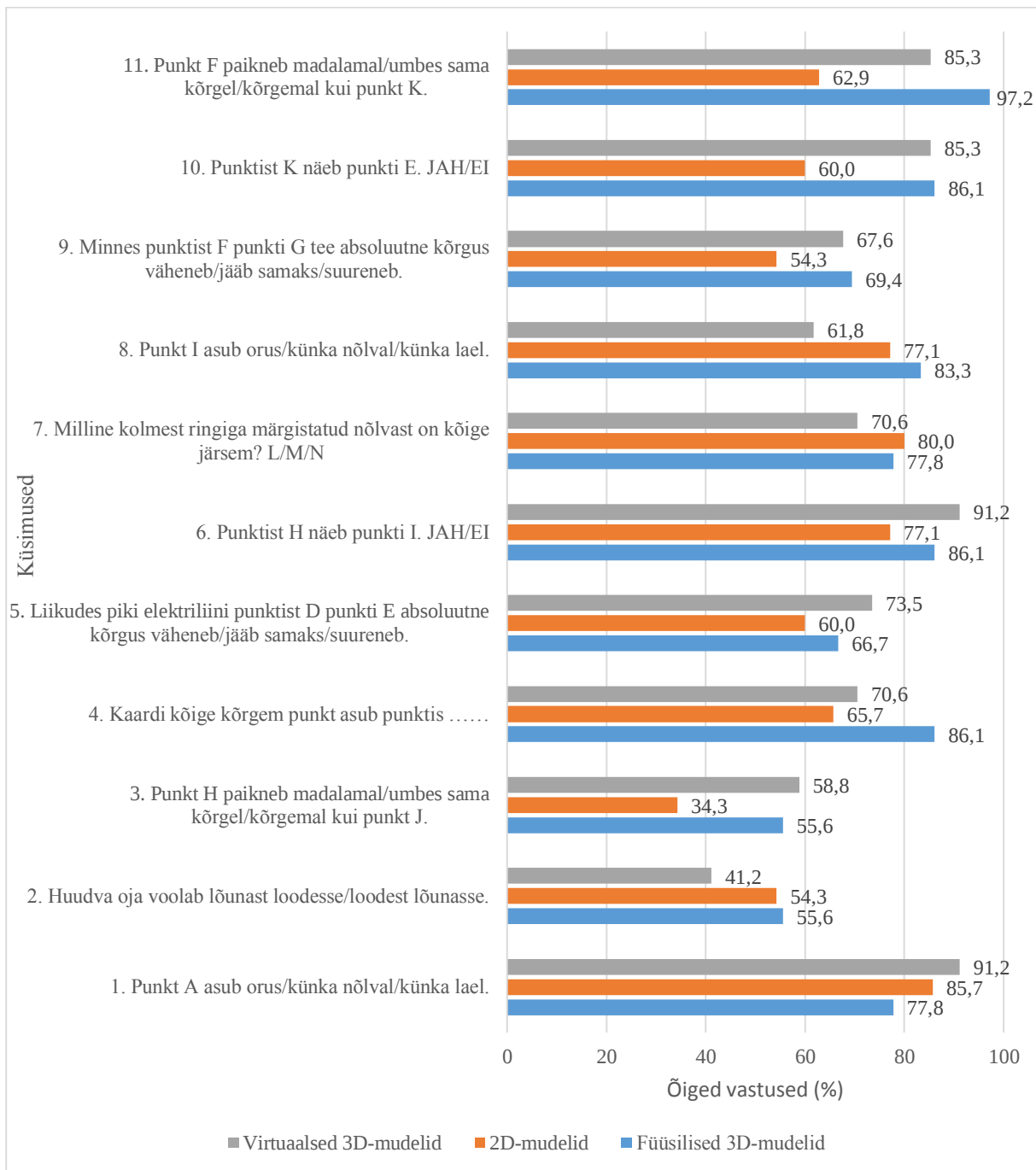
INSTRUMENT	GRUPP	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		2D-MUDELITE RÜHM		VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	
		K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)	K (p)	SH (p)
V osa: kaardilugemise oskuste test**	Kokku	8,36	1,74	7,11	2,55	7,85	2,07
	Poisid	8,37	1,74	7,27	2,31	7,82	2,35
	Tüdrukud	8,35	1,80	7,00	2,77	7,88	1,83
VI osa: ruumilise mõtlemise järeldest***	Kokku	4,66	1,87	3,94	2,18	4,59	2,38
	Poisid	4,95	1,71	4,60	2,13	5,35	2,29
	Tüdrukud	4,35	2,03	3,45	2,14	3,82	2,27

* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve ** max 11 p *** max 7 p

Võrreldes poiste ja tüdrukute tulemusi rühmade siseselt selgus, et füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas olid aritmeetilised keskmised tulemused üksteisele väga sarnased (Tabel 7). Mann-Whitney U-test füüsilise 3D-mudelite ($U = 161,50$; $p > 0,05$) ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas ($U = 135,50$; $p > 0,05$) ning Student'i t-test 2D-mudelite rühmas ($T = 0,30$; $p > 0,05$) kinnitasid statistiliselt olulise erinevuse puudumist poiste ja tüdrukute tulemustes.

V osa ehk kaardilugemise testi tulemuste uurimisel küsimuste kaupa selgus, et erinevates rühmades on õpilased küsimustele võrdlemisi sarnaselt vastanud (Joonis 12). Protsentuaalselt

kõige vähem õigeid vastuseid anti küsimustele number 2 ja 3. Sajaprotsendiliselt õigesti ei vastanud küsimustele mitte ühegi rühma õpilased.



Joonis 12. Kaardilugemise oskuste testi ehk järeltesti V osa tulemused rühmiti.

Järeltesti VI osast ehk ruumilise mõtlemise järeltestist nähtus, et õpilaste aritmeetilised keskmised füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas on vastavalt 4,66 p, 3,94 p ja 4,59 p (Tabel 6). Kõrvutades ruumilise mõtlemise eeltesti (Tabel 2) tulemusi järeltestiga, selgub et aritmeetilised keskmised on igas rühmas madalamad ning erinevused rühmade vahel suurenenud. Kruskal-Wallise testi näitas, et kolme rühma tulemuste

vahel siiski statistiliselt olulist erinevust ei esine ($H = 2,60$; $p > 0,05$). Võrreldes poiste ja tüdrukute aritmeetilisi keskmisi tulemusi kolmes uuritavas rühmas selgus, et poistel oli see füüsiliste 3D-mudelite rühmas 4,95 p, 2D-mudelite rühmas 4,60 p ja virtuaalsete 3D-mudelite rühmas 5,35 p ning tüdrukutel vastavalt 4,35 p, 3,45 p ja 3,82 p. Kõrvutades ruumilise mõtlemise eeltesti (Tabel 2) tulemusi järeltestiga poiste ja tüdrukute arvestuses ilmneb, et aritmeetilised keskmised on poiste hulgas mõnevõrra kõrgemad virtuaalsete 3D-mudelite rühmas ning tüdrukutel 2D-mudelite rühmas. Kruskal-Wallise testi tulemused poiste ($H = 2,34$; $p > 0,05$) ja dispersioonianalüüsi tulemused tüdrukute ($F_{2,51} = 0,81$; $p > 0,05$) puhul kinnitasid, et ruumilise mõtlemise järeltestis noormeeste ja neiude lõikes kolme rühma vahel siiski statistiliselt olulist erinevust ei esine. Seega ei avaldanud õpistsenaariumis kasutatud vahendid õpilaste, sealhulgas poiste ja tüdrukute ruumilise mõtlemise tasemele mõju.

Tabel 7. Järeltestide tulemused võrreldes poisse ja tüdrukuid rühmiti.

INSTRUMENT	POISID		TÜDRUKUD	
	K* (p)	SH* (p)	K (p)	SH (p)
FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM				
V osa: kaardilugemise oskuste test	8,37	1,74	8,35	1,80
VI osa: ruumilise mõtlemise järeltest	4,95	1,71	4,35	2,03
2D-MUDELITE RÜHM				
V osa: kaardilugemise oskuste test	7,27	2,31	7,00	2,77
VI osa: ruumilise mõtlemise järeltest	4,60	2,13	3,45	2,14
VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM				
V osa: kaardilugemise oskuste test	7,82	2,35	7,88	1,83
VI osa: ruumilise mõtlemise järeltest	5,35	2,29	3,82	2,27

* K – aritmeetiline keskmine, SH – standardhälve

Poiste ja tüdrukute tulemusi rühmade siseselt vaadeldes selgus, et poiste seas on aritmeetiline keskmine parem nii füüsiliste 3D-mudelite, 2D-mudelite kui ka virtuaalsete 3D-mudelite rühmas (Tabel 7). Virtuaalsete 3D-mudelite rühmas näitas Mann-Whitney U-test poiste ja tüdrukute vahel samuti statistiliselt olulist erinevust ($U = 82,00$; $p < 0,05$). Füüsiliste 3D-mudelite ($T = 0,95$; $p > 0,05$) ja 2D-mudelite ($T = 1,58$; $p > 0,05$) rühmas Student'i t-test statistiliselt olulist erinevust ei näidanud.

4. Arutelu ja järeldused

Magistritööst selgus, et õpistsenaariumi „Pinnavormid ja pinnamood“ tulemused nii kolme uurimisaluse rühma ($H = 57,51$; $p < 0,05$) vahel kui ka eraldi poiste ($H = 25,09$; $p < 0,05$) ja tüdrukute ($H = 32,14$; $p < 0,05$) arvestuses kolme rühma vahel erinesid statistiliselt oluliselt. Kõige paremini sooritasid õpistsenaariumi õpilased, sealhulgas poisid ja tüdrukud rühmas, kus kasutati füüsilisi 3D-mudeleid ning kõige halvemaid tulemusi saadi 2D-mudelite abil testi täites. Füüsiliste 3D-mudelite rühma väga hea sooritus on kooskõlas Chen *et al.* (2011) uurimusega, milles leiti, et kuna füüsilisi mudeleid on võimalik käes hoides vaadelda, siis stimuleerivad need rohkem õppurite meeli kui 2D-mudelid ja hõlbustavad seeläbi õppeteemade mõistmist. Ka Larsson & Tibell (2015) kohaselt aitavad füüsilised mudelid õpitavatest teemadest paremini aru saada. Virtuaalseid 3D-mudeleid kasutanud õpilaste, sealhulgas poiste ja tüdrukute sooritus erines statistiliselt oluliselt kahe teise uurimisaluse rühma sooritusest. Virtuaalseid 3D-mudeleid kasutanud rühma märkimisväärselt paremaid tulemusi saab põhjendada sellega, et võrreldes 2D-mudelitega suudavad virtuaalsed 3D-mudelid edukamalt õpilaste tähelepanu püüda (Vavra *et al.*, 2011). Kahtlemata on see õppimise juures äärmiselt oluline aspekt, mis mõjutab teemadest arusaamist ja seetõttu ka õpitulemusi.

Nii õpistsenaariumi esimese (III osa) kui ka teise poole (IV osa) tulemused kinnitavad statistilistes testides leitud. Samakõrgusjoontega pinnamoe kaartidele leidsid kõige vähem õigeid vasteid 2D-mudelite rühma õpilased. Seevastu kõige paremini sooritasid testi õpilased, kellel olid kasutada füüsilised 3D kungaste mudelid. Siiski, ühe küsimuse puhul oli virtuaalsete 3D-mudelite rühmas paari protsendi võrra rohkem õigeid vastuseid. Usutavasti on tegemist juhusliku kõrvalekaldega, mille põhjendamiseks käesoleva uurimuse andmetest paraku ei piisa. Mõningaid kõrvalekaldeid oodatust esines veelgi. Esiteks selgus, et küsimusele, kus uuriti, kas punktist F näeb punkti D (Joonis 11), vastati kõige korrektsemalt virtuaalsete 3D-mudelite rühmas. Vastav küsimus valmistas probleeme kõigis kolmes rühmas. Arvatavasti tingis selle asjaolu, et õpilased pidid enda vastust põhjendama, mis aga enamikul ei õnnestunud. Teiseks, kahes nõiava järsakusega seotud küsimuse puhul oli kõige madalam õigesti vastanute osakaal virtuaalsete 3D-mudelite rühmas. Võib oletada, et virtuaalse 3D-mudeliga oli nõiava kallet keerulisem kindlaks määrata kui füüsiliste 3D-mudelite või paberkaardil kujutatud samakõrgusjoonte abil. Kolmandaks, kõige suurem erinevus kahe rühma tulemuste vahel ilmnes küsimusest, mis uuris jõe voolamise suunda. Näiteks füüsiliste 3D-mudelite rühma õpilastest vastas küsimusele õigesti 97,2%, kuid 2D-mudelite rühmast üle nelja korra vähem õpilasi. Tõenäoliselt on samakõrgusjooni paberkaardil oluliselt raskem interpreteerida kui

füüsilist 3D-maastikumudelit. Seda kinnitab ka leitu, et 2D-mudeli põhjal kaardil madalaima punkti leidjaid oli umbes kaheksa korda vähem kui neid, kes määrasid selle kolmedimensionaalse maastikumudeli abil. Neid tulemusi toetab ka Wiegand & Stiell (1997) uurimus, mille kohaselt on õpilastel raskusi reljeefikaartide lugemisega. Õpistsenaariumis poiste ja tüdrukute tulemused rühmade kaupa statistiliselt oluliselt ei erinenud, ja seega soolisi iseärasusi ei ilmnunud. Sellest järeldub, et poisid ja tüdrukud valiti uurimusse juhuslikult ning nende ettevalmistus koolis on võrdväärne.

Erinevate vahendite nagu füüsiliste ja virtuaalsete 3D-mudelite ning 2D-mudelite kasutamine õpistsenaariumis ei avaldanud ühegi rühma õpilaste ($H = 4,46; p > 0,05$), sealhulgas poiste ($H = 1,79; p > 0,05$) ja tüdrukute ($H = 2,48; p > 0,05$) kaardilugemise oskustele märkimisväärset mõju. Vastavat tulemust võib argumenteerida sellega, et õpilased puutusid potentsiaalselt arendavate vahenditega (füüsilised ja virtuaalsed 3D-mudelid) kokku liiga lühikese aja jooksul, mistõttu ei jõudnud need testi tegijate ruumilist mõtlemist piisaval määral arendada. Poiste ja tüdrukute tulemustes rühmade kaupa statistiliselt olulisi erinevusi ei esinenud, mis osutab samuti sooliste erinevuste puudumisele.

Võrreldes eeltestiga ei paranenud õpilaste, sealhulgas poiste ja tüdrukute ruumilise mõtlemise tase järeltestis üheski uurimiseluses rühmas. Kuna õpistsenaarium kestis kõigest 20 minutit, siis on see samuti tõenäoliselt liiga lühike aeg oodatud muutuste ilmnemiseks. Lisaks võib uurimustulemusi mõjutada ka see, et ruumilise mõtlemise hindamine leidis aset vahetult pärast õpistsenaariumi. Teisalt koguni $\frac{2}{3}$ ruumilist mõtlemist käsitletud uurijatest on rakendanud sarnast meetodikat (Uttal *et al.*, 2013). Muuhulgas olid õpilaste keskmised testitulemused järeltestis üldiselt mõnevõrra nõrgemad kui eeltestis. Põhjuseks võib olla ruumilise mõtlemise järeltesti keerukus. Ruumilise mõtlemise testide analüüsil selgus, et magistritöö autor oli järeltesti lisanud rohkem keerulisi kujundeid kui eeltesti (Voyer & Hou, 2006; Caissie *et al.*, 2009). Tulevikus analoogset uurimust läbi viies tuleb vastavat aspekti korrektsema analüüsi huvides silmas pidada. Rühmiti poiste ja tüdrukute ruumilise mõtlemise testide tulemusi vaadeldes selgus, et üksnes 2D-mudelite eeltestis ja virtuaalsete 3D-mudelite järeltestis esines statistiliselt oluline erinevus. Mõlemal juhul olid poiste tulemused paremad. See toetab varasemates teadusuuringutes saadud tulemusi, et poisid on ruumilise mõtlemise poolest paremad kui tüdrukud (Linn & Petersen, 1985).

Kahedimensioonilised kaardid on ja jäävad tõenäoliselt ka tulevikus mitmetele spetsialistidele vajalikeks töövahenditeks. Sestap on oluline anda õpilastele edasi oskust, kuidas kujutada

kolmemõõtmelist maailma ette kahemõõtmelisena ja vastupidi. Kui käesoleva uurimuse raames moodustati kolm rühma, millest igas oli õpilastel kasutada erinevad õppevahendid, siis koolisituatsioonis võiksid õpetajad võimaluse korral õppetöös rakendada samaaegselt nii füüsilisi kui ka virtuaalseid 3D-mudeleid, mida on oma uurimustes välja toonud ka Libarkin & Brick (2002) ning Andersen *et al.* (2005). Enesestmõistetavalt ei tohiks nende 3D-mudelite juurest puududa ka paberkaardid. Siiski tuleb möönda, et magistritöö autori kogemuse põhjal on füüsiliste 3D-mudelite loomine märkimisväärselt keerulisem ja aeganõudvam kui virtuaalsete 3D-mudelite valmistamine, mis annab nutiseadmetes vaadeldavate mudelite kasutamisele mõningase eelise. Kui õpilased ise füüsiliste 3D-mudelite valmistamisprotsessis osaleksid, arendaks see usutavasti nii laste ruumilist mõtlemist kui ka paljusid teisi oskusi ning säästaks muuhulgas õpetaja aega. Näiteks võiksid õpilased Karelson (2015) järgi ühes õppeaines objekti joonestada, teises modelleerida ja 3D-printida ning kolmandas seda õppeeesmärkide realiseerimiseks kasutada. Lisaks võiks 3D-printeriga loodud füüsilisi mudeleid rakendada ka nägemispuudega õpilastele geograafiaalaste teemade õpetamiseks. Kokkuvõtteks, kuna käesolevast magistritööst selgus, et füüsiliste ja virtuaalsete 3D-mudelite lühiajaline rakendamine õpilaste ruumilist mõtlemist ning kaardilugemise oskust ei paranda, siis võiks teemat edasi arendades uurida tulevikus eelmainitud 3D-õppematerjalide pikaajalist mõju nii õpilaste ruumilisele mõtlemisele kui ka ainealaste teadmiste omandamisele.

5. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärkideks oli uurida, kuidas mõjutavad virtuaalsed 3D-mudelid ja 3D-printeritega loodud füüsilised mudelid „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimisel õpilaste kaardilugemise oskuseid ning ruumilist mõtlemist. Eesmärkide saavutamiseks disainiti eeltestid, kolm erinevat õpistsenaariumi ja järeltestid, millele vastas kokku 105 7. klassi õpilast viiest Tartu koolist. Eeltestide eesmärgiks oli välja selgitada õpilaste eelteadmised „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema kohta ja nende ruumilise mõtlemise tase. Õpistsenaariumi esimeses pooles pidid õpilased uurima samakõrgusjoontega pinnamoe kaarte ja sobitama need vastavalt rühmale õigete 3D-printeriga loodud füüsiliste küngaste mudelite, küngaste külgvaadetega paberil või virtuaalsete küngaste mudelitega tahvelarvutis. Õpistsenaariumi teises pooles uurisid õpilased 3D-printeriga loodud füüsilist maastikumudelit, samakõrgusjoontega paberist pinnamoe kaarti või virtuaalset maastikumudelit tahvelarvutis ning vastasid nende alusel küsimustele. Järeltestides vastasid õpilased reaalselt maastikku kujutava kaardi abil koostatud küsimustele ja täitsid taaskord ruumilise mõtlemise testi.

Töö uurimuslikust osast ilmnas, et õpistsenaariumi „Pinnavormid ja pinnamood“ tulemused kolme uurimisaluse rühma ($H = 57,51$; $p < 0,05$) vahel ning ka eraldi poiste ($H = 25,09$; $p < 0,05$) ja tüdrukute ($H = 32,14$; $p < 0,05$) lõikes kolme rühma arvestuses erinesid statistiliselt oluliselt. Kõige paremini sooritasid õpistsenaariumi õpilased, sealhulgas poisid ja tüdrukud rühmas, kus olid kasutada 3D-printeritega loodud füüsilised mudelid ja kõige nõrgemaid tulemusi said õpilased, kes vastasid küsimustele 2D-mudelite abil. Tahvelarvutites virtuaalseid 3D-mudeleid kasutanud õpilaste, sealhulgas poiste ja tüdrukute sooritus erines statistiliselt oluliselt teiste uuritud rühmade õpilaste sooritusest. Sealjuures poiste ja tüdrukute tulemuste omavahelisel võrdlemisel statistiliselt olulisi erinevusi ei ilmnunud, mis viitab nende sarnasele ettevalmistusele koolis.

Õpistsenaariumis 3D-printeriga loodud füüsiliste mudelite, tahvelarvutis virtuaalsete 3D-mudelite ning paberil 2D-mudelite kasutamine ei avaldanud ühegi rühma õpilaste ($H = 4,46$; $p > 0,05$), sealhulgas poiste ($H = 1,79$; $p > 0,05$) ja tüdrukute ($H = 2,48$; $p > 0,05$) kaardilugemise oskustele mõju, mida võib seostada õpistsenaariumi täitmiseks ettenähtud aja lühidusega. Rühmade kaupa poiste ja tüdrukute tulemustes statistiliselt olulisi erinevusi ei esinenud, mis osutab sooliste iseärasuste puudumisele.

Võrreldes ruumilise mõtlemise järeltesti tulemusi eeltesti sooritustega selgus, et õpilaste, sealhulgas eraldi poiste ja tüdrukute ruumilise mõtlemise tase üheski uurimisaluses rühmas ei

paranenud, mis on osaliselt põhjustatud järeltesti kaasatud keerukamate kujunditest. Rühmiti poiste ja tüdrukute ruumilise mõtlemise testide tulemusi vaadeldes selgus, et ainult 2D-mudelite eeltestis ja virtuaalsete 3D-mudelite järeltestis erinesid poiste tulemused statistiliselt oluliselt tüdrukute omadest ja olid sealjuures paremad, mida saab seostada poiste parema ruumitajuga.

Kasutatud kirjandus

Ackerman, P. L. & Heggestad, E. D. (1997). Intelligence, Personality, and Interests: Evidence for Overlapping Traits. *Psychological Bulletin*, 121(2), 219-245.

Andersen, D., Bennett, C., Huynh, P., Rassbach, L., Reardon, S. & Eisenberg, M. (2005). Printing Out Trees: Toward the Design of Tangible Objects for Education. *The IASTED International Conference on Education and Technology, Conference Proceedings*.

Archer, L., Osborne, J., DeWitt, J., Dillon, J., Wong, B. & Willis, B. (2013). ASPIRES: young people's science and career aspirations, age 10-14. London: King's College London.

Bradshaw, S., Bowyer, A. & Haufe, P. (2010). The intellectual property implications of low-cost 3D printing. *ScriptEd*, 7(1), 5-31.

Brudigam, K. L. & Crawford, R. H. (2012). Spatial Ability in High School Students. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.

Caissie, A. F., Vigneau, F. & Bors, D. A. (2009). What does the Mental Rotation Test Measure? An Analysis of Item Difficulty and Item Characteristics. *The Open Psychology Journal*, 2, 94-102.

Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O. & Garrett, B. (2011). Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. Washington: Atlantic Council.

Casas, L. & Estop, E. (2015). Virtual and Printed 3D Models for Teaching Crystal Symmetry and Point Groups. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1338–1343.

Chen, Y.-C., Chi, H.-L., Hung, W.-H. & Kang, S.-C. (2011). Use of Tangible and Augmented Reality Models in Engineering Graphics Courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 137(4), 267-276.

Christiansen, A. N., Schmidt, R., & Bærentzen, J. A. (2015). Automatic balancing of 3D models. *Computer-Aided Design*, 58, 236–241.

Cox, M., Webb, M., Abbot, C., Blakeley, B., Beauchamp, T., & Rhodes, V. (2004). ICT and pedagogy: A review of the research literature. London: DfES Publications.

Department for Education. (2013). 3D printers in schools: uses in the curriculum. London: Department for Education.

Dori, Y. J. & Barak, M. (2001). Virtual and physical molecular modeling: Fostering model perception and spatial understanding. *Educational Technology & Society*, 4(1), 61-74.

Eesti 2.0. (2016). 3D-printer 50 Eesti koolile. <http://www.eesti2.ee> (29.04.2016).

Eesti elukestva õppe strateegia 2020. (2014). Tallinn: Haridus- ja Teadusministeerium, Eesti Koostöö Kogu, Eesti Haridusfoorum.

Eesti infoühiskonna arengukava 2020 lisa 2. (2013). Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

EHIS (Eesti Hariduse Infosüsteem). (2012). Statistilised tabelid. <http://www.hm.ee/ehis/statistika.html> (18.04.2016).

Eurydice network. (2011). Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research. Brussels: Education, Audiovisual and Culture Executive Agency.

Ha, O. & Fang, N. (2013). Development of Interactive 3D Tangible Models as Teaching Aids to Improve Students' Spatial Ability in STEM Education. *IEEE Frontiers in Education Conference*.

Hall, K. W. & Obregon, R. (2002). Applications and Tools for Design and Visualization. *Technology Teacher*, 61(7), 7-11.

Karelson, L. (2015). Õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös. Magistritöö. Tartu Ülikool.

Kaur, S. (2012). How is “Internet of the 3D Printed Products” going to Affect Our Lives?, *IETE Technical Review*, 29(5), 360-364.

Keates, J. S. (1996). Understanding Maps. England: Addison Wesley Longman.

King, H. (2006). Understanding spatial literacy: cognitive and curriculum perspectives. *Planet*, 17, 26-28.

Kolvoord, R, Charles M. & Purcell, S. (2013). What Happens After the Professional Development: Case Studies on Implementing GIS in the Classroom. MaKinster, J., Trautmann N. & Barnett, M. (Eds.). *Teaching Science and Investigating Environmental Issues with Geospatial Technology*. (303-320). Netherlands: Springer Netherlands.

- Larsson, C. & Tibell, L. A. E. (2015).** Challenging Students' Intuitions – the Influence of a Tangible Model of Virus Assembly on Students' Conceptual Reasoning About the Process of Self-Assembly. *Research in Science Education*, 45(5), 663-690.
- Libarkin, J. & Brick, B. (2002).** Research Methodologies in Science Education: Visualization and the Geosciences. *Journal of Geoscience Education*, 50(4), 449-455.
- Linn, M. C. & Petersen, A. C. (1985).** Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479-1498.
- Ludíková, L. & Finková, D. (2012).** Improvement in Education of People with Visual Impairment. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 55, 971–979.
- Maa-amet. (2015).** Maa-ameti Geoportaal. <http://xgis.maaamet.ee> (22.10.2015)
- Mohler, J. L. (2006).** **Examining the Spatial Ability Phenomenon from the Student's Perspective.** Doctoral dissertation. Purdue University.
- Newcombe, N. S. (2010).** Picture This: Increasing Math and Science Learning by Improving Spatial Thinking. *American Educator*, Summer Issue, 29-43.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R. & Richardson, C. (1995).** A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39-58.
- Põhikooli riiklik õppekava (PRÕK). (2014).** Riigi Teataja I, 29.08.2014, 20. <https://www.riigiteataja.ee/akt/129082014020?leiaKehtiv> (20.04.2016).
- Scalfani, V. F. & Vaid, T. P. (2014).** 3D Printed Molecules and Extended Solid Models for Teaching Symmetry and Point Groups. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1174-1180.
- Segerman, H. (2012).** 3D Printing for Mathematical Visualisation. *The Mathematical Intelligencer*, 34(4), 56-62.
- Shephard, R. N., & Metzler, J. (1971).** Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Tallinna veebileht. (2016).** Tallinn ostab riigihankega kõikidele linnakoolidele 3D printerid. <http://www.tallinn.ee/est/Uudis-Tallinn-ostab-riigihankega-koikidele-linnakoolidele-3D-printerid> (23.05.2016).

Thornburg, D. D. (2014). Moving Education from Nouns to Verbs. *Teacher Librarian*, 42(2), 38–41.

Uttal, D. H., Miller, D. I. & Newcombe N. S. (2013). Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), 367–373.

Wai, J., Lubinski, D. & Benbow, C. P. (2009). Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835.

Van den Berghe, W. & De Martelaere, D. (2012). Choosing STEM: Young people's educational choice for technical and scientific studies. Brussels: The Flemish Council for Science and Innovation.

Van der Merwe, F. (2009). Concepts of Space in Spatial Thinking. *24th International Cartographic Conference, Conference Proceedings*.

Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.

Vavra, K. L., Janjic-Watrich, V., Loerke, K., Phillips, L. M., Norris, S. P. & Macnab, J. (2011). Visualization in Science Education. *Alberta Science Education Journal*, 41(1), 22-30.

Wiegand, P. & Stiell, B. (1997). Children's Relief Maps of Model Landscapes. *British Educational Research Journal*, 23(2), 179-192.

Voyer, D. & Hou, J. (2006). Type of Items and the Magnitude of Gender Differences on the Mental Rotations Test. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 60(2), 91-100.

Tänuavaldused

Tänan töö juhendajaid Leo Aleksander Siimanit ja Ülle Liiberit igakülgse abi eest. Samuti tänan uuringus osalenud Tartu Mart Reiniku Kooli, Tartu Veeriku Kooli, Tartu Tamme Kooli, Tartu Erakooli, Tartu Katoliku Hariduskeskuse ja Tartu Miina Härma Gümnaasiumi geograafiaõpetajaid ning 7. klassi õpilasi. Lisaks tänan enda elukaaslast Evelini, kelle toetus ja tähelepanekud olid suureks abiks töö valmimisel.

Summary

Applying virtual 3D-models and physical 3D-models created by a 3D-printer for learning about the topic “Landforms and Groups of Landforms” in basic schools

The aim of this master's thesis was to examine how virtual 3D-models and physical 3D-models created by a 3D-printer influence students' map reading skills and spatial thinking when learning about the topic “Landforms and Groups of Landforms”. According to the aims, the following research questions were posed:

- 1) How do student results on an assessment of geography knowledge differ when using three differing learning materials – physical 3D-models created by a 3D-printer, virtual 3D-models on tablet computers and 2D-models on paper – to solve problems related to the topic of “Landforms and Groups of Landforms”?
- 2) To what extent does the usage of physical 3D-models created by a 3D-printer, virtual 3D-models on tablet computers and 2D-models on paper influence students' map reading skills?
- 3) How does students' spatial thinking change according to using as learning materials physical 3D-models created by a 3D-printer, virtual 3D-models on tablet computers or 2D-models on paper?
- 4) To what extent do the results in the first three research questions differ between boys and girls groups?
- 5) To what extent do the results in the first three research questions differ within boys and girls groups?

To reach the aims set in the master's thesis, pretests, an intervention with three different conditions and posttests were designed. A convenience sample was used which comprised of 105 7th grade students from five basic schools in Tartu, Estonia.

The study revealed that the results of the intervention between the three different conditions ($H = 57,51$; $p < 0,05$), for both boys ($H = 25,09$; $p < 0,05$) and for girls ($H = 32,14$; $p < 0,05$) were statistically significantly different. Boys and girls who used physical 3D-models created by a 3D-printer performed the best and boys and girls who used 2D-models performed the worst. A between-group comparison of boys and girls results did not indicate a significant difference.

The use of physical 3D-models created by a 3D-printer, virtual 3D-models on tablet computers and 2D-models on paper in the intervention did not show a statistically significant improvement in map reading skills: all students ($H = 4,46$; $p > 0,05$), boys ($H = 1,79$; $p > 0,05$) and girls ($H = 2,48$; $p > 0,05$). Boys and girls results in groups did not differ statistically significantly.

Comparing posttest to pretest it was found that students, included boys and girls spatial thinking did not improve in either group. It was also found that only in 2D-models pretest and in virtual 3D-models posttest boys performance was statistically significantly different from girls.

Lisad

Lisa 1. Test füüsiliste 3D-mudelite rühmale

Lisa 2. Test 2D-mudelite rühmale

Lisa 3. Test virtuaalsete 3D-mudelite rühmale

Lisa 4. Kaart 2D-mudelite rühmale

Lisa 5. Kaart kõikidele rühmadele

Lisa 6. Statistiliselt olulise erinevuse olemasolu õpistsenaariumis kahe rühma vahel

Lisa 1. Test füüsiliste 3D-mudelite rühmale

Nimi:

Sugu: poiss / tüdruk

Vanus:

Klass:

I osa A1

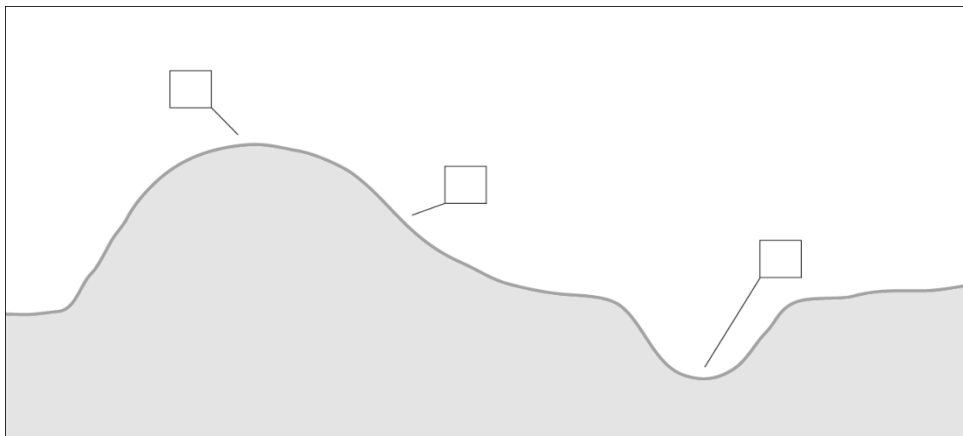
Lahendamiseks on aega **3 minutit**.

Lõpeta lause tõmmates õigele variandile ring ümber.

- Samakõrgusjoon on joon kaardil, mis ühendab...
 - ...veepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - ...merepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - ...maapinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - ...maapinnast erinevatel kõrgustel olevaid punkte.
- Lauge nõlvaga on tegemist siis kui...
 - ...samakõrgusjooned asuvad lähestikku.
 - ...samakõrgusjooned asuvad üksteisest eemal.
- Suhteline kõrgus...
 - ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.
- Absoluutne kõrgus...
 - ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.

Märgi joonisele pinnamoodi iseloomustavad mõisted.

- Org
- Künka lagi
- Künka nõlv



STOPP!

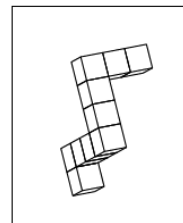
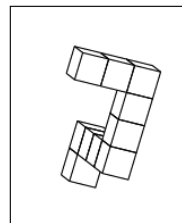
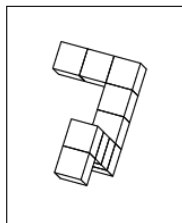
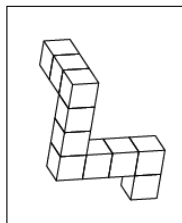
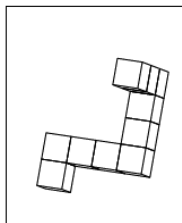
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

II osa A1

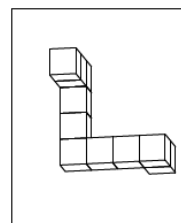
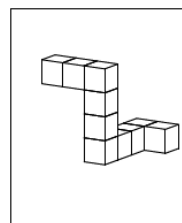
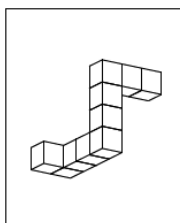
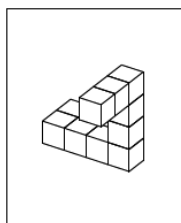
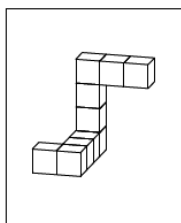
Lahendamiseks on aega 7 minutit.

Vaata seda
objekti siin

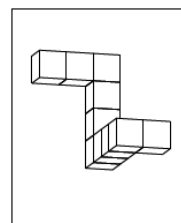
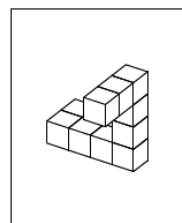
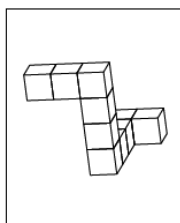
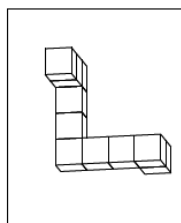
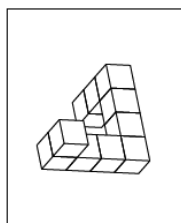
N
Ä
I
D
E



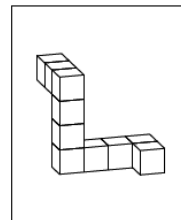
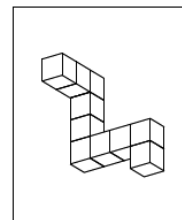
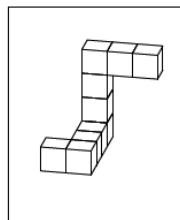
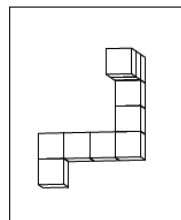
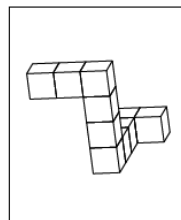
1.



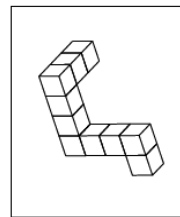
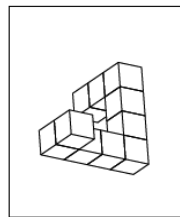
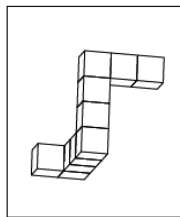
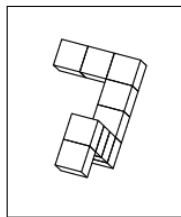
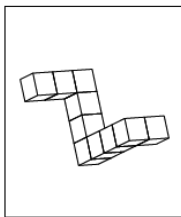
2.



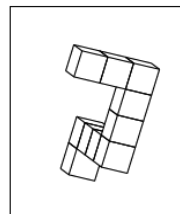
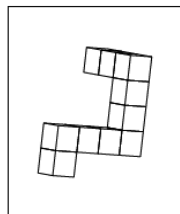
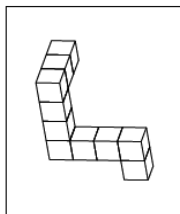
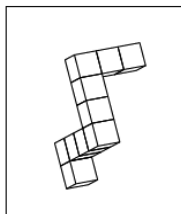
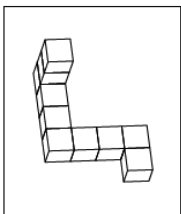
3.



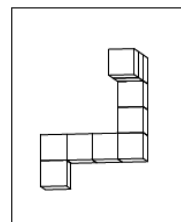
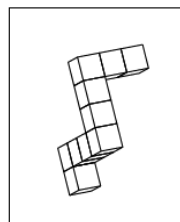
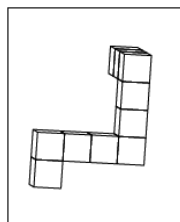
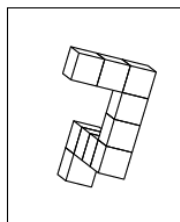
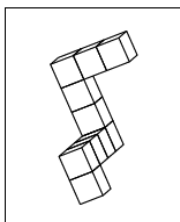
4.



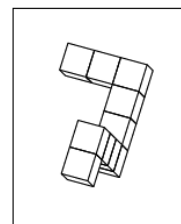
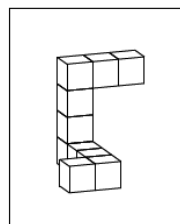
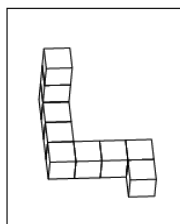
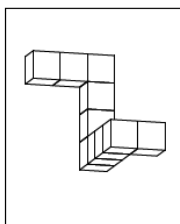
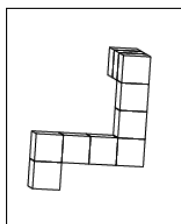
5.



6.



7.



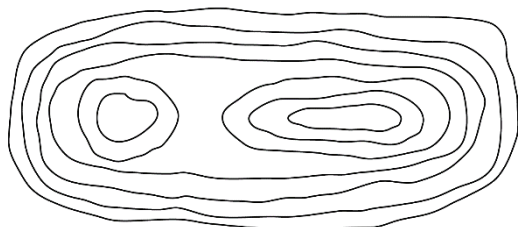
STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

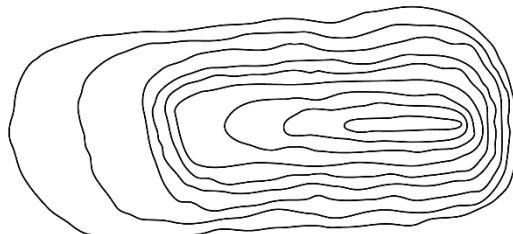
III osa A1

Lahendamiseks on aega **10 minutit**.

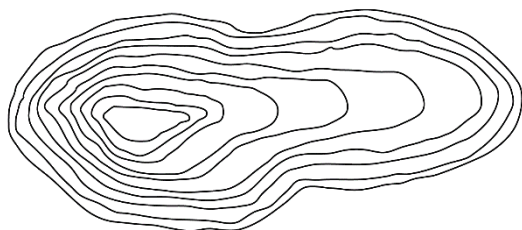
Uuri samakõrgusjoontega pinnamoe kaarte ja sobita need õigete künka mudelitega. Kirjuta pinnamoe kaardi all asuvasse kasti sellele vastava künka mudeli täht.



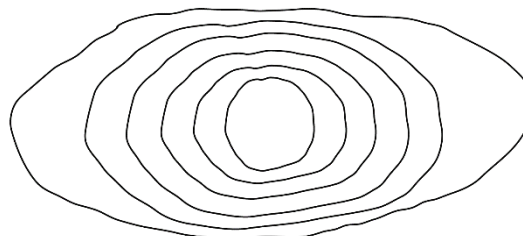
1 – ☐



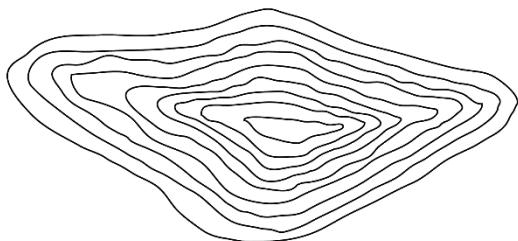
5 – ☐



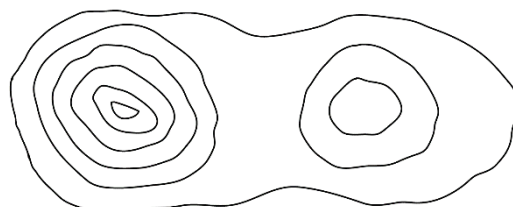
2 – ☐



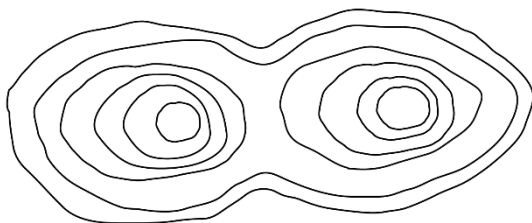
6 – ☐



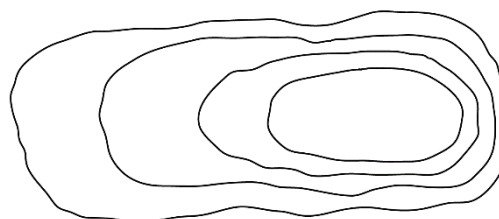
3 – ☐



7 – ☐



4 – ☐



8 – ☐

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

IV osa A1

Lahendamiseks aega **10 minutit**.

Uuri maastikumudelit ja vasta alljärgnevatele küsimustele. Kirjuta lünka õiget punkti tähistav täht või tõmba õigele vastusele joon alla.

1. Maastikumudeli kõige kõrgem punkt asub punktis
2. Liikudes mööda teerada punktist I punkti E absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
3. Punktist G näeb punkti I. **JAH** / **EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
4. Võrdle nõlvasid. Nõlv maastikumudeli kirdenurgas on **järsem** / **võrdse järsakusega** / **laugem** kui nõlv maastikumudeli edelanurgas.
5. Punkt B paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt J.
6. Maastikumudelil kujutatud jõgi voolab **läänest lõunasse** / **lõunast läände**.
7. Punkt H asub **künka lael** / **künka nõlval** / **orus**.
8. Maastikumudeli kõige madalam punkt asub punktis
9. Punkt A paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt H.
10. Kõige järsem nõlv asub maastikumudeli **kirdenurgas** / **kagunurgas** / **edelanurgas**.
11. Punktist F näeb punkti D. **JAH** / **EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
12. Minnes punktist D punkti C absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
13. Punkt M asub **künka lael** / **künka nõlval** / **orus**.

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

V osa A1

Lahendamiseks on aega **8 minutit**.

Uuri kaarti nr. 2 (Viitina) ja vasta selle põhjal alljärgnevatele küsimustele. Kirjuta lünka õiget punkti tähistav täht või tõmba õigele vastusele joon alla.

1. Punkt A asub **orus / künka nõlval / künka lael**.
2. Huudva oja voolab **lõunast loodesse / loodest lõunasse**.
3. Punkt H paikneb **madalamal / umbes sama kõrgel / kõrgemal** kui punkt J.
4. Kaardi kõige kõrgem punkt asub punktis
5. Liikudes piki elektriliini punktist D punkti E absoluutne kõrgus **väheneb / jääb samaks / suureneb**.
6. Punktist H näeb punkti I. **JAH / EI**
7. Milline kolmest ringiga märgistatud nõlvast on kõige järsem? **L / M / N**
8. Punkt I asub **orus / künka nõlval / künka lael**.
9. Minnes punktist F punkti G tee absoluutne kõrgus **väheneb / jääb samaks / suureneb**.
10. Punktist K näeb punkti E. **JAH / EI**
11. Punkt F paikneb **madalamal / umbes sama kõrgel / kõrgemal** kui punkt K.

STOPP!

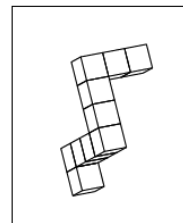
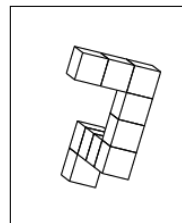
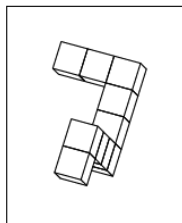
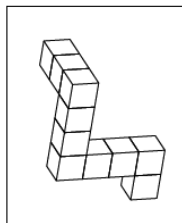
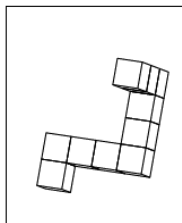
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

VI osa A1

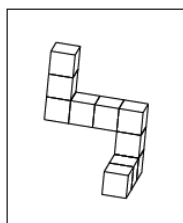
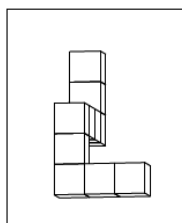
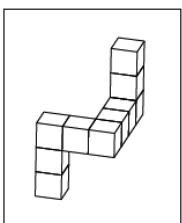
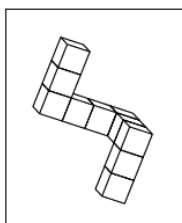
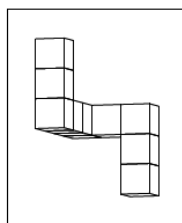
Lahendamiseks on aega **7 minutit**.

Vaata seda
objekti siin

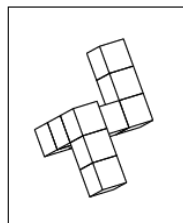
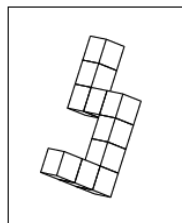
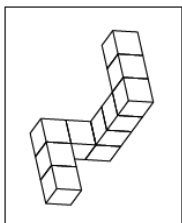
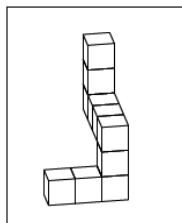
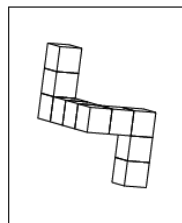
N
Ä
I
D
E



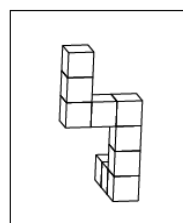
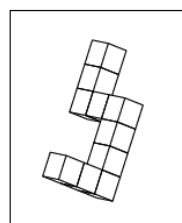
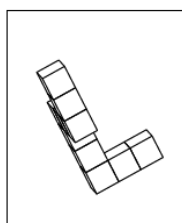
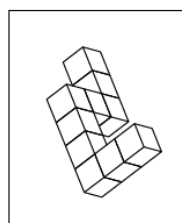
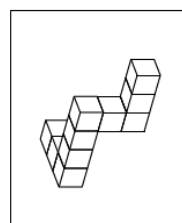
8.



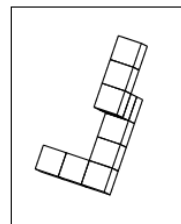
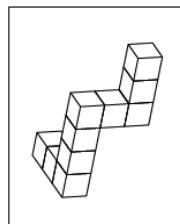
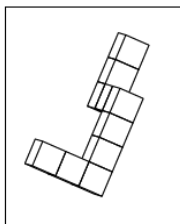
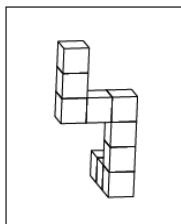
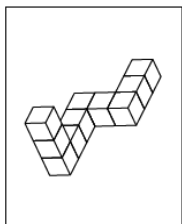
9.



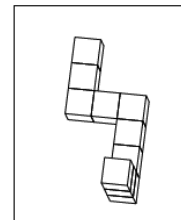
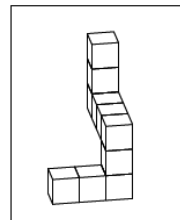
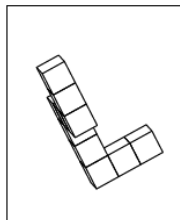
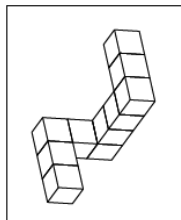
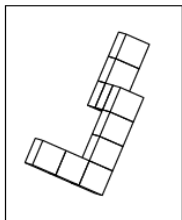
10.



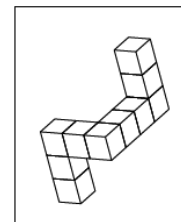
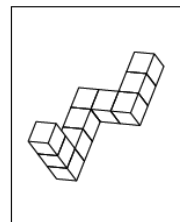
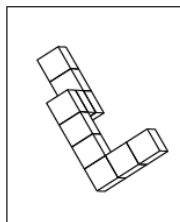
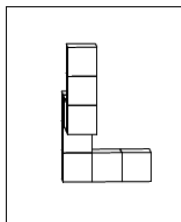
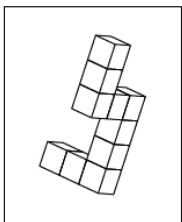
11.



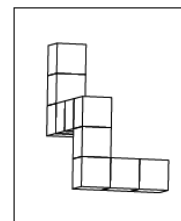
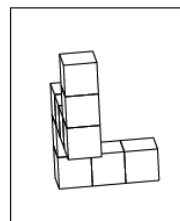
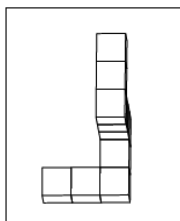
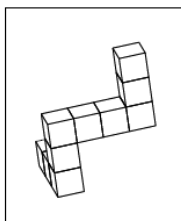
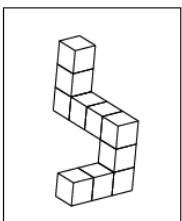
12.



13.



14.



Täna vastamast!

Lisa 2. Test 2D-mudelite rühmale

Nimi:

Sugu: poiss / tüdruk

Vanus: Klass:

I osa A2

Lahendamiseks on aega **3 minutit**.

Lõpeta lause tõmmates õigele variandile ring ümber.

1. Samakõrgusjoon on joon kaardil, mis ühendab...
 - E. ...veepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - F. ...merepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - G. ...maapinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - H. ...maapinnast erinevatel kõrgustel olevaid punkte.
2. Lauge nõlvaga on tegemist siis kui...
 - C. ...samakõrgusjooned asuvad lähestikku.
 - D. ...samakõrgusjooned asuvad üksteisest eemal.
3. Suhteline kõrgus...
 - E. ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - F. ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - G. ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - H. ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.
4. Absoluutne kõrgus...
 - E. ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - F. ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - G. ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - H. ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.

Märgi joonisele pinnamoodi iseloomustavad mõisted.

- D. Org
- E. Künka lagi
- F. Künka nõlv



STOPP!

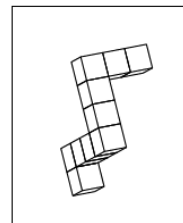
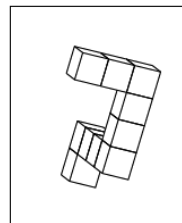
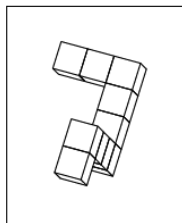
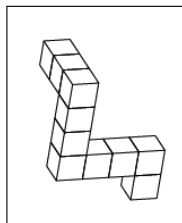
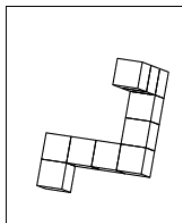
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

II osa A2

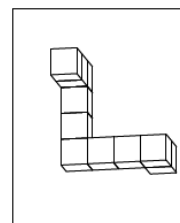
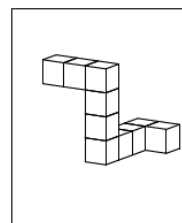
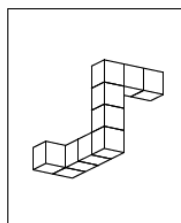
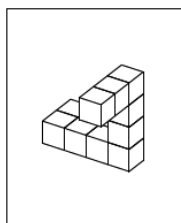
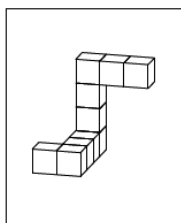
Lahendamiseks on aega 7 minutit.

Vaata seda
objekti siin

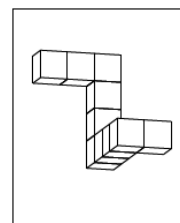
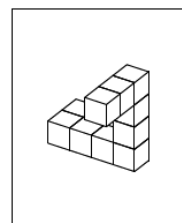
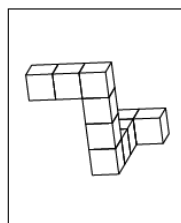
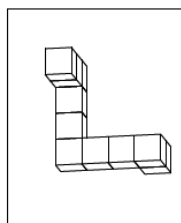
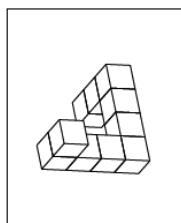
N
Ä
I
D
E



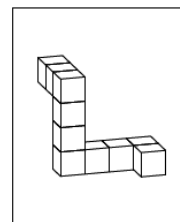
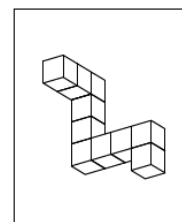
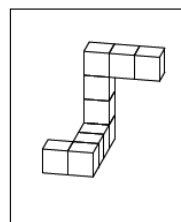
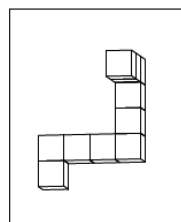
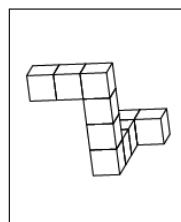
1.



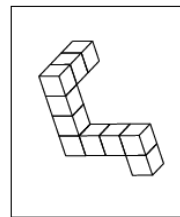
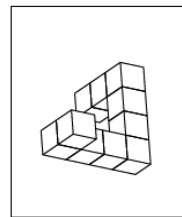
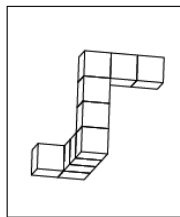
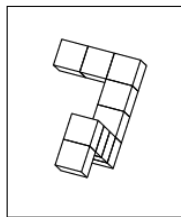
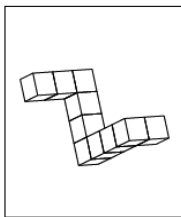
2.



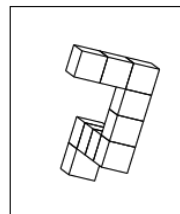
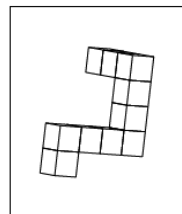
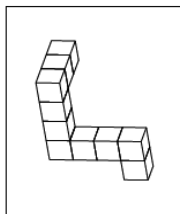
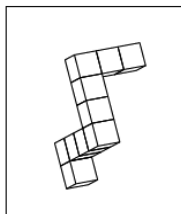
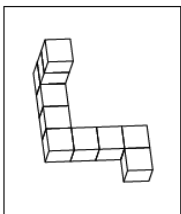
3.



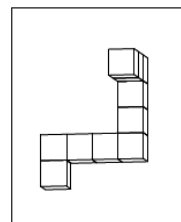
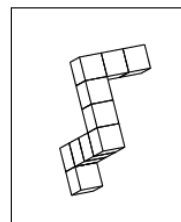
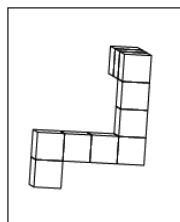
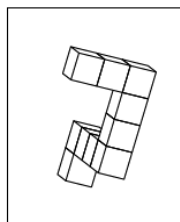
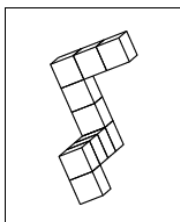
4.



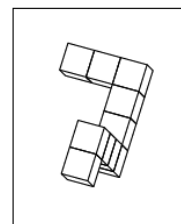
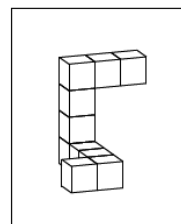
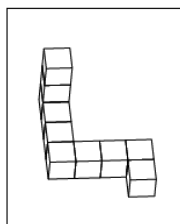
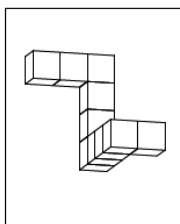
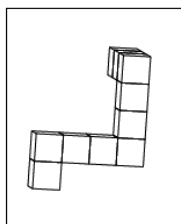
5.



6.



7.



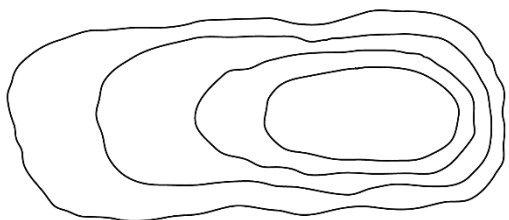
STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

III osa A2

Lahendamiseks on aega 10 minutit.

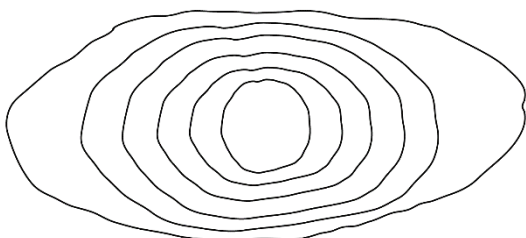
Uuri samakõrgusjoontega pinnamoe kaarte ja sobita need õigete külgvaadetega. Kirjuta pinnamoe kaardi all asuvasse kasti sellele vastava külgvaate täht. Ülesanne jätkub järgmisel leheküljel.



1 – ☐



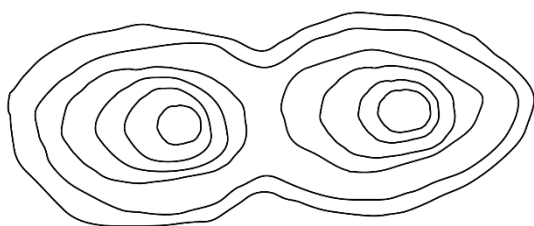
A



2 – ☐



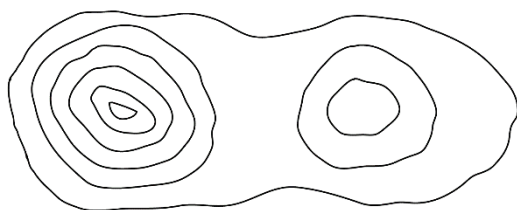
B



3 – ☐



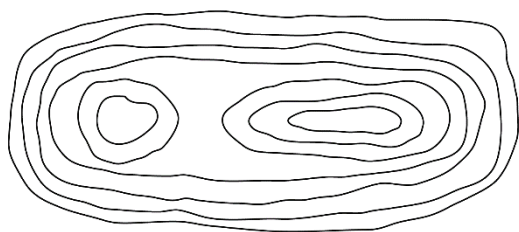
C



4 – ☐



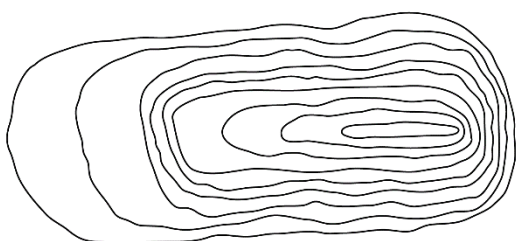
D



5 – ☐



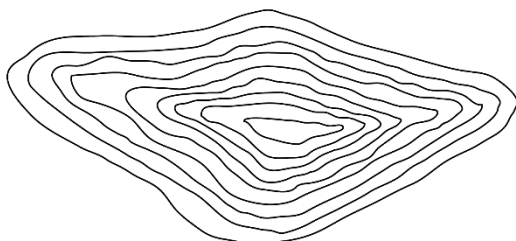
E



6 – ☐



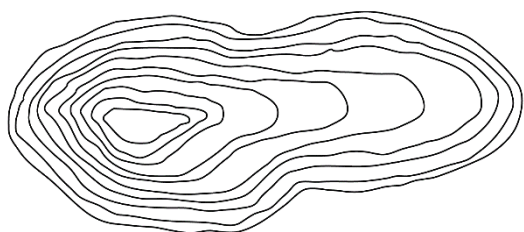
F



7 – ☐



G



8 – ☐



H

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

IV osa A2

Lahendamiseks aega **10 minutit**.

Uuri kaarti nr 1 ja vasta selle põhjal alljärgnevatele küsimustele. Kirjuta lünka õiget punkti tähistav täht või tõmba õigele vastusele joon alla.

1. Kaardi kõige kõrgem punkt asub punktis
2. Liikudes mööda teerada punktist I punkti E absoluutne kõrgus **väheneb / jääb samaks / suureneb**.
3. Punktist G näeb punkti I. **JAH / EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
4. Võrdle nõlvasid. Nõlv kaardi kirdenurgas on **järsem / võrdse järsakusega / laugem** kui nõlv kaardi edelanurgas.
5. Punkt B paikneb **madalamal / umbes sama kõrgel / kõrgemal** kui punkt J.
6. Kaardil kujutatud jõgi voolab **läänest lõunasse / lõunast läände**.
7. Punkt H asub **künka lael / künka nõlval / orus**.
8. Kaardi kõige madalam punkt asub punktis
9. Punkt A paikneb **madalamal / umbes sama kõrgel / kõrgemal** kui punkt H.
10. Kõige järsem nõlv asub kaardi **kirdenurgas / kagunurgas / edelanurgas**.
11. Punktist F näeb punkti D. **JAH / EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
12. Minnes punktist D punkti C absoluutne kõrgus **väheneb / jääb samaks / suureneb**.
13. Punkt M asub **künka lael / künka nõlval / orus**.

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

V osa A2

Lahendamiseks on aega **8 minutit**.

Uuri kaarti nr. 2 (Viitina) ja vasta selle põhjal alljärgnevatele küsimustele. Kirjuta lünka õiget punkti tähistav täht või tõmba õigele vastusele joon alla.

1. Punkt A asub **orus** / **künka nõlval** / **künka lael**.
2. Huudva oja voolab **lõunast loodesse** / **loodest lõunasse**.
3. Punkt H paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt J.
4. Kaardi kõige kõrgem punkt asub punktis
5. Liikudes piki elektriliini punktist D punkti E absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
6. Punktist H näeb punkti I. **JAH** / **EI**
7. Milline kolmest ringiga märgistatud nõlvast on kõige järsem? **L** / **M** / **N**
8. Punkt I asub **orus** / **künka nõlval** / **künka lael**.
9. Minnes punktist F punkti G tee absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
10. Punktist K näeb punkti E. **JAH** / **EI**
11. Punkt F paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt K.

STOPP!

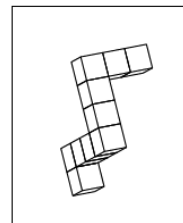
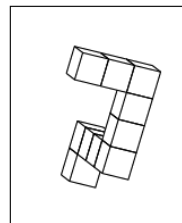
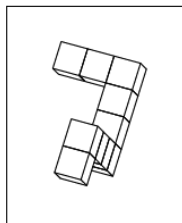
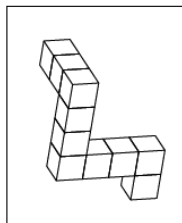
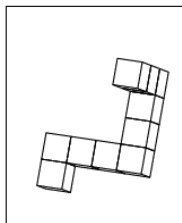
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

VI osa A2

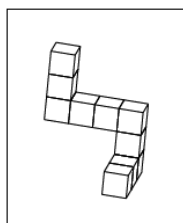
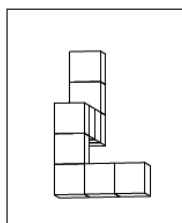
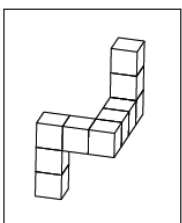
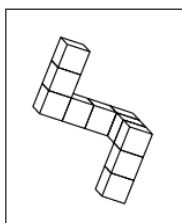
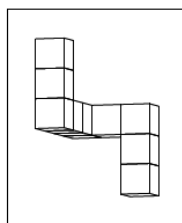
Lahendamiseks on aega **7 minutit**.

Vaata seda
objekti siin

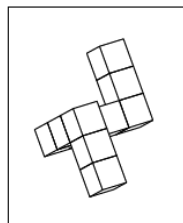
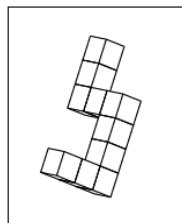
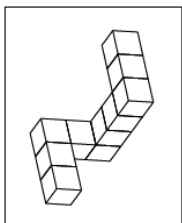
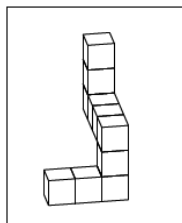
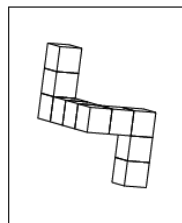
N
Ä
I
D
E



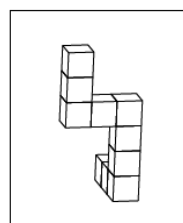
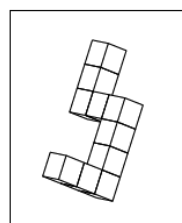
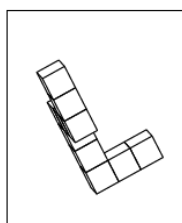
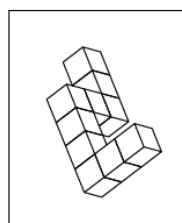
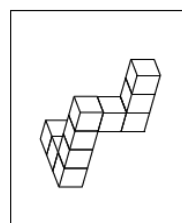
8.



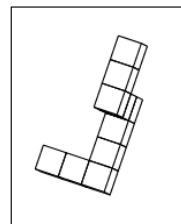
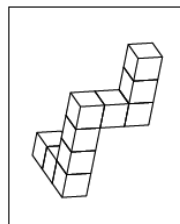
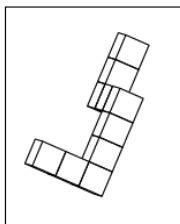
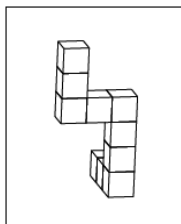
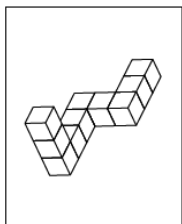
9.



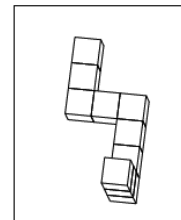
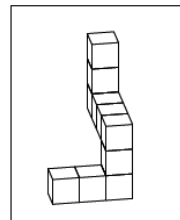
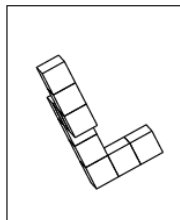
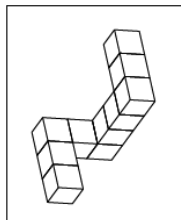
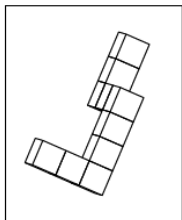
10.



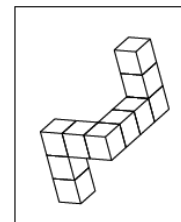
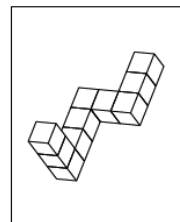
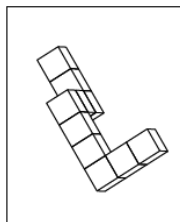
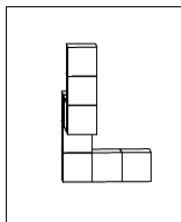
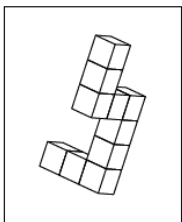
11.



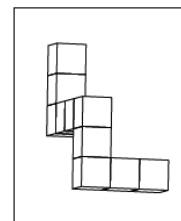
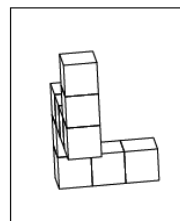
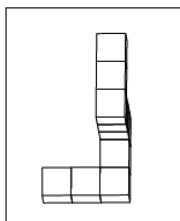
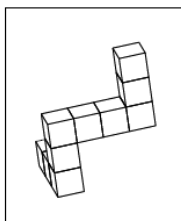
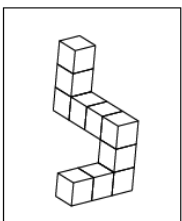
12.



13.



14.



Täna vastamast!

Lisa 3. Test virtuaalsete 3D-mudelite rühmale

Nimi:

Sugu: poiss / tüdruk

Vanus:

Klass:

I osa A3

Lahendamiseks on aega **3 minutit**.

Lõpeta lause tõmmates õigele variandile ring ümber.

1. Samakõrgusjoon on joon kaardil, mis ühendab...
 - I. ...veepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - J. ...merepinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - K. ...maapinnast ühel ja samal kõrgusel olevaid punkte.
 - L. ...maapinnast erinevatel kõrgustel olevaid punkte.
2. Lauge nõlvaga on tegemist siis kui...
 - E. ...samakõrgusjooned asuvad lähestikku.
 - F. ...samakõrgusjooned asuvad üksteisest eemal.
3. Suhteline kõrgus...
 - I. ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - J. ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - K. ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - L. ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.
4. Absoluutne kõrgus...
 - I. ...näitab koha kõrgust veepinnast.
 - J. ...näitab koha kõrgust merepinnast.
 - K. ...näitab koha kõrgust maapinnast.
 - L. ...on ühe punkti kõrgus teise suhtes.

Märgi joonisele pinnamoodi iseloomustavad mõisted.

- G. Org
- H. Künka lagi
- I. Künka nõlv



STOPP!

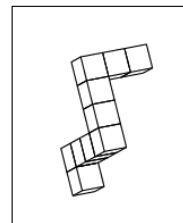
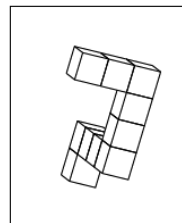
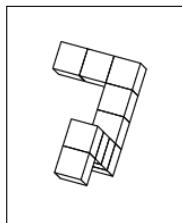
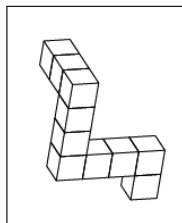
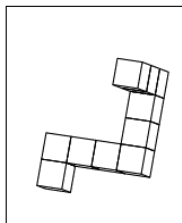
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

II osa A3

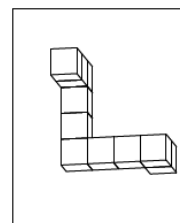
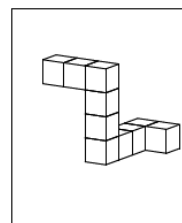
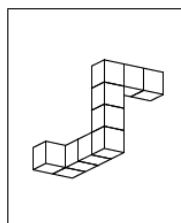
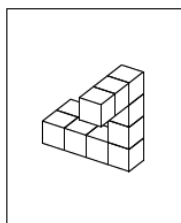
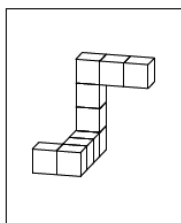
Lahendamiseks on aega 7 minutit.

Vaata seda
objekti siin

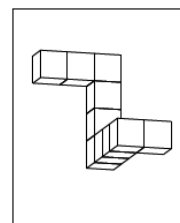
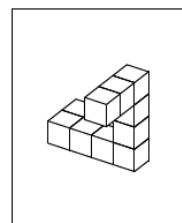
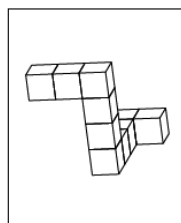
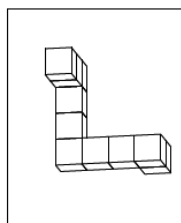
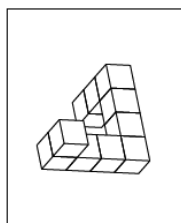
N
Ä
I
D
E



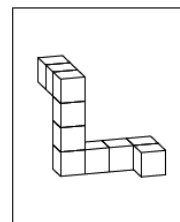
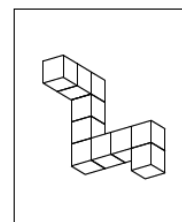
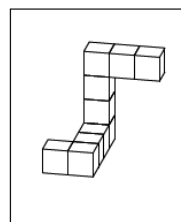
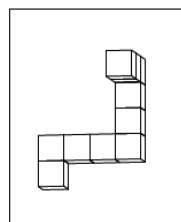
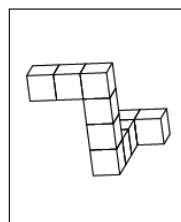
1.



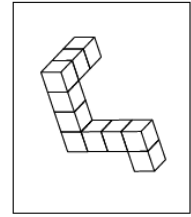
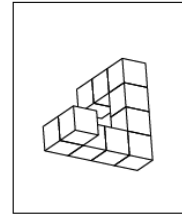
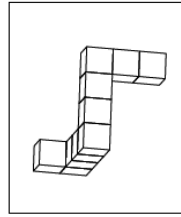
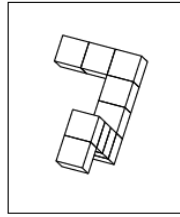
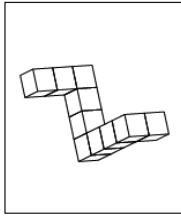
2.



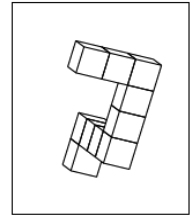
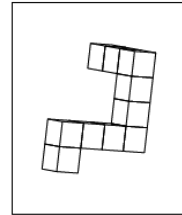
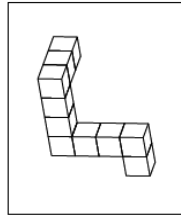
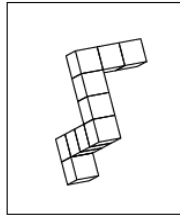
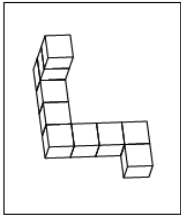
3.



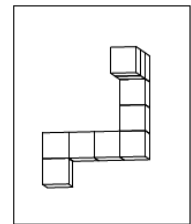
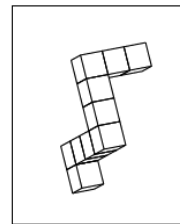
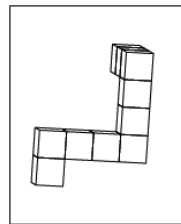
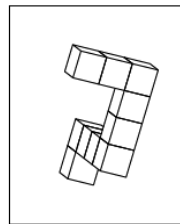
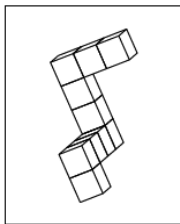
4.



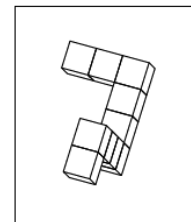
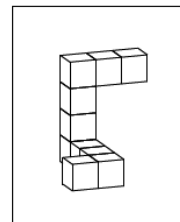
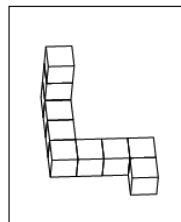
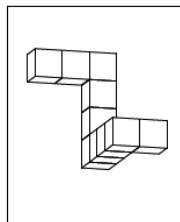
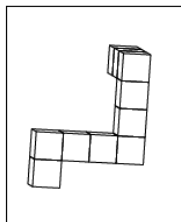
5.



6.



7.



STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

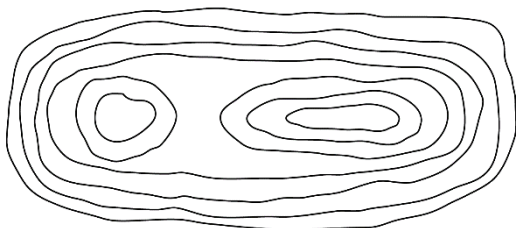
III osa A3

Lahendamiseks aega **10 minutit**.

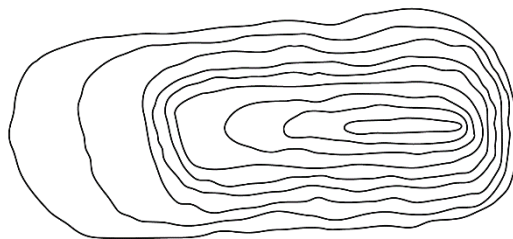
Uuri samakõrgusjoontega pinnamoe kaarte ja sobita need õigete künka mudelitega tahvelarvutis. Kirjuta pinnamoe kaardi all asuvasse kasti sellele vastava künka mudeli täht.

Juhend 3D vaate muutmiseks tahvelarvuti ekraanil:

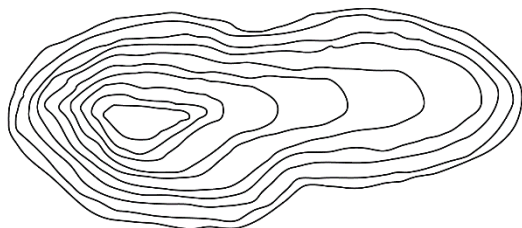
- Pööramine – ühe sõrmega lohistamine
- Nihutamine – kolme sõrmega lohistamine
- Suurendamine-vähendamine – kahe sõrme kokku-lahku liigutamine



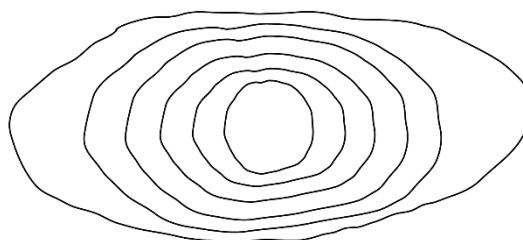
1 – ☐



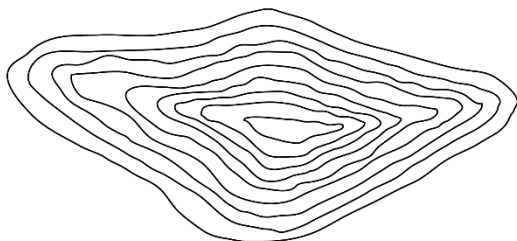
5 – ☐



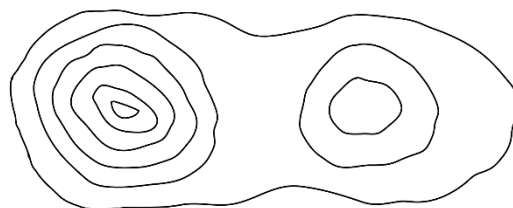
2 – ☐



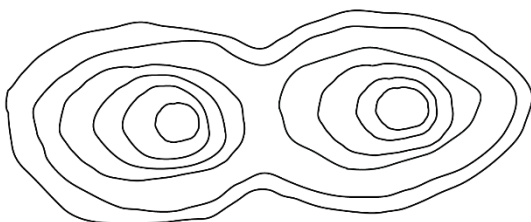
6 – ☐



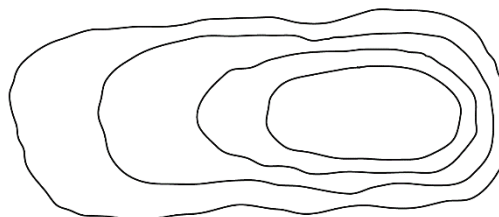
3 – ☐



7 – ☐



4 – ☐



8 – ☐

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

IV osa A3

Lahendamiseks aega **10 minutit**.

Uuri tahvelarvutis asuvat maastikumudelit ja vasta alljärgnevale küsimustele.

Juhend 3D vaate muutmiseks tahvelarvuti ekraanil:

- Pööramine – ühe sõrmega lohistamine
 - Nihutamine – kolme sõrmega lohistamine
 - Suurendamine-vähendamine – kahe sõrme kokku-lahku liigutamine
1. Maastikumudeli kõige kõrgem punkt asub punktis
 2. Liikudes mööda teerada punktist I punkti E absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
 3. Punktist G näeb punkti I. **JAH** / **EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
 4. Võrdle nõlvasid. Nõlv maastikumudeli kirdenurgas on **järsem** / **võrdse järsakusega** / **laugem** kui nõlv maastikumudeli edelanurgas.
 5. Punkt B paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt J.
 6. Maastikumudelil kujutatud jõgi voolab **läänest lõunasse** / **lõunast läände**.
 7. Punkt H asub **künka lael** / **künka nõlval** / **orus**.
 8. Maastikumudeli kõige madalam punkt asub punktis
 9. Punkt A paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt H.
 10. Kõige järsem nõlv asub maastikumudeli **kirdenurgas** / **kagunurgas** / **edelanurgas**.
 11. Punktist F näeb punkti D. **JAH** / **EI**
Põhjenda lühidalt!
.....
 12. Minnes punktist D punkti C absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
 13. Punkt M asub **künka lael** / **künka nõlval** / **orus**.

STOPP!

Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

V osa A3

Lahendamiseks on aega **8 minutit**.

Uuri kaarti nr. 2 (Viitina) ja vasta selle põhjal alljärgnevatele küsimustele. Kirjuta lünka õiget punkti tähistav täht või tõmba õigele vastusele joon alla.

1. Punkt A asub **orus** / **künka nõlval** / **künka lael**.
2. Huudva oja voolab **lõunast loodesse** / **loodest lõunasse**.
3. Punkt H paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt J.
4. Kaardi kõige kõrgem punkt asub punktis
5. Liikudes piki elektriliini punktist D punkti E absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
6. Punktist H näeb punkti I. **JAH** / **EI**
7. Milline kolmest ringiga märgistatud nõlvast on kõige järsem? **L** / **M** / **N**
8. Punkt I asub **orus** / **künka nõlval** / **künka lael**.
9. Minnes punktist F punkti G tee absoluutne kõrgus **väheneb** / **jääb samaks** / **suureneb**.
10. Punktist K näeb punkti E. **JAH** / **EI**
11. Punkt F paikneb **madalamal** / **umbes sama kõrgel** / **kõrgemal** kui punkt K.

STOPP!

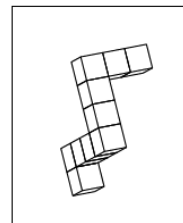
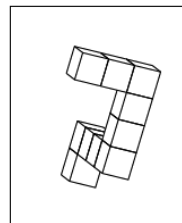
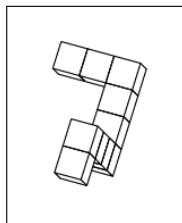
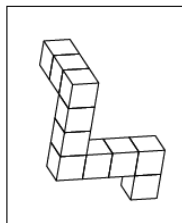
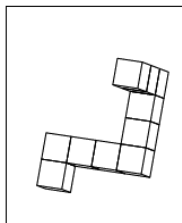
Palun ära pööra lehte enne kui sul palutakse seda teha.

VI osa A3

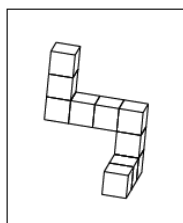
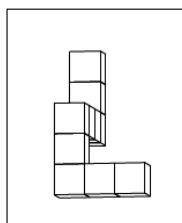
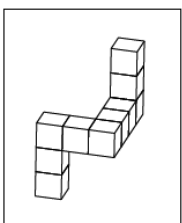
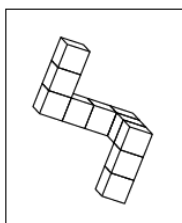
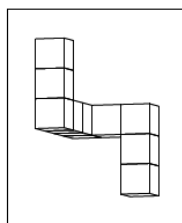
Lahendamiseks on aega **7 minutit**.

Vaata seda
objekti siin

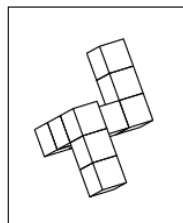
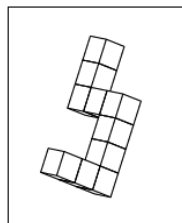
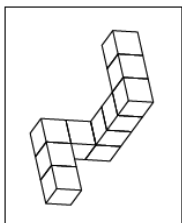
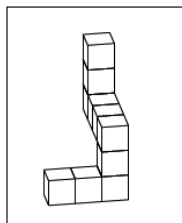
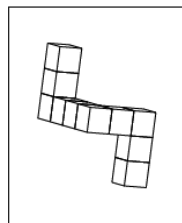
N
Ä
I
D
E



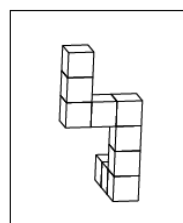
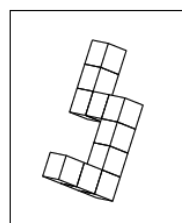
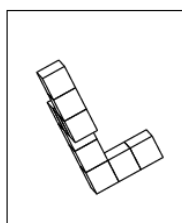
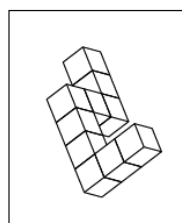
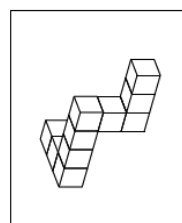
8.



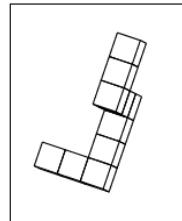
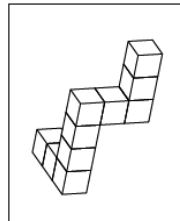
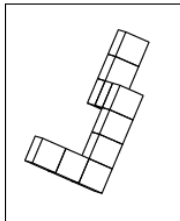
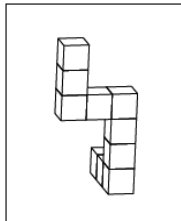
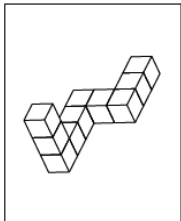
9.



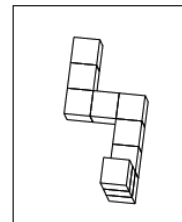
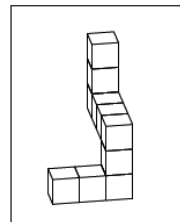
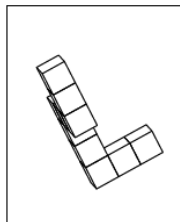
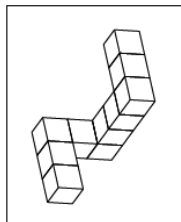
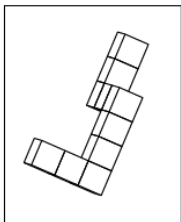
10.



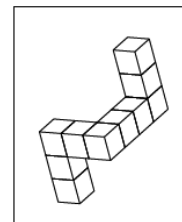
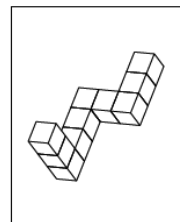
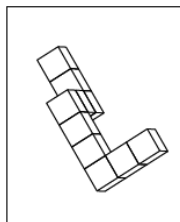
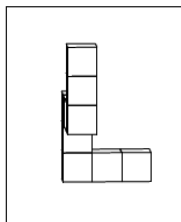
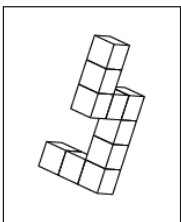
11.



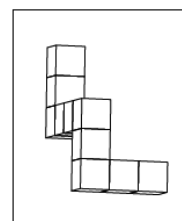
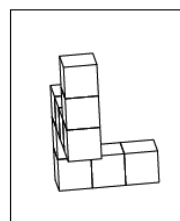
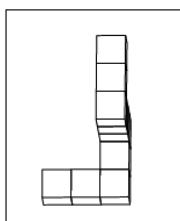
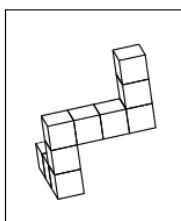
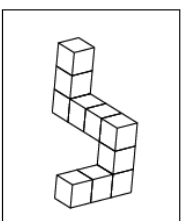
12.



13.



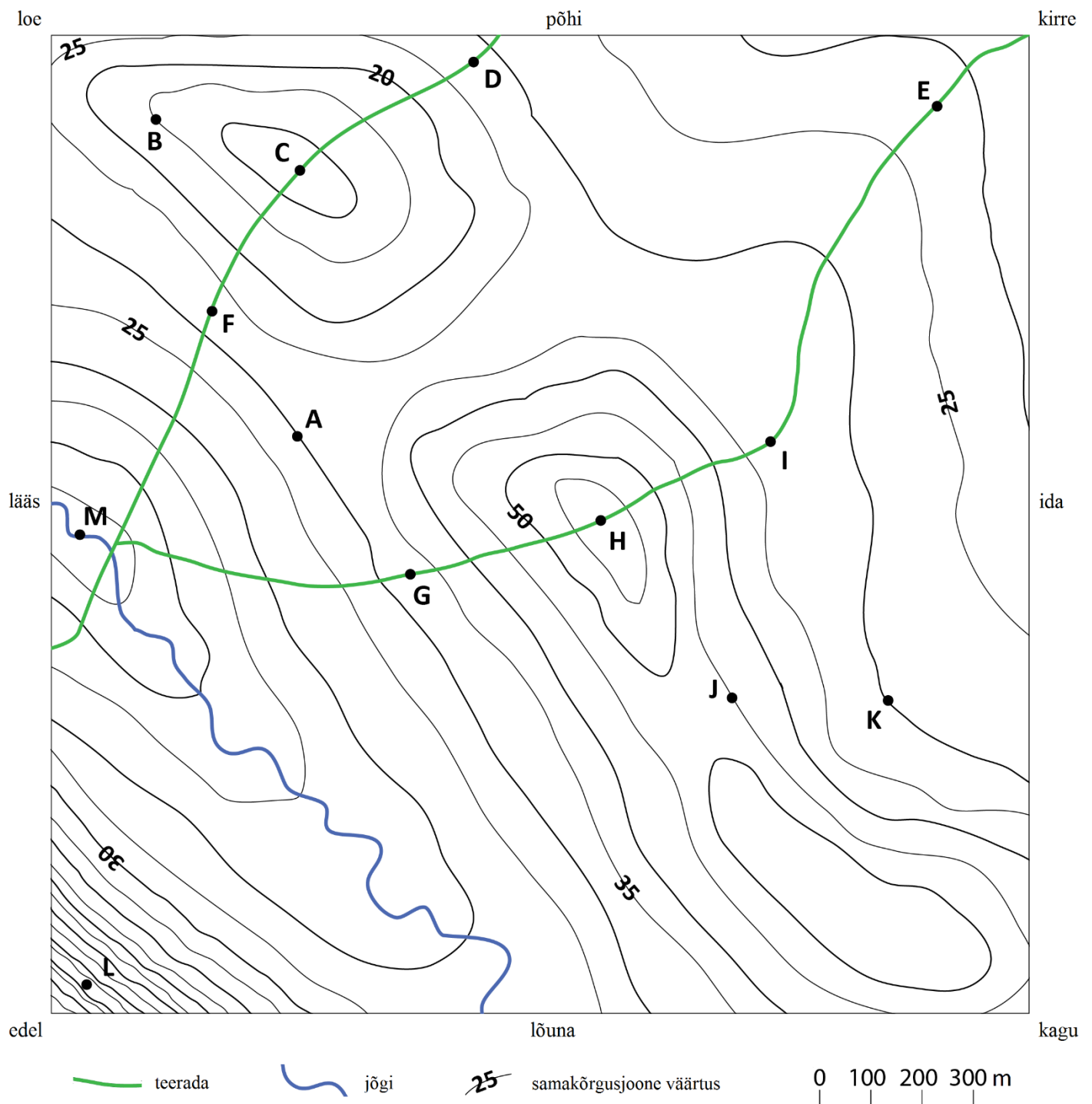
14.



Täna vastamast!

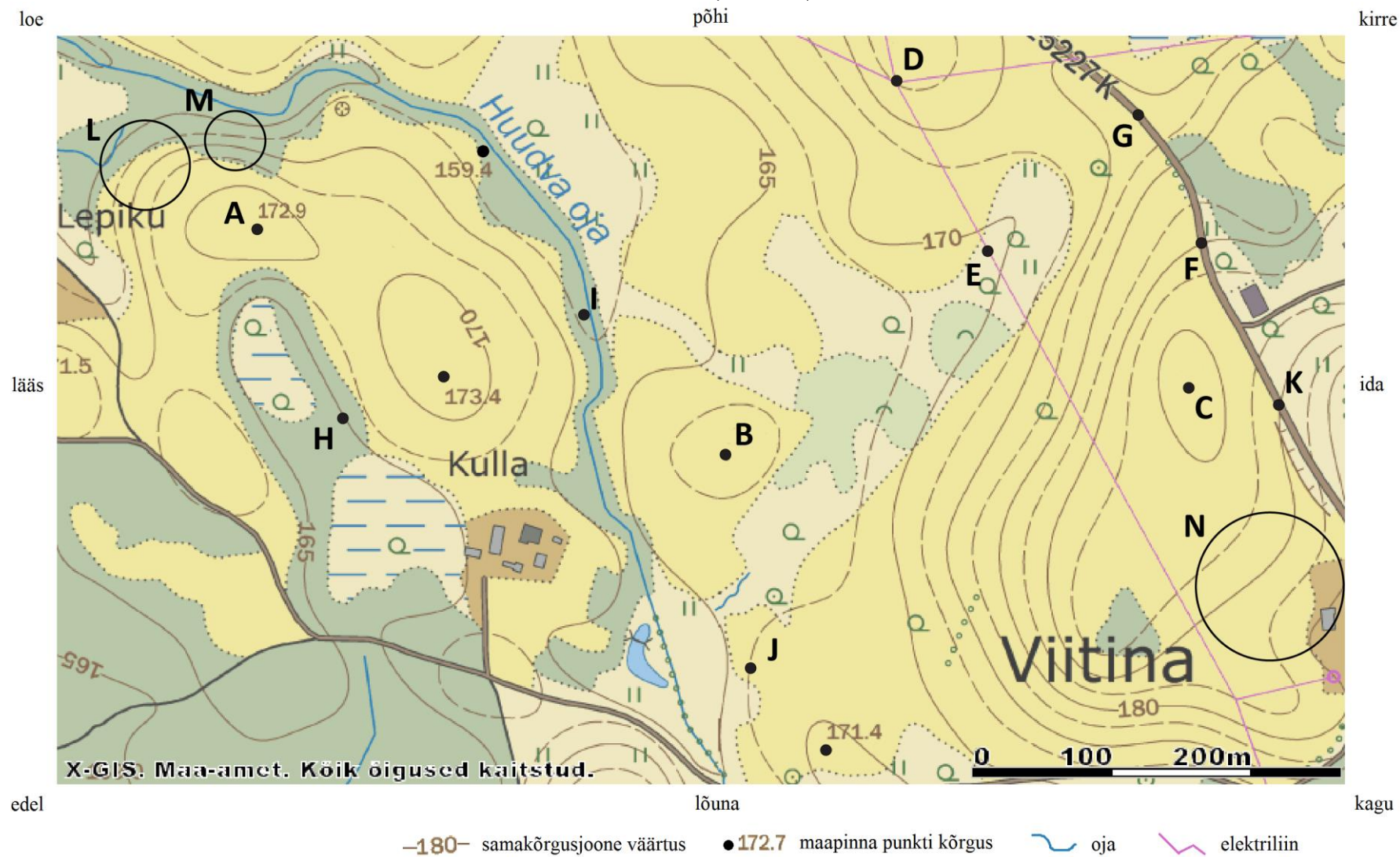
Lisa 4. Kaart 2D-mudelite rühmale

Kaart nr 1



Lisa 5. Kaart kõikidele rühmadele

Kaart nr 2 (Viitina)



Lisa 6. Statistiliselt olulise erinevuse olemasolu õpistsenaariumis kahe rühma vahel

Tabel 1. Statistiliselt olulise erinevuse olemasolu õpistsenaariumis kahe rühma vahel Mann-Whitney U-testi põhjal

	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM	2D-MUDELITE RÜHM	VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM
FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		U = 46,50 p < 0,05	U = 204,00 p < 0,05
2D-MUDELITE RÜHM	U = 46,50 p < 0,05		U = 233,00 p < 0,05
VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	U = 204,00 p < 0,05	U = 233,00 p < 0,05	

Tabel 2. Statistiliselt olulise erinevuse olemasolu õpistsenaariumis kahe rühma poiste vahel Mann-Whitney U-testi põhjal

	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM	2D-MUDELITE RÜHM	VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM
FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		U = 19,50 p < 0,05	U = 61,00 p < 0,05
2D-MUDELITE RÜHM	U = 19,50 p < 0,05		U = 44,00 p < 0,05
VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	U = 61,00 p < 0,05	U = 44,00 p < 0,05	

Tabel 3. Statistiliselt olulise erinevuse olemasolu õpistsenaariumis kahe rühma tüdrukute vahel Mann-Whitney U-testi põhjal

	FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM	2D-MUDELITE RÜHM	VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM
FÜÜSILISTE 3D-MUDELITE RÜHM		U = 2,00 p < 0,05	U = 42,00 p < 0,05
2D-MUDELITE RÜHM	U = 2,00 p < 0,05		U = 71,50 p < 0,05
VIRTUAALSETE 3D-MUDELITE RÜHM	U = 42,00 p < 0,05	U = 71,50 p < 0,05	

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kristjan Rea,

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

„Virtuaalsete ja 3D-printeritega loodud füüsiliste mudelite rakendamine „Pinnavormide ja pinnamoe“ teema õppimiseks põhikoolis“,

mille juhendajad on Leo Aleksander Siiman ja Ülle Liiber,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 01.06.2016