

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö geoinformaatikas ja kartograafias (30 EAP)

**Teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi loomine Unity
mängumootoriga**

Daniel Henri Trump

Juhendaja: PhD Raivo Aunap

Kaasjuhendaja: PhD Birgit Viru

Tartu 2026

Annotatsioon

Teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi loomine Unity mängumootoriga

Magistritöö uurib lihtsustatud teemakaartide loomise rakenduse potentsiaali ruumiandmete õpetamise toetamiseks Eesti koolides. Prototüüp prakendus arendati Unity mängumootori abil, võimaldades kasutajatel luua horopleet-teemakaarte Eesti haldusüksuste kohta CSV-andmete importimise teel. Prototüüpi hinnati kvalitatiivse kasutatavusuuringuga, mis ühendas ülesandepõhist testimist ja poolstruktureeritud intervjuusid viie geograafiaõpetajaga. Tulemused näitavad, et õpetajad näevad rakenduses selget väärtust, pakkudes välja mitmeid pedagoogilisi kasutusvõimalusi. Töö järeldeb, et madala õpikõvera teemakaartide loomise rakendus võiks täita puuduva lüli rolli traditsiooniliste atlaste ja professionaalsete geoinfosüsteemide vahel Eesti geograafiaõppes.

Märksõnad: horopleetkaardid, geoinfosüsteemid hariduses, Unity, pedagoogiline kasutatavus, ruumiline mõtlemine

CERCS kood: P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia; S281 Arvuti õpiprogrammide kasutamise metoodika ja pedagoogika

Abstract

Developing a thematic map-making software prototype in the Unity game engine

This master's thesis investigates the potential of a simplified thematic map creation application for supporting spatial data education in Estonian schools. A prototype was developed using the Unity game engine, enabling users to create choropleth maps of Estonian administrative units by importing CSV data. The prototype was evaluated through a qualitative usability study combining task-based testing and semi-structured interviews with five geography teachers. Results indicate that teachers see clear value in such an application and identified multiple pedagogical use cases. The study concludes that a low learning curve map creation application could serve as a missing link between traditional atlases and professional GIS tools in Estonian geography education.

Keywords: choropleth maps, GIS in education, Unity, pedagogical usability, spatial thinking

CERCS code: P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology; S281 Computer-assisted education

Sisukord

Sissejuhatus.....	5
1. Teoreetilised lähtekohad.....	7
1.1 Kaartide kasutamine koolis.....	7
1.2 Õppimise protsess.....	9
1.3 Digitaalsete kaartide ja geoinfosüsteemide kasutus Eesti haridussüsteemis.....	9
1.4 Kliendarhitektuuri mudelid.....	11
1.5 Interaktiivse kartograafia tehnoloogiline maastik.....	12
1.5.1 Geoinfosüsteemidel põhinevad lahendused.....	12
1.5.2 Veebikesksed teegid.....	13
1.5.3 Mängumootorid (Unity).....	14
1.6 Internetipõhised alternatiivid loodavale rakendusele.....	14
2. Andmed ja metoodika.....	19
2.1 Kriteeriumid tarkvarale.....	19
2.2 Lähteandmed.....	20
2.3 Prototüübi loomiseks kasutatud tehnoloogiad.....	20
2.4 Ruumiandmete ettevalmistamine.....	22
2.5 Andmete importimise loogika.....	23
2.6 Rakenduse tarkvaraline arhitektuur ja andmehaldus.....	25
2.7 Visuaalide otsused ja loogika.....	27
2.8 Prototüübi testimine ja poolstruktureeritud intervjuu kava.....	30
3. Tulemused.....	33
3.1 Teemakaartide koostamise tarkvara prototüüp.....	33
3.2 Kasutatavusuuringu ja intervjuu tulemused.....	40
3.2.1 Kasutatavusuuringu tulemused.....	40
3.2.2 Intervjuu tulemused.....	44
4. Arutelu ja järeldused.....	51
4.1 Tehnoloogilised aspektid.....	51
4.2 Testimine ja intervjuud.....	52
4.3 Piirangud ja edasised uurimissuunad.....	55
Kokkuvõte.....	57
Summary.....	58
Tänuavaldused.....	60
Kasutatud kirjandus.....	61
Lisad.....	65
Lisa 1.....	65
Lisa 2.....	66
Lisa 3.....	67
Lisa 4.....	69

Lisa 5.....	71
Lisa 6.....	74
Lisa 7.....	75

Sissejuhatus

Erinevaid geoinfosüsteemide pakutavaid lahendusi on proovitud üldharidusõppes kasutada juba 90ndatest alates (Bednarz, 2004). Eestis on nii põhikooli kui gümnaasiumi riiklikus õppekavas ette nähtud digitaalsete kaartide õppetöösse lõimimine (Riigi Teataja, 6.01.2011 määrused nr 1 ja 2). Lisaks sellele on gümnaasiumi loodusainete valikkursusena muu hulgas välja toodud ka geoinformaatika (Riigi Teataja, 6.01.2011. a määrus nr 2). Selle valikkursuse eesmärk on toimida lülina gümnaasiumi ja ülikooli vahel (Roosaare & Liiber, 2013).

Laialdast geoinfosüsteemide rakendamist hariduses on pärssinud oluliselt geoinfosüsteemide suur õpikõver nii õpilastele kui ka õpetajatele (Bednarz, 2004; Fargher, 2018). Lisaks suurele õpikõverale on tihtipeale probleemiks ka ligipääs arvutitele, lihtsasti kättesaadavatele ja kasutatavatele andmetele ning suur ajakulu tunni ettevalmistamiseks (Baker *et al.*, 2009). Samas edendab geoinfosüsteemide lõimimine haridusse õpilaste ruumilise mõtlemist, probleemide lahendamiseks vajalikke oskusi ja üldiseid geograafilisi teadmisi (Bondarenko, 2025).

Magistritöö eesmärgiks oli luua lihtne kaardi loomise tarkvara prototüüp, mille abil saab luua horopleet-teemakaarte Eestist. Prototüübi loomise eesmärk oli saada õpetajate hinnang sellise madala õpikõveraga kaardi loomise tarkvara potentsiaali kohta ruumiandmete õpetamise edendamisel ning hinnata selle rakendatavust Eesti koolide kontekstis. Töö eesmärgi alusel loodi neli uurimisküsimust, millele prooviti töö käigus vastuseid leida.

Uurimisküsimused:

1. Millised on Unity mängumootori tehnilised võimalused ja väljakutsed interaktiivsete ning kartograafiliselt korrektsete teemakaartide loomise tarkvara arendamisel?
2. Mis on peamised takistused ja võimalused loodud tarkvara kasutamiseks klassiruumis?
3. Milliseid kasutajaliideste põhimõtteid on oluline silmas pidada selleks, et muuta andmete visualiseerimine ja klassifitseerimine intuiitivseks n-ö mitteekspertidest kasutajatele, eriti hariduslikus kontekstis?

4. Mis on kaardi loomise programmide potentsiaal edendada ruumiandmete õpetamist geograafiaõpetajate arvates?

1. Teoreetilised lähtekohad

1.1 Kaartide kasutamine koolis

Esimesed kooliatlased nagu *Kleiner Atlas Scholasticus* (1710) hakkasid ilmuma 18. sajandi alguses, kuid alles 19. sajandi teises pooles muutusid atlased geograafia kooliõppe oluliseks osaks (Martinelli, 2009; Reyes Nunez, 2020). Ajalooliselt oli neil atlastel kaks peamist eesmärki: esiteks „kaardiõpetus”, mis keskendus õpilase ruumilise mõtlemise arendamisele, ning teiseks „õpetamine kaardi abil”, mis kasutas kaarte, et õpetada maailma tundmist ja teadmisi (Martinelli, 2009). Selle üleminekuperioodi jooksul sai atlastest palju enam kui lihtsalt kaartide kogum. Nimelt organiseeriti kaardid süsteemselt selleks, et arendada õpilaste geograafilist teadlikkust ja kriitilise mõtlemise võimekust (Jonuzi ja Selvi, 2025; Martinelli, 2009).

20. sajandil arendasid koolis geograafia õpetamise meetodeid edasi Piaget ja Vygotsky, kes jõudsid järeldusele, et laste arusaam ruumist areneb etappide haaval (Wiegand, 2006). Tänapäevaks on nende meetodeid veelgi edasi arendatud ning peamiselt keskendutakse nelja peamise oskuse arendamisele – sümbolitest arusaamine, asukohtade leidmine, suunataju ja mõõtkava mõistmine (Reyes Nunez, 2020). Safaraliyeva jt võrdlesid oma 2019. aasta uuringus erinevate riikide õppekavasid, ning leidsid, et nende oskuste õpetamine toimus kõigis uuritud riikides, kuid õpilaste kui sihtrühma vanus sõltus riigi õppekavast. Wiegand (2006) rõhutab, et kaardi disain peab vastama õpilase vaimsele võimekusele ehk võtma arvesse, millises etapis õpilane parasjagu on. Olenemata sellest on Jonuzi ja Selvi (2025) leidnud, et traditsioonilisi õppematerjale kasutatakse vähe, kuna need ei lange tihtipeale kokku õpilaste vaimse võimekusega.

Nende probleemide lahendamiseks keskendub tänapäevane koolikartograafia lastekesksele disainile – sümbolid proovitakse hoida võimalikud lihtsad, et need oleks õpilastele mõistetavad, kuid siiski tõepäraseid (Jonuzi ja Selvi, 2025; Wiegand, 2006). Ka kaardi teemade valikul lähtutakse õpilaste vanusest ja eeldatavast vaimsetest võimekusest (Wiegand, 2006). Jonuzi ja Selvi (2025) on leidnud, et interaktiivsete materjalide (teemakaardid ja praktiliste ülesannete lahendamine) kaasamine õppetööse parandab õpilaste ruumilist tajut ja kaardilugemisoskust keskmiselt 31,5% võrra.

90ndate digipöörde alguses prooviti klassiruumis kasutusele võtta professionaalseid geoinfosüsteeme, kuna selles nähti palju potentsiaali, kuid leiti ka palju puudujääke. Kolm valdkonda, kus peamiselt geoinfosüsteemide potentsiaali hariduses nähti, olid hariduslik potentsiaal (hea viis loodusteaduseid õpetada), tööturu potentsiaal (valmistada ette õpilasi digitaalseks maailmaks) ja kohapõhine potentsiaal (hea viis õppida kohalikku keskkonda) (Bednarz, 2004). Põhiliseks puudujäägiks peetakse geoinfosüsteemide keerukust ja järsku õppimiskõverat. Esimesed digitaalsed tööriistad ei olnud palju efektiivsemad kui varasemad meetodid kaartide tegemiseks ning tavakasutajale jäid need tööriistad liiga keeruliseks, eriti tavalise koolitunni pikkust arvestades (Bednarz, 2004; Fargher, 2018).

Viimaste kümnendite jooksul digipöörde tagajärjel arenes edukalt WebGIS, mille tagajärjel on kasvanud ligipääs geoinformaatika tööriistadele. Innovatsioonid nagu „*smart mapping*” (nutikas kaardistamine) ja kasutajasõbralikud kasutajaliidesed on muutnud kaartide loomise õpetajatele ja õpilastele oluliselt lihtsamaks. Tänu automaatsetele ja n-ö tarkadele süsteemidele saavad ka algajad luua kvaliteetseid kaarte, ilma et nad peaksid tegelema geoinfosüsteemide keerukusega (Fargher, 2018). Sedasorti arengute abil saavad õpilased andmete vaatamisele ja päheõppimisele lisaks andmeid ja kaarte muuta. See annab õpilastele võimekuse leidmaks vastuseid küsimustele nagu „Miks just seal nii on?” (Fargher, 2018; Jonuzi ja Selvi, 2025; Reyes Nunez, 2020).

Lisaks on arvutite võimekuse kasv võimaldanud 3D kartograafiliste mudelite kasutamist topograafilise reljeefi kaartide lugemise õppimiseks (Carbonell-Carrera jt, 2017). Carbonell-Carrera jt (2017) on leidnud, et interaktiivsete 3D-tööriistade kasutamine aitab õpilastel paremini õppida topograafiliste kaartide lugemisoskust, mis parandab nende orienteerumisvõimet kaardil. Kasutades 3D-d ja mängumootorite võimekusi ehk tööriistu, mida on Reyes Nunez (2020) kirjeldanud kui digitaalse maailma pakutavaid uusi võimalusi, vähendamaks geoinfosüsteemide õpikõrverat, saab luua tänapäevaseid hariduslikke tööriistu, mis toetavad geograafiaõpetuse eesmärkide täitmist – kaartide lugemisoskus, ruumitaju ja ruumilise pädevuse, geograafilise maailmavaate toetamine (Bednarz, 2004; Jonuzi ja Selvi, 2025; Bondarenko, 2025).

1.2 Õppimise protsess

Õpikõverad on graafilised kujutised, mis kirjeldavad, kuidas sooritusvõime paraneb harjutamise käigus ennustataval viisil. Paljude ülesannete puhul kirjeldab õppimist nn harjutamise astmeseadus (ingl. k. *power law of practice*), mille kohaselt toimub alguses kiire areng, mis aja jooksul aeglustub ning võib stabiliseeruda platoole (Schooler ja Ritter, 2001). Kognitiivse koormuse teooria kohaselt tekib kasutajal suure elementide interaktiivsuse (ingl. k. *element interactivity*) korral vajadus hoida töömälu korraga mitut omavahel seotud komponenti (nt andmetabelid, kihid ja projektsioonid), mis võib õppimisprotsessi aeglustada (Sweller, 1994). Sellest teoriast lähtuvalt võib professionaalsete geoinformaatiliste tööriistade kasutamisel kiiret arengut aeglustada kõrge elementide interaktiivsus.

Selle vältimiseks tuleb vähendada välist kognitiivset koormust (ingl. k. *extraneous cognitive load*), mis koormab õppija töömälu ilma õppimist toetamata. Kui töömälu ei ole hõivatud ebaolulise või halvasti esitatud infoga, saab õppija suunata rohkem kognitiivseid ressursse teadmiste omandamisse (Paas jt, 2003). Sellist õppimist soodustavat lähenemist, kus disainilahendused on suunatud vaimse ressursi säästmisele ja õppija toetamisele, nimetatakse pedagoogiliseks kasutatavuseks (ingl. k. *pedagogical usability*). Erinevalt tehnilisest kasutatavusest keskendub see süsteemi suutlikkusele pakkuda hariduslikku tuge ja juhendamist (Lu jt, 2022).

1.3 Digitaalsete kaartide ja geoinfosüsteemide kasutus Eesti haridussüsteemis

Nii põhikooli kui gümnaasiumi riiklikus õppekavas on ette nähtud digitaalsete kaartide õppetöösse lõimimine (Põhikooli riiklik õppekava, 2011; Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011), millest nähtub, et teemakaartide loomise tarkvaral kui õppevahendil võiks olla oluline roll nii põhi- kui keskastmes.

Põhikooli riikliku õppekava § 1 lg 4 kohaselt koosneb riiklik õppekava lisaks üldosale ka lisadest, milles on esitatud ainevaldkondade kavad ja läbitavate teemade kirjeldused. Lisas nr 4, mis käsitleb loodusainete valdkonda, on ühe õpitulemusena välja toodud kaartide kasutamine. Põhikooli lõpuks peaks õpilane oskama kasutada nii paber- kui digikaarte, et

leida infot, iseloomustada objekte ja nähtusi, analüüsida, teha järeldusi ja ruumilisi otsuseid ning neid põhjendada. Samuti peaks õpilane oskama kaarti lugeda, mõista legende ja kaardil kujutatud protsesse ning olema võimeline koostama kaarti või muud ruumiinfot edastavat mudelit. (Põhikooli riiklik õppekava, 2011)

Gümnaasiumi riikliku õppekava määruse § 1 lg 3 kohaselt koosneb riiklik õppekava muu hulgas ka lisadest. Loodusainete valdkonda käsitlevas lisas nr 4 on geograafia õppeaine kirjelduses välja toodud, et gümnaasiumiõpilased peaksid geograafiat õppides omandama kaardilugemise ja infotehnoloogia mitmekülgse kasutamise oskuse, mis hõlmab muu hulgas ka kohateabe teenuste, interaktiivsete kaartide ja veebipõhiste andmebaaside kasutamist info leidmiseks, seoste analüüsiks ning üldistuste ja järelduste tegemiseks. (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011)

Samuti rõhutatakse, et geograafiaõppes on olulise tähtsusega geoinfosüsteemide kasutamine. Geograafia õppeaines rahvastikku ja majandust käsitleva kursuse praktiliste töödena tuuakse välja näiteks probleemülesannete lahendamine Maa- ja Ruumiameti geoportaali ja teiste interaktiivsete kaartidega. (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011)

Põhikooli riikliku õppekava määruse § 23 lg 1 kohaselt peab põhikooliõpilane kooli lõpetamiseks sooritama loovtoo ning gümnaasiumi riikliku õppekava määruse § 18 lg 2 p 4 kohaselt peab gümnaasiumiõpilane kooli lõpetamiseks sooritama õpilasuurimuse või praktilise töö (Põhikooli riiklik õppekava, 2011; Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011). Artiklis „GIS in school education in Estonia – looking for a holistic approach” kirjutavad autorid, et lõputöö kirjutamise kohustus võib soodustada geoinfosüsteemide kasutamist (Roosaare ja Liiber, 2013).

Gümnaasiumi loodusainete valikkursusena on muu hulgas välja toodud ka geoinformaatika (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011), kuid kui paljudes koolides seda ainet päriselt õppida saab, ei ole teada. Küll aga pakub Tartu Ülikooli teaduskool kõikidele gümnaasiumiõpilastele tasulist e-kursust geoinformaatika alal, mille ainekavasse kuulub ka teemakaartide koostamine (TÜ teaduskooli e-õppekeskus). Geoinformaatika õpetamiseks tavapärase geograafiatunni raames kasutatakse koolides nii geograafiaõpikuid kui internetist leitavaid materjale (Sulg, 2017). Geoinformaatika valikkursuse eesmärk on toimida lülina gümnaasiumi ja ülikooli vahel (Roosaare ja Liiber, 2013).

Geograafia, geoinformaatika ja ruumiandmete populariseerimiseks õpilaste seas ja õppekava toetamiseks on loodud erinevaid programme. Näiteks on Tartu Ülikooli geograafiahuviliste tudengite selts EGEA-Tartu korraldanud eeskätt 7.-12. klassi õpilastele ja nende õpetajatele GIS-päevi, mille raames saavad huvilised kuulata loenguid, osaleda töötubades ning tutvuda GIS-valdkonnas tegutsejatega (EGEA-Tartu, GIS-päev). Samuti on EGEA-Tartu projekti „Lahe geograafiatund” raames viinud nii põhikoolides kui gümnaasiumites läbi teematunde, mis tutvustavad geograafia erinevaid haridusi ja rakendusvaldkondi, sealhulgas ka geoinformaatikat (EGEA-Tartu, Lahe geograafiatund).

Geoinfosüsteemide kasutamine on hõlmatud ka riiklikes geograafiaolümpiaadides, mida korraldab Tartu Ülikooli teaduskool. Olümpiaad toimub kord aastas ning kolmes osas: kooli-, piirkonna- ja lõppvoor. Osaleda saavad 7.-12. klassi õpilased (TÜ teaduskool, Geograafiaolümpiaad). Olümpiaadiülesannete lahendamiseks vajaliku vahendina on kasutatud ka Maa- ja Ruumiameti geoportaali. Artiklis „The Experience of Using Geoportal in National Geography Olympiad in Estonia” kirjutavad autorid, et õpilased on geoportaali kasutamisest huvitatud ning nende õpetajad leiavad, et tegemist on olulise osaga e-õppes, mis võimaldab mitmekülgsete ruumiülesannete loomist. (Uuemaa ja Liiber, 2014)

1.4 Kliendarhitektuuri mudelid

Rakenduse arhitektuur mõjutab otseselt seda, milline on õpetaja kogemus tööriista kasutamisel, kui kiiresti rakendus reageerib, kas see töötab ilma stabiilse internetiühendusega ja kui palju tehnilist seadistamist see eeldab.

Rakenduse töökiirus ja interaktiivsus sõltuvad sellest, kuhu on paigutatud tarkvara loogika ja andmetöötlus. Traditsiooniliselt jaotatakse süsteemiarhitektuurid järgnevasse kategooriatesse (Coulouris jt, 2012):

Õhuke klient (*thin client*): See on levinuim veebimudel, kus klientseade (nt veebilehitseja) vastutab peamiselt esituskihi eest ja server teostab põhilise andmetöötluse. Mudeli peamine puudus on sõltuvus võrguühendusest, kus võrguprobleemid võivad põhjustada rakenduse aeglustumist või kokkujooksmist, mis võib omakorda suurendada välist kognitiivset koormust (Erl jt, 2013; Coulouris jt, 2012).

Paks klient (ingl. k. *thick client*): Selle mudeli puhul asuvad nii rakenduse kood kui ka andmed kasutaja seadmes. Paks klient on eelistatud kõrget interaktiivsust nõudvate ülesannete puhul, kuna need võimaldavad kasutada kasutaja seadme arvutusressursse ja töötada ka ilma püsiva võrguühenduseta (Tanenbaum ja Van Steen, 2007). See eeldab aga tarkvara paigaldamist kasutaja seadmesse, mis võib koolides olla logistiline takistus.

Rikkalikud veebirakendused (ingl. k. *rich internet application*): Rikkalikud veebirakendused (nt Unity-põhised veebilahendused) on hübriidmudelid, mis käituvad veebilehitsejas sarnaselt paksule kliendile. Selline mudel liigutab suure osa esitus- ja arvutusloogikast kliendi poolele, et minimeerida serveripäringute arvu ja seeläbi suurendada süsteemi reageerimiskiirust (Preciado jt, 2007). Rikkalikud veebirakendused ühendavad mõlema mudeli eelised – need töötavad brauseris ilma paigaldamiseta, kuid kasutavad kliendipoolset arvutusvõimsust, mis tagab kiire reageerimise.

Nende arhitektuursete erinevuste mõistmine on oluline, kuna need määravad, milliseid tehnoloogilisi raamistikke on mõistlik kaaluda klassiruumis kasutatava kaardirakenduse loomiseks.

1.5 Interaktiivse kartograafia tehnoloogiline maastik

Interaktiivset kaardirakendust arendades peab arendaja tegema valiku tehnoloogilise raamistiku osas, mida kasutada rakenduse loomiseks. Valiku tegemisel tuleb arvestada erinevate tehniliste piirangutega, sealhulgas renderdamise jõudluse, kasutajaliidese loomise paindlikkuse ning andmete kuvamise täpsusega (Balla ja Gede, 2025). Üldiselt võib kaardirakenduste loomise raamistikke käsitleda erinevate lähenemistena, mis jaotati selles töös kolme kategooriasse.

1.5.1 Geoinfosüsteemidel põhinevad lahendused

Geoinfosüsteemide arhitektuuril põhinevad lahendused on näiteks ArcGIS Online või GeoServer. Need on peamiselt loodud ruumiandmete haldamiseks ning täpseks analüüsiks.

ArcGIS Online'i abil saab luua rakendusi ilma koodi kirjutamiseta. Rakenduses leiduvad süsteemid töötavad koos hästi ning rakenduste loomine on kiire protsess. Peamine nõrkus on aga see, et rakendus tuleb luua ArcGIS Online'i standardlahenduste põhjal ning seetõttu on arendajal raske luua uusi funktsionaalsusi või muuta kasutajaliidest oluliselt (Manson jt, 2014).

GeoServeri või üldisemalt *server-side rendering* abil saab hästi hallata suuri andmestikke, mis oleksid tavalise veebilehitseja jaoks liiga nõudlikud. GeoServeri arhitektuur järgib õhukese kliendi mudelit. Arendaja loob loogika, mille abil server renderdab andmed serveris piltidena (WMS) või filtreeritud ruumiobjektidena (WFS) ning need saadetakse kasutajale vastavalt vajadusele. Kasutaja arvuti ei pea ise suuri arvutusi tegema. Sellega kaasnevad aga piirangud, kuna paljudele kasutaja poolt tehtud muudatustele järgneb päring serverile ja serverist andmete saatmine (Moretz, 2008). See võib tekitada rakendusele viiteaja, kus andmeid värskendatakse.

1.5.2 Veebikesksed teegid

Veebikesksed kaarditeegid on JavaScripti põhised lahendused, mis võimaldavad interaktiivsete kaartide loomist veebilehitsejas. Sellised teegid pakuvad arendajale valmis funktsionaalsusi ruumiandmete kuvamiseks ning kaartide stiliseerimiseks. Veebikaartide loomisel kasutatakse laialdaselt teeki nagu Leaflet ja Mapbox GL JS (Balla ja Gede 2025; Leaflet, 2025; Mapbox dokumentatsioon, i.a.). Veebikesksed teegid esindavad rikkalike veebirakenduste mudelit, kus renderdamine toimub **osaliselt** kliendipoolel, vähendades sõltuvust serveri reageerimiskiirusest.

Leaflet on 2D-mootor, mis renderdab vektorkujul ruumiobjekte ja rasterpilte. Arendaja seisukohalt on teeki lihtne kasutada, kuid sellel esinevad olulised piirangud. Näiteks võib suurt arvu punkte sisaldav andmestik muutuda veebilehitsejas väga aeglaseks. Lisaks sellele ei saa kuvada Leafletiga 3D-andmeid (Leaflet, 2025; Balla ja Gede, 2025).

Mapbox GL JS teek kasutab WebGL tehnoloogiat (ingl. k. *Web Graphics Library*), mis võimaldab arendajal renderdada kaarte kasutaja graafikakaardi abil. See tagab oluliselt suurema jõudluse ja toetab 3D-andmete kuvamist (Mapbox dokumentatsioon, i.a.).

Olenemata nendest tugevustest on arendaja kontroll kasutajaliidese üle piiratud, eriti kui soovitakse luua kasutajaliidest, mis ei ole kaardirakendustes levinud.

1.5.3 Mängumootorid (Unity)

Mängumootorid nagu Unity keskenduvad peamiselt reaajas renderdamisele ja andmete modelleerimise vabadusele andmebaasihalduse asemel (Fang, 2025). Seetõttu erineb nende tarkvaraarhitektuur oluliselt traditsiooniliste geoinfosüsteemide arhitektuurist.

Objektikeskne skriptimine: Unity keskkonnas käsitletakse iga objekti (loodud rakenduse puhul omavalitsus või maakond) iseseisva mänguobjektina (ingl. k. *GameObject*). See võimaldab arendajal lisada unikaalseid skripte otse geomeetrialet, hallates selle olekut (nt värvi, nähtavust ja metaandmeid) teistest objektidest sõltumatult (Unity dokumentatsioon, *GameObject*). Selline objektipõhine lähenemine võib olla arendusprotsessis paindlikum ja lihtsamini hallatav kui muudatuste tegemine ühes suures andmefailis (Kumar jt, 2019).

Kasutajaliidese ja -kogemuse vabadus: Unity pakub eraldiseisvat kasutajaliidese süsteemi, mis võimaldab arendajal kujundada kasutajaliidese sõltumatult tavapärastest veebikaartide raamistiket. See annab suurema paindlikkuse rakenduse visuaalse ülesehituse ja kasutajakogemuse kujundamisel (Unity dokumentatsioon, Kasutajaliides).

Riistvaraline kiirendus: Unity on loodud kasutama graafikaprotsessori riistvaralist kiirendust renderdamiseks. See võimaldab kuvada keerukamaid animatsioone ja sujuvaid üleminekuid 2D- ja 3D-vaadete vahel (Unity dokumentatsioon, Renderdamine).

Kuigi Unity arenduskeskkond ise toimib paksu kliendi põhimõttel, võimaldab Unity WebGL eksport luua rikkalikke veebirakendusi. Valmis rakendus käivitatakse brauseris ilma paigaldamiseta, kuid **kõik** renderdamine toimub kasutaja seadmes.

1.6 Internetipõhised alternatiivid loodavale rakendusele

Loodava rakenduse vajalikkuse ja unikaalsuse hindamiseks viidi läbi võrdlev analüüs populaarsete veebipõhiste kaardirakenduste vahel. Analüüsi eesmärk oli selgitada välja,

millised on olemasolevate tarkvarade funktsionaalsed piirangud, eriti seoses andmepõhiste horopleetkaartide loomise ja statistilise analüüsiga. Võrdluse tulemused on koondatud tabelitesse 1 ja 2.

Olemasolevad tarkvaralahendused saab jagada kolme peamisse gruppi: lihtsustatud disainitööriistad, professionaalsed analüütikaplatvormid ja automaatsed veebikaartide loomise tarkvarad.

Esimese grupi moodustavad rakendused nagu Mapchart, Pixelmap ja Canva, mida võib võrrelda värvimisraamatutega. Kuigi need on visuaalselt ilusad ja tasuta kättesaadavad, puudub neis võimalus andmeid importida (vt Tabel 1). Kasutaja peab igale piirkonnale (nt maakonnale) värvi käsitsi määrama, mis tähendab, et andmete statistiline rühmitamine tuleb teostada väljaspool rakendust. See muudab kaardiloomise protsessi ajamahukaks ja raskemaks, kuna kasutaja peab ise andmed gruppidesse jagama ja sedasi horopleetkaarti luues võib kasutaja teha vigu (nt vale rea andmed vale piirkonna küljes).

Teise grupi moodustavad professionaalsed analüütikatarkvarad nagu Tableau ja Flourish. Need tööriistad on väga võimekad, sisaldades laia valikut analüüsimeetodeid ja automatiseeritud legende. Samas on nende peamiseks puuduseks järsk õppimiskõver ja hind. Tableau on praktiliselt sama keeruline kui professionaalsed GIS-programmid (nt ArcGIS või QGIS), mis muudab need tavalise koolitunni raames raskesti kasutatavaks. Lisaks on paljud nende funktsioonid kättesaadavad vaid tasuliste pakettide kaudu, mis ei pruugi olla koolidele kättesaadavad.

Kolmanda grupi moodustavad spetsiaalselt andmete visualiseerimiseks loodud veebirakendused nagu Datawrapper ja Mapfast. Need on hetkel turul kõige lähemal selle töö eesmärgile, pakkudes CSV-andmete importi ja automaatset klassifitseerimist. Siiski näitas analüüs, et ka nendel on piiranguid: tasuta versioonidel on sageli tulemuste eksportimise piirangud (nt resolutsiooni või failitüübi osas), analüüsipiirangud või importimise piirangud (saab visualiseerida ainult teatud koguse andmeid). Lisaks puudub neil spetsiifiline fookus Eesti haldusüksustele ja nende interaktiivsele visualiseerimisele. Veel selgus, et enamik lihtsaid ja tasuta tööriistu ei paku automaatset andmete rühmitamist. See on oluline puudujääk, kuna ilma selleta on horopleetkaartide loomine keeruline ja aeganõudev.

Analüüsist jäeti välja tööriistad, mis ei ole veebipõhised (nt Exceli kaardifunktsioon) ning rakendused, mis on mõeldud üksnes olemasolevate andmete vaatamiseks ilma kasutaja andmete lisamise võimaluseta (nt Statistikaameti kaardirakendus).

Kokkuvõtteks võib öelda, et kuigi turul on alternatiive, on need kas liiga ebamugavad (nt puudub automaatne import) või eeldatavasti haridustöötajate ja õpilaste jaoks liiga keerulised ja kallid. Töö raames loodav Unity mängumootoril põhinev prototüüp püüab seda tühimikku täita, pakkudes tasakaalu analüütilise võimekuse ja intuitiivse kasutusmugavuse vahel, toetades seeläbi riiklikus õppekavas seatud geoinformaatika eesmärke.

Tabel 1. Veebipõhiste kaardirakenduste funktsionaalsuse võrdlus.

Tarkvara	Andmepõhine horopleetkaart	Andmete import	Manuaalne andmete muutmine rakenduses	Analüüsimeetodid horopleedi jaoks	Automaatne legend	Legendi muutmine	Hind	Kaardi salvestamine
maps.co	Ei	Jah (punktid)	Jah	Ei	Ei	Ei	Tasuline	Link
Everviz	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Tasuline	Pilt/Link
Mapcreator	Piiratud	Jah	Jah	Piiratud	Jah	Jah	Tasuline	Pilt/Vektor
Flourish	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Tasuline	Pilt/Link/PDF
Tableau Public/Cloud	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Osaliselt tasuta	Pilt/Link/PDF
Canva	Ei	Ei	Jah	Ei	Ei	Jah	Osaliselt tasuta	Pilt/PDF
Easy map maker	Ei	Jah (punktid)	Jah	Ei	Ei	Ei	Osaliselt tasuta	Link
Mapfast	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Osaliselt tasuta	Pilt/Link
Mapchart	Piiratud	Piiratud	Jah	Ei	Ei	Jah	Osaliselt tasuta	Pilt
National Geographic MapMaker	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Tasuta	Pilt
Pixelmap	Ei	Ei	Jah	Ei	Ei	Ei	Tasuta	Pilt/HTML
Datawrapper	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Tasuta	Pilt/Link/PDF

Tabel 2. Veebipõhiste kaardirakenduste funktsionaalsuse võrdlus.

Tarkvara	Märkused	Link
maps.co	Fookus on asukohapunktidel.	https://maps.co/gis/
Everviz	Professionaalne, suunatud meediale.	https://app.everviz.com
Mapcreator	Suunatud trükimeediale ja ajalehtedele.	https://mapcreator.io
Flourish	Professionaalne analüütika, suur õpikõver.	https://flourish.studio/
Tableau	Professionaalne analüütika, suur õpikõver. Praktiliselt sama keeruline kui GIS.	https://www.tableau.com
Canva	Staatiline graafika, andmetöötlus puudub.	https://www.canva.com
Easy map maker	Teeb aadresside põhjal punkte, mitte pindasid.	https://www.easymapmaker.com/
Mapfast	Kiire, aga vähe klassifitseerimise valikuid.	https://app.mapfast.co
Mapchart	Peamiselt manuaalne värvimine. On ka exceli lisa.	https://www.mapchart.net
National Geographic MapMaker	Hariduslik andmete vaatamise tööriist.	https://www.nationalgeographic.org/society/education-resources/mapmaker-launch-guide/
Pixelmap	"Värvimisraamat" kasutaja valib iga riigi värvi ise.	https://pixelmap.amcharts.com/
Datawrapper	Üks parimaid. Kuid arvan, et algaja jaoks liiga keeruline.	https://app.datawrapper.de

2. Andmed ja metoodika

2.1 Kriteeriumid tarkvarale

Valdkonna kirjandusega tutvumise käigus järelitati, et tavapärased geoinformaatika tööriistad on ilmselt õpilaste ja võib-olla ka õpetajate jaoks liiga keerulised ning oluline oleks uurida, kas nendele tööriistadele leidub alternatiive. Lisaks ajendas tarkvara kriteeriumeid ja funktsionaalsuseid asjaolu, et selleks ajaks, kui atlas või kaart jõuab klassiruumi, võivad kuvatud andmed olla juba vananenud ning õpetaja ei saa õpilastele värskemaid andmeid tihti peale näidata. See on ka oluline, kuna atlased koolides võivad olla aastaid samad. Eesmärgiks oli luua esialgsete kriteeriumite põhjal prototüüp, mida saaks õpetajad katsetada ja selle põhjal täpsustada, kas selline tarkvara oleks neile kasulik või vajalik.

Esialgsed paika pandud tarkvarafunktsioonid olid järgmised:

1. maakonna tasemel andmed;
2. lihtsastimõistetav kasutajaliides;
3. lihtne andmete sisestus (nii manuaalselt hiirega kui ka otse CSV failid);
4. maakondade automaatne kategooriatesse jagamine andmete ja klassifikatsiooni meetodi põhjal;
5. pindobjektile kuvada korraga kolme erinevat muutujat (nt eestlaste osakaal, venelaste osakaal, tatarlaste osakaal);
6. sektordiagrammid suuremates Eesti linnades koos automaatse kategoriseerimisega;
7. lihtsasti eksporditav tulemus;
8. 3–5 värvistiili, mille vahel saab kasutaja valida;
9. legendi automaatne genereerimine;
10. legendi ja pealkirja redigeerimine.

Tarkvara koostamisel jõuti järeldusele, et rakenduse internetis kasutatavaks tegemine aitaks kaasa õpikõvera vähendamisele ja muudaks rakenduse kasutamise mugavamaks, kuna kasutaja ei peaks tegelema programmi installimisega. Lisaks sellele otsustati mitte lisada kolme erineva muutuja kuvamise funktsiooni, kuna sellega kaasneks erinevad kasutajaliidese elemendid, mis muudaks rakenduse õpikõvera intensiivsemaks. Sektordiagrammide funktsioon jäeti välja, kuna selle lisamiseks ei jätkunud autoril aega. Küll aga lisati võimalus

kuvada informatsiooni ka omavalitsuse tasandil, kuna see võiks avardada rakenduse võimalusi hariduses.

2.2 Lähteandmed

Prototüübi koostamisel kõige olulisem ja praktiliselt ainus kasutatud andmestik on omavalitsuste .shp formaadis kaardikiht. Kaardikiht saadi Maa- ja ruumiameti geoportaalist (Maa- ja Ruumiameti geoportaal) ning seda andmestikku üldistati tugevalt.

Prototüübi testimiseks kasutati peamiselt Statistikaameti andmeid (Statistikaameti andmebaas), kuna need on kõigile kättesaadavad. Oluliseks peeti, et programm suudaks sealt võetud andmeid lugeda, ilma et kasutaja peaks selleks palju vaeva nägema. Näidisandmed, mis pandi koos prototüübiga koos interneti üles, on küll autori poolt korrastatud, kuid pärinevad Statistikaameti andmebaasist.

2.3 Prototüübi loomiseks kasutatud tehnoloogiad

Sellist rakendust luues tuleb üldiselt silmas pidada kahte peamist osa: kasutajapoolne ja tarkvarapoolne osa. Tarkvara arhitektuur hõlmab endas programmi koodi ja seda, kuidas see on üles ehitatud, näiteks kuidas andmeid hoitakse, muudetakse ja lisatakse. Kasutajapoolne osa keskendub sellele, kuidas kasutaja andmeid vaadata saab, näiteks kus mingi nupp on, kaardi vaadete vahetamine ja kaardi liigutamine aknas.

Töö peamiseks keskkonnaks valiti Unity mängumootor (Unity koduleht). Selle keskkonna kasuks otsustati mitmel erineval põhjusel. Esiteks on keskkonna kasutamine tasuta seni, kuni loodud toote pealt on teenitud vähem kui 200 000 dollarit. Teiseks kasutatakse keskkonda laialdaselt erinevate rakenduste loomiseks ning seetõttu leiab internetist palju abistavat materjali keskkonna kasutamise kohta. Lisaks sellele on Unity-sse sisse ehitatud palju erinevaid töövooge ja lahendusi, mille abil on lihtsam luua kasutajaliidest. Valikut toetas ka võimalus eksportida projekt otse veebibrauseris töötavasse vormingusse, mis tegi selle testimise kättesaadavaks platvormidel nagu itch.io. See oli oluline, kuna autoril puudusid

enne töö alustamist teadmised veebiarendusest. Samuti mõjutas otsust autori varasem huvi Unity keskkonna vastu.

Koodi kirjutamiseks kasutati integreeritud arenduskeskkonda (ingl. k. *IDE* ehk *Integrated Development environment*) Visual Studio (Visual Studio koduleht). Keskkonna abil on lihtsam leida vigu ja koodis orienteeruda, kuna erinevad koodi osad on selgelt liigendatud ja värvitud vastavalt funktsioonile. Lisaks sellele saab vaadata, milline koodilõik kus välja kutsutakse.

Versioonihalduseks kasutati Unity-sse sisse ehitatud *Unity Version control* süsteemi. Programmi kood on C# programmeerimiskeeles, millel ka Unity programm põhineb.

Rakenduse prototüübi programmeerimisel kasutati Google AI Studio-t. Tehisintellektile kirjeldati soovitud funktsionaalsusi, tekkinud probleeme ja küsiti seletusi Unity funktsionaalsuste kohta. Autor vastutas rakenduse arhitektuuri kavandamise, koodinäidiste valimise, testimise ning üksteisega ühildamise eest. Keerulisemate programmeerimisprobleemide lahendamisel saadi suunavat nõu tuttavalt erialaspetsialistilt, kes ei kirjutanud koodi, vaid osutas võimalikele lahendusteedele. Töö tekstiosa koostamisel tehisintellekti ei kasutatud.

Tehisintellektiga peetud vestlused olid iteratiivse iseloomuga ning hõlmasid erinevaid teemasid. Näiteks esitati küsimusi Unity WebGL tehnoloogia kohta („What is Unity WebGL? What does it do? Does it convert all my code to JavaScript?“), millele saadi mitmeosaline põhjalik selgitus. Samuti küsiti rakenduse veebis avaldamise võimaluste kohta („I have a Unity project that is a simple map maker. How could I put it up on Unity Play or Itch.io for testing? What should I consider when doing that? Is it possible?“). Konkreetse funktsionaalsuse arendamiseks näiteks CSV-andmete importimise ja kaardi PNG-formaadis eksportimise jaoks kirjeldati tehisintellektile rakenduse ülesehitust ning lisati olemasolev kood. Saadud koodinäidiseid kasutati lähtepunktina, mida hiljem iseseisvalt muudeti ja kohandati.

2.4 Ruumiandmete ettevalmistamine

Andmetöötluse esimeses etapis teisendati ruumiandmed GeoJSON formaati, et tagada andmete loetavus Unity keskkonnas. Erinevalt suletud .shp formaadist on GeoJSON JSON-i põhine standard, mis töötab Unity *Newtonsoft.Json* teegiga. Selle abil sai siduda koordinaadid otse vastavate atribuutidega (nt omavalitsuse kood kui OKOOD või maakonna kood kui MKOOD), mis on aluseks andmete visualiseerimisele.

Kuigi GeoJSON-i standard (RFC 7946) näeb ette WGS 84 (EPSG:4326) koordinaatsüsteemi kasutamist (Butler jt, 2016), otsustati säilitada andmete algne L-EST97 (EPSG:3301) projektsioon. See valik tehti järgnevate tehniliste põhjuste pärast.

Ühilduvus Unity koordinaatsüsteemiga: Unity mängumootor kasutab koordinaatsüsteemi, kus mõõtühikuks on meeter. Kuna L-EST97 on meetripõhine tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem, võimaldas see andmete otsest kaardistamist Unity ruumi ilma täiendavate keerukate teisendusteta.

Moonutused: WGS 84 kraadide kasutamine otse telgedel (X, Y) põhjustaks Eesti aladel olulisi moonutusi. L-EST97 kasutamine tagas, et Eesti kuju ja haldusüksuste vahelised proportsioonid säilisid ekraanil korrektselt. Oluline on veel välja tuua, et L-EST97 koordinaatväärtused on suurusjärgus 10^6 meetrit, mistõttu rakendati andmete importimisel nihkevektorit (ingl. k. *offset*) andmete tsentreerimiseks ja vähendamist.

Lisaks sellele tuli teatud tehniliste erisuste tõttu koordinaatide väärtuseid moonutada. Selleks tehti järgnevad teisendused:

Tsentreerimine: Algetest koordinaatidest lahutati andmestikus kõige esimese koordinaatpunkti väärtused, et nihutada geomeetria Unity maailmaruumi koordinaatide alguspunkti (0,0,0) (0,0,0). Kuna kõikidest koordinaadipaaridest lahutati ühed ja samad arvud, siis objektide omavaheline suhe ei muutunud. See samm oli kriitiline ujukomaarvude täpsusvigade (ingl. k. *floating point precision errors*) vältimiseks, mis muidu võivad põhjustada visuaalseid artefakte ja visuaalset „värisemist” renderdamisel, kuna arvuti ei pruugi nii suuri arve piisava täpsusega renderdada.

Vähendamine: Rakendati vähendamiskordajat 0,01, et viia reaalmaailma meetrid Unity ühikutega paremasse vastavusse. Seda tehti, et hoida ära probleeme renderdamise arvutustega, mis on optimeeritud väiksemate arvvaheemike jaoks.

Lisaks koordinaatide teisendamisele oli kriitiliseks sammuks geomeetria ettevalmistamine renderdamiseks. Kuigi algsed ruumiandmed on kahemõõtmelised (2D), vajab Unity pindade kuvamiseks kolmnurkvõrgustikku (ingl. k. *mesh*). See tähendab, et GeoJSON-is olevad punktide jadasid ei saa otse kuvada. Punktide jada tuleb enne tessalleerida ehk tuleb moodustada kolmnurkvõrgustik. Esialgselt toimus andmete töötlemine ja kolmnurkvõrgustikku genereerimine rakenduse käivitamisel. See meetod osutus aga väga ebaefektiivseks, kuna programmi käivitamine võttis väga kaua aega.

Selle probleemi lahendamiseks kasutati andmete eeltöötlemist. LibTessDotNet teeki kasutades arvutati nii omavalitsuste kui ka maakondade polügoonide kolmnurkvõrgustikud ühe korra valmis ning salvestati eraldi failidena (LibTessDotNet, 2021). Lisaks sellele vähendati ruumiandmete täpsust kasutades keskkonda Mapshaper (Mapshaper, 2026). Andmed keskkonnas vähendati Douglas-Peuckeri algoritmi kasutades ja viisil, et säiliks 0.1% esialgsetest sõlmpunktidest (ingl. k. *vertex*). Need muudatused aitasid optimeerida tööprotsessi ning muutsid rakenduse efektiivsemaks.

Lisaks pindobjektidele valmistati sarnaselt ette ka haldusüksuste piirid. Selle asemel, et joonistada piirid dünaamiliste joonkomponentidega, muudeti need eeltöötamise käigus staatiliseks lintvõrgustikuks (ingl. k. *mesh ribbon*). Selleks genereeriti piiripunktide ümber kitsad polügoonid, mis liideti üheks terviklikuks objektiks, et minimeerida renderdamisprotsessi koormust.

2.5 Andmete importimise loogika

Kuna erinevad andmeallikad (nt Statistikaamet ja kohalikud omavalitsused) kasutavad erinevate tabelite loomisel erinevaid standardeid, arendati välja andmetuvastuse algoritm (CSV parser). See süsteem suudab automaatselt tuvastada:

1. eraldusmärgi (ingl. k. *delimiter*): programm analüüsib tabeli esimest rida ja tuvastab, kas andmete eraldamiseks on kasutatud koma või semikoolonit;
2. päised: programm skaneerib tabeli esimesi ridu, et leida geograafilised andmed (tulp, mis sisaldab valla või maakonna nime). Selleks otsitakse märksõnu nagu „maakond”, „omavalitsus”, „vald”, „haldusüksus” või „elukoht” päises;
3. andmetüübi: Programm tuvastab numbrilised tulbad, eemaldab tühikud ja asendades vajadusel komad punktidega, et tagada ühilduvus C# komaarvude standardiga.

Üks suuremaid väljakutseid statistika sidumisel ruumiandmetega, mis töös ilmnes, oli nimekujude ebaühtlus (nt „Tartu linn”, „Tartu”, „...tartu linn”). Selle lahendamiseks loodi normaliseerimise funktsioon, mis viib nii kaardiandmed kui ka imporditava tabeli sisu ühtsele kujule:

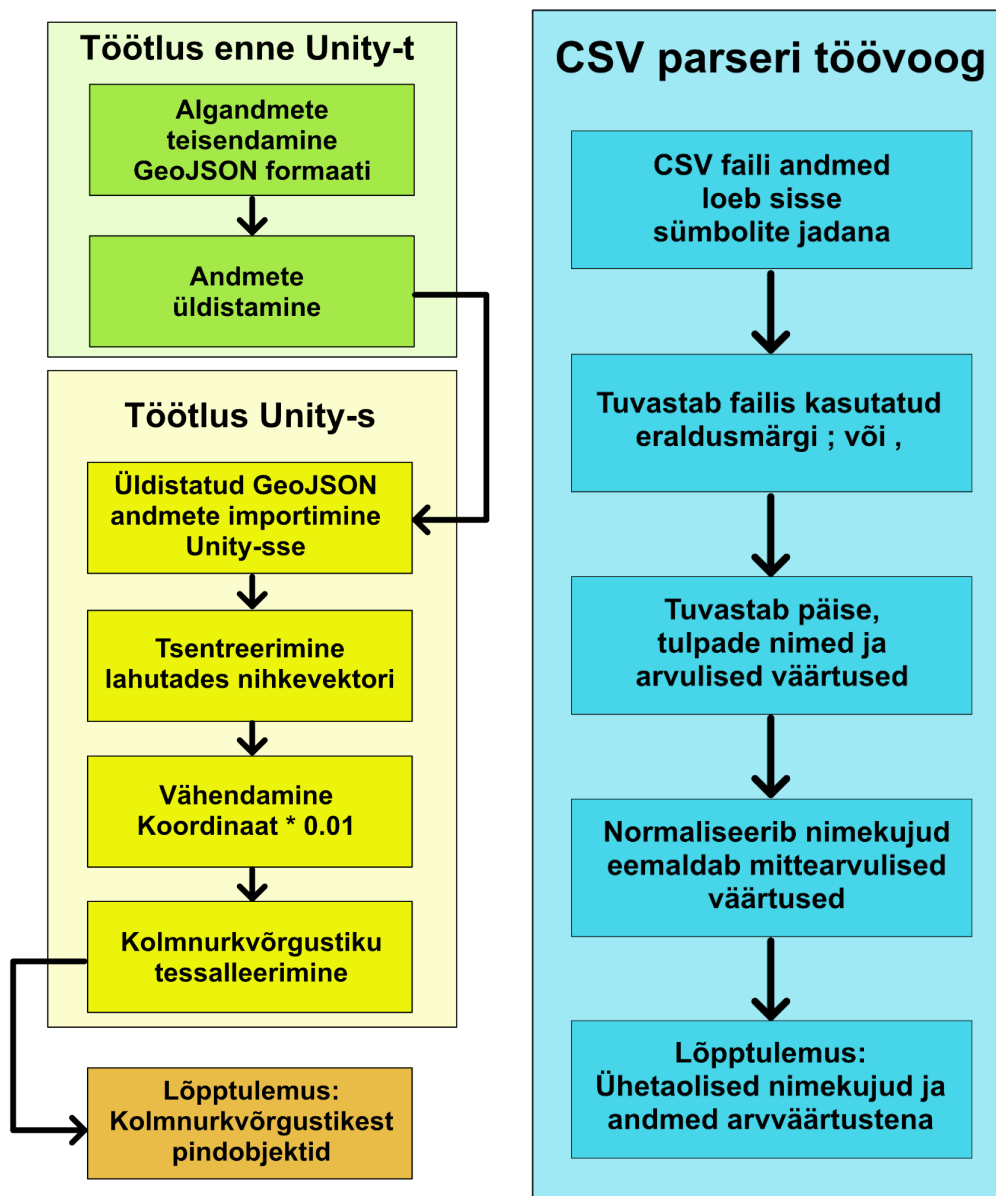
1. kõik tähemärgid muudetakse väiketähtedeks;
2. eemaldatakse liited ja täpsustused (nt „maakond”, „maa”);
3. eemaldatakse tühikud ja kirjavahemärgid.

Olulise erisusena säilitatakse liited „linn” ja „vald”. See otsus võeti vastu arendusprotsessi käigus, et säilitada eristatavus samanimeliste linnaliste ja vallaliste haldusüksuste vahel (nt „Tartu linn” ja „Tartu vald”).

Pärast normaliseerimist võrreldakse andmeid rakenduses olevate objektidega. Kui tabelis leidub piirkondi, mida kaardi andmetes ei eksisteeri (nt aegunud haldusüksuste nimed), või kui kaardil jäävad mõned piirkonnad andmeteta, teavitab süsteem sellest kasutajat hoiatusakna kaudu. See võimaldab kasutajal vead algfailis parandada või jätkata importimist, teades, millised andmed on puudu.

Importimisel rakendatakse ka agregeerimise loogikat. Kui kasutaja impordib andmed ainult omavalitsuste kohta, suudab süsteem maakondade vaatesse arvutada automaatselt summad omavalitsuste väärtuste põhjal. See võimaldab kasutajal analüüsida andmeid erinevatel haldusüksuse tasanditel isegi siis, kui algne andmefail sisaldas vaid väiksema haldusüksuse infot. Oluline on märkida, et vastupidi maakondade andmete pealt omavalitsuse andmeid ei interpoleerita.

Joonis 1. Ülevaade ruumiandmete ettevalmistamine töövoost ja CSV parseri töövoost.



2.6 Rakenduse tarkvaraline arhitektuur ja andmehaldus

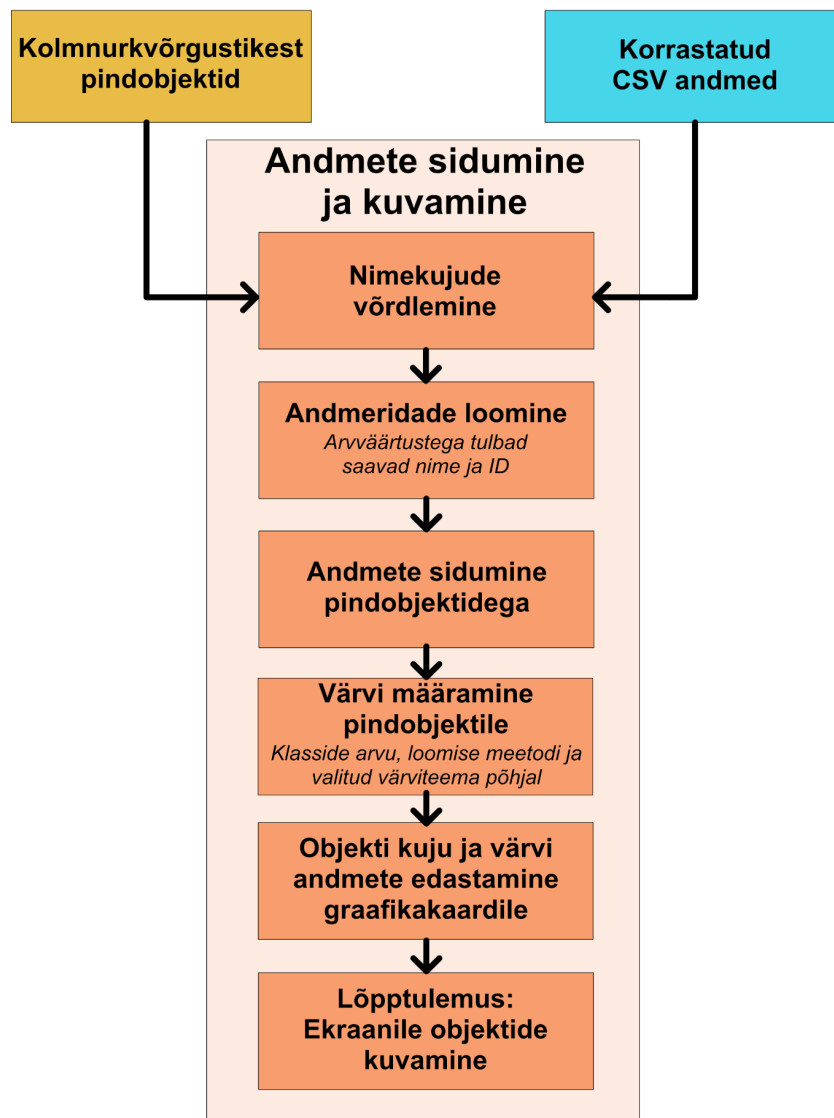
Rakendus on loodud objekt-orienteeritud põhimõttel, kus iga haldusüksus toimib iseseisva andmehoidlana. Rakenduse arhitektuur jaguneb kolmeks peamiseks loogiliseks kihiks: andmete haldus, visualiseerimine ja kasutajaliides. Süsteemi keskne osa on juhtiv-skript, mis koordineerib andmevahetust erinevate moodulite vahel.

Haldusüksuste ja statistiliste andmete sidumiseks kasutatakse EHAK koodi unikaalsete identifikaatoritena (ingl. k. *Primary Key*). Peatükis 2.5 kirjeldatud GeoJSON-i atribuutidest päritud koodid (OKOOD ja MKOOD) salvestatakse iga haldusüksuse juurde. Kui kasutaja impordib CSV-faili, võrdleb süsteem tabelis olevaid koodi või nimesid rakenduses olevate objektide koodidega. See võimaldab andmesidumist, kus ruumiline objekt ja sellele vastav numbriline väärtus ühendatakse reaajas ilma geomeetriat muutmata.

Horopleetkaardi loomise aluseks on andmete jaotamine klassidesse. Rakendusse on programmeeritud kolm peamist statistilist meetodit andmete rühmitamiseks, et pakkuda kasutajale erinevaid viise andmete vaatlemiseks. Meetodid on järgmised:

1. kvantiilid (ingl. k. *Quantiles*): andmed jagatakse rühmadesse nii, et igas klassis on võrdne arv haldusüksusi;
2. võrdsed intervallid (ingl. k. *Equal Intervals*): klassid moodustatakse andmevahemiku koguhulga väärtuse jagamisel võrdseteks osadeks;
3. loomulikud vahed (ingl. k. *Natural Breaks/Jenks*): algoritm leiab andmetest loomupärased klassid, hoides erinevusi klassi sees võimalikult väiksena ja hoides erinevusi klasside vahel võimalikult suurena.

Joonis 2. Ülevaade rakenduse põhilisest arhitektuurist.



2.7 Visuaalide otsused ja loogika

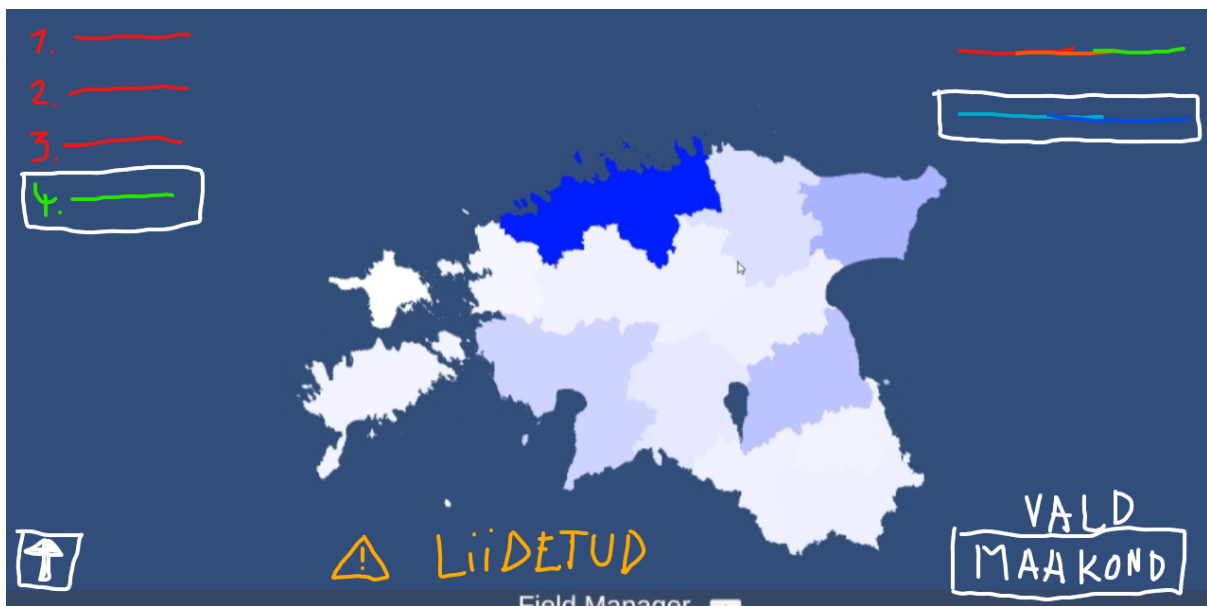
Üldistamine oli lisaks tehnilistele põhjustele oluline ka kartograafiliste kaalutluste tõttu. Alusandmed olid väga täpsed ning sellega kaasnesid visuaalsed probleemid nagu pikslisuurused saared ning sakilised haldusüksuste piirid ja rannajoon.

Värviteemade valikul tugineti ColorBrewer veebirakendusele. See on 2001. aastal loodud rakendus, mis aitab kaardi loomisel valida sobiliku värviteema (Harrower ja Brewer, 2003).

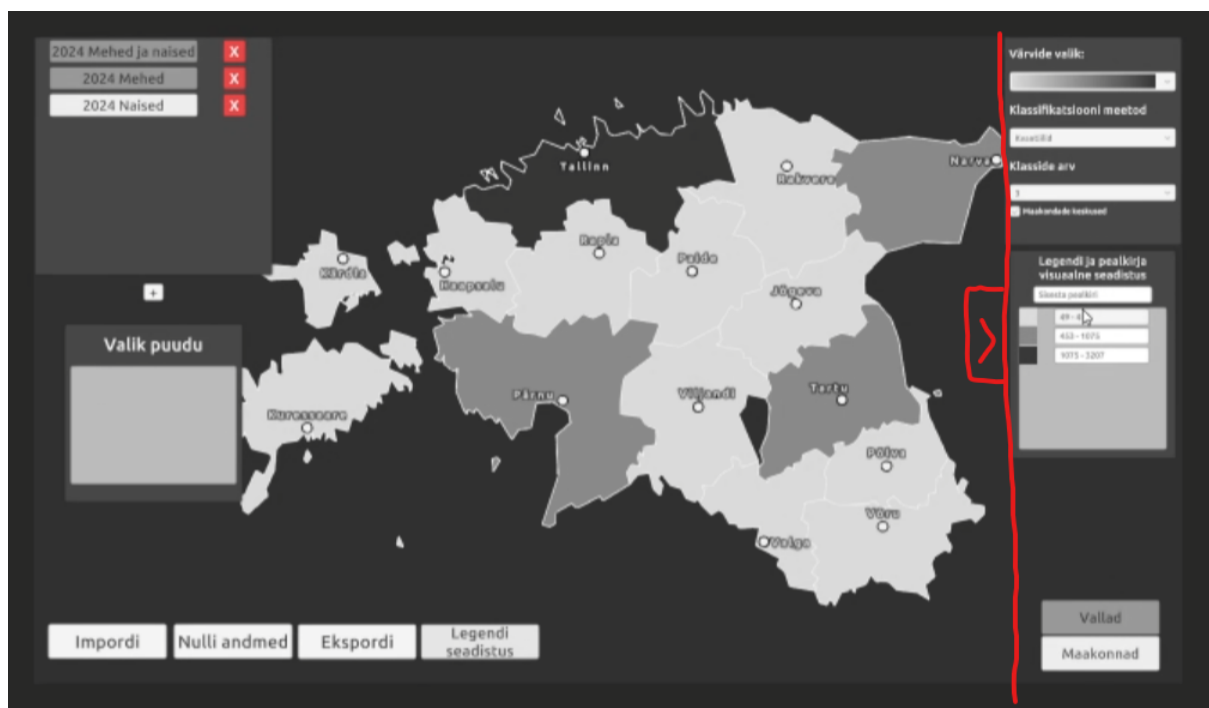
Rakenduses vaikumisi kuvatud värviteemaks valiti gradient tumehallist helehallini, et hoida rakenduse esmamulje võimalikult neutraalne. Rakendust luues keskenduti palju kasutajaliidese visuaalsele ülesehitusele. Keskenduti kasutaja mugavusele, funktsioonide loogilisele grupeerimisele ning keerukuste vältimisele. Sarnase funktsiooniga elemendid nagu nupud või rippmenüüd hoiti samade mõõtudega selleks, et luua visuaalne ühtsus elementide seas.

Töö jooksul koostati visandeid prototüübi erinevates etappides. See aitas kiiresti luua erinevaid variante võimalikust kasutajaliidestest ja hinnata visuaalselt nende selgust. Töö käigus visandati korduvalt ka peidetavaid elemente (vt joonis 4 ja 5) aga otsustati nende kasutamise vastu, kuna arvati, et kasutajas võib tekitada segadust see, kui funktsioon pole enam nähtaval. Rakenduse peamiseks fondiks valiti Ubuntu, kuna Khamula jt (2024) leidsid, et see font sobib oma õrna ja sooja olemuse poolest hästi näiteks lasteraamatutesse. Lisaks on see font tasuta kättesaadav ning fondis on eestikeelsed tähemärgid.

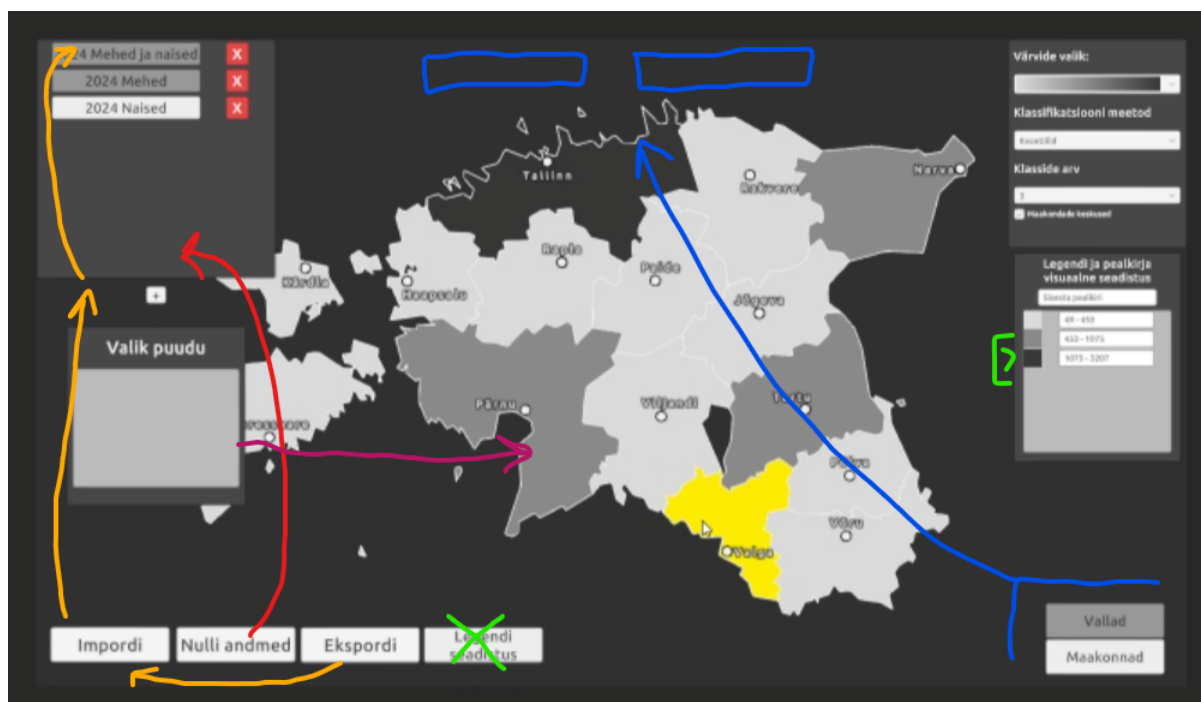
Interaktiivsus rakenduses saavutatakse reaajas toimuva objektide tuvastamise teel. Selleks kasutatakse kiirte heitmise meetodit (ingl. k. *raycasting*). Süsteem teab hiirekursori asukohta ruumis, peale mida heidetakse kursori asukohast välja kiir, mis leiab kiirega ristuva haldusüksuse objekti. Kui kiir ristub objektiga, saab kasutaja objekti valida. Valitud objekti kohta kuvatakse objektiga seotud andmed. Sama loogika kehtib ka kasutajaliidese elementide puhul, kuna need on ka rakenduse jaoks objektid.



Joonis 3. Töö käigus koostatud visand kasutajaliidese lihtsustamiseks.



Joonis 4. Töö käigus koostatud visand võimalikust peidetavast elemendist.



Joonis 5. Töö käigus koostatud visand paigutuse lihtsustamiseks ja funktsioonide grupeerimiseks.

2.8 Prototüübi testimine ja poolstruktureeritud intervjuu kava

Tarkvara prototüübi edasiarendamise vajalikkuse hindamiseks viidi läbi kvalitatiivne kasutatavusuuring, rakendades kontrollitud ülesandepõhist testimist ja kvalitatiivset poolstruktureeritud individuaalintervjuud nii gümnaasiumi- kui ka põhikooliõpetajatega. Kasutatavus (ingl. k. *usability*) on magistritöö mõistes ulatus, mil määral geograafiaõpetajad saavad teemakaartide loomise tarkvara kasutada geograafia õpetamiseks põhikoolis ja gümnaasiumis (Tallinna Ülikool, 2017).

Valimi moodustamiseks kasutati sihipärast valimi moodustamise meetodit. Uuritavaks populatsiooniks olid aktiivselt töötavad geograafiaõpetajad. Testimiseks osalejate leidmiseks võeti ühendust üheksa kooli geograafiaõpetajate ja haridustehnoloogidega, kellele edastati info programmi ja testimise kohta ning kutse testimisele. Testimises ja intervjuus osales viis õpetajat, kellest kolm olid gümnaasiumiõpetajad ja kaks põhikooliõpetajad. Ühel põhikooliõpetajal on ka kogemus gümnaasiumis õpetamisel ja ühel gümnaasiumiõpetajal on

kogemus põhikoolis õpetamisel. Kaks gümnaasiumiõpetajat olid gümnaasiumis õpetanud ka geoinformaatika valikkursust.

Testimise metoodika tugines Tartu Ülikooli Sotsiaalse Analüüsi Meetodite ja Metodoloogia õpibaasi materjalidele intervjuu läbiviimise kohta (Lepik jt, 2014). Testis ja intervjuus osalenute andmetele tagatakse konfidentsiaalsus ning andmed kustutatakse pärast lõputöö kaitsmist. Need meetodid valiti, kuna eesmärgiks ei olnud saada pelgalt statistilist ülevaadet rakenduse kasutatavusest, vaid mõista õpetajate arvamusi tarkvara pedagoogilise potentsiaali osas ning tuvastada konkreetseid kasutatavusprobleeme.

Testis osalejatele anti nõusolekuvorm ning ülesannete kirjeldus. Testimine oli jagatud kolme plokki: andmetega ja informatsiooniga tutvumine, programmiga tutvumine ja ülesande lahendamine. Õpetajaid juhendati andmete, informatsiooni ja programmiga tutvumise plokkide jooksul. Õpetajatele täpsustati rakenduse funktsioone vastavalt sellele, mida nad parasjagu tegid. Ülesande lahendamise ajal vastati vaid õpetaja küsimustele ning aidati siis, kui nad ülesandes takerdusid. Terve testi ajal oli õpetajatel kasutada juhend, kus oli lühidalt seletatud, kuidas funktsioone kasutada. Andmete kogumiseks kasutati valjult mõtlemise meetodit (ingl. k. *Think-Aloud Protocol*), mis võimaldas tuvastada kasutaja probleeme tarkvara kasutamisel. Intervjuu küsimused olid jagatud nelja plokki uurimisküsimuste alusel. Intervjuu kava ja küsimused on välja toodud lisas 4.

Pärast testimist viidi läbi ka poolstruktureeritud intervjuud, mille küsimused põhinesid eelnevalt püstitatud uurimisküsimustel. Intervjueeritavateks valiti just tegevõpetajad, kuna nende kogemus võimaldab neil hinnata tarkvara pedagoogilist potentsiaali ja praktilist rakendatavust geograafiaõppes. Intervjuud ja testimine lindistati ning intervjuu ajal tehti ka märkmeid. Tulemuste töötlemiseks kasutati temaatilist analüüsi, et selgitada välja tarkvara tugevused, arendusvajadused ja integreerimisvõimalused õppekavasse.

Intervjuu lindistati programmiga OBS (Open Broadcast Software, 2026) ning transkribeeriti veebirakenduses tekstiks.ee (Olev ja Alumäe, 2025). Automaatselt transkribeeritud teksti korrastati ka manuaalselt (intervjuu kuulati korduvalt läbi, et vead parandada), kuna lindistused toimusid mõnikord taustamüraga ruumides. Pärast seda kopeeriti transkribeeritud tekst Google Sheets tabelisse, et vastuseid kategoriseerida ja tulemusi võrrelda. Vastustele ja välja öeldud mõtetele määrati vastav kood (nt segadus terminoloogiaga, ei leia nuppu) ning

need koodid jagati omakorda teemakategooriatesse (nt kasutajaliidese ja -kogemuse probleemid). Teemakategooriad põhinesid paljusti nii uurimisküsimustel kui ka testimisest ja intervjuudest selgunud teemadest.

3. Tulemused

Tulemuste peatükk jaguneb kaheks peamiseks osaks. Esimeses alapeatükis kirjeldatakse valminud tarkvara prototüüpi ja selle funktsioone. Teises alapeatükis kirjeldatakse testi ja intervjuu tulemusi.

Link tarkvara prototüübile: <https://dhtrump.itch.io/kaardirakendus-test>

Parool: Kaart123

3.1 Teemakaartide koostamise tarkvara prototüüp

Töö tulemusena valmis teemakaartide koostamise tarkvara prototüüp, mille abil saab koostada lihtsaid horopleet-teemakaarte Eestist. Prototüüp tehti kättesaadavaks ka internetist ning on ligipääsetav eelnevalt välja toodud lingil. Rakendus jagati kahte peamisesse vaatesse: kaardi ettevalmistamise vaade ja kaardi ekspordivaade. Rakenduse funktsioonid jaotati ekraanil visuaalsetesse gruppidesse funktsiooni eesmärgi ja eeldatava kasutamise järjekorra ja olulisuse alusel (vt joonis 7).

Esimene funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 1) on andmeridade lisamiseks rakendusse nii manuaalselt kui ka automaatselt. Grupp asub tööriistariba üleval ääres, kuna sealt on seda lihtne leida ning andmete lisamine on oluline osa rakendusega töötamise töövoost. See grupp hõlmab endas funktsioone andmete importimiseks ja manuaalselt andmeridade lisamiseks.

Valmis andmete importimine CSV formaadis: Kaardi ettevalmistamise vaate ülevaate joonisel kujutatud nupp „Impordi andmed” (vt joonis 7 number 1.1) laseb kasutajal importida CSV-formaadis andmeid. Üldiselt peaks programm suutma importida Statistikaameti andmebaasist alla laetud andmeid ilma korrastuseta. Oluline on aga märkida, et andmed peavad sisaldama omavalitsuste ja maakondade nimesid sisaldavat tulpa ilma kirjavigadeta. Lisaks sellele on oluline silmas pidada, et tekstilisi väärtuseid ei impordita (nt hea, halb, vana, noor). Pärast nupu vajutamist avaneb Windows’i *File Explorer* aken, kus kasutaja saab valida importimiseks faili.

Manuaalne andmeridade lisamine: Kaardi ettevalmistamise vaate ülevaate joonisel kujutatud nupp „Lisa uus andmerida” (vt joonis 7 number 1.2) laseb kasutajal andmevälju

manuaalselt rakendusse lisada. See paigutati valmisandmete importimise nupuga kokku, kuna need on sarnase lõppeesmärgiga funktsioonid (rakendusse andmete lisamine).

Teine funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 2) on andmeridade vaatlemiseks, muutmiseks, vajaduse korral kustutamiseks ja kaardil kuvatud andmerea kuvamiseks. Funktsioonide grupp paigutati kohe pärast andmeridade lisamise funktsioone, kuna leiti, et need funktsioonid on väga tihedalt üksteisega seotud ning see aitaks kohe pärast andmeridade importimist või manuaalset lisamist näha toimunud muutust.

Andmeridade vaade: Iga lisatud andmerida kuvatakse (vt joonis 7 number 2.1) andmerea nimega, mis tuleb imporditud andmestikust või automaatselt määratud nimi (Uus väli 1 jne) juhul, kui andmerida on lisatud manuaalselt. Andmerea nimele järgneb valge ristiga punane nupp, mis laseb kasutajal andmerea kustutada. Kuna andmeridu võib olla rohkem kui aknasse ära mahub, siis lisati sinna kerimisriba, mille abil saab kasutaja hiirerulli kerides leida soovitud andmerea. Andmereal ühe korra vasaku hiireklõpsuga vajutamisel muudetakse andmerida aktiivseks ning kaardile kuvatakse andmete põhjal horopleet. Vajutades andmereal kiiresti kaks korda vasaku hiireklõpsuga saab muuta andmerea nime.

Kolmas funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 3) on kuvatud horopleetkaardi visuaalide muutmiseks. Funktsioonid otsustati grupeerida, kuna need on kõik funktsioonid, mis muudavad oluliselt loodud kaardi välimust. Funktsioonide grupp paigutati tööriistariba keskele, sest arvati, et siis on kasutajal lihtsam jälgida muutusi, mis toimuvad horopleediga pärast värviteema või klasside arvu muutmist. Funktsioonid järjestati funktsiooni olulisuse ja põhjustatud visuaalsete muutuse alusel.

Värviteemade valiku rippmenüü: Värviteemade rippmenüü on kõige esimene funktsioon grupis (vt joonis 7 number 3.1). Selle abil saab kasutaja muuta kaardi värviteemat. Valitud värviteema muudab lisaks horopleedi värvidele automaatselt ka taustavärvi, linnade leppemärkide värvi ja kaardil kuvatud teksti värvi.

Andmete klassifitseerimise meetodite ja klasside arvu rippmenüüd: Tavapärased andmete klassifitseerimise meetodid horopleetkaardi loomisel leiab rippmenüüst (vt joonis 7 number 3.2). Seal saab kasutaja valida kolme andmete klassifitseerimise meetodi vahel (kvantiilid, võrdsed intervallid ja loomulikud vahed). Andmete klasside arv valitakse ka rippmenüüst (vt

joonis 7 number 3.3). Klasside arv on piiratud vahemikku 3–12, et suunata kasutajat tegema kartograafiliselt mõistlikke valikuid.

Maakondade keskuste kuvamine: Viimane funktsioon kolmandas funktsioonide grupis on maakonnakeskuste lüliti (vt joonis 7 number 3.4). See funktsioon on vaikimisi aktiivne, et lisada kaardile geograafilist konteksti. Kasutaja saab kuvatud maakonnakeskused nupule vajutades ka välja lülitada. See paigutati viimaseks, kuna see muudab kaardil kõige vähem.

Neljas funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 4) laseb kasutajal valida, kas kaardil on kuvatud omavalitsuste või maakondade andmed. Funktsioon otsustati paigutada ekraani üles keskele, kuna siis on see lihtsalt tuvastatav ning laseb kasutajal kiirelt ja mugavalt visualisatsiooni vahetada. Seda peeti oluliseks, kuna arvati, et see võiks toetada andmete avastamise mugavust. Lisaks arvati, et võimalus kiiresti vahetada kuvatud andmetiheduse vahel toetaks võrdleva ruumianalüüsi teostamist.

Viies funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 5) keskendub kaardi legendi ja pealkirja ettevalmistamisele. See otsustati paigutada tööriistariba alumisse ossa, kuna see on töövoo viimane etapp enne kaardi ekspordivaatesse liikumist. Funktsioonid grupeeriti, kuna seal tehtud muudatused ei mõjuta kaardi ettevalmistamise vaates kuvatud kaarti.

Legendi ja pealkirja seadistus: Pealkirja seadistamise tekstiväli (vt joonis 7 number 5.1) paigutati funktsioonide grupis esimeseks. Seal saab kasutaja sisestada kaardile soovipärase pealkirja. Legendi seadistamise tekstiväljad (vt joonis 7 number 5.2) kuvavad enne seadistamist vahemikke, mis genereeriti klasside arvu ja klassifitseerimismeetodid põhjal. Iga rea juures kuvatakse, millisele värvile arvude vahemik kaardil vastab. Automaatselt genereeritud legendi vahemikke saab muuta ilma, et alusandmed muutuksid. See tähendab, et kasutaja saab väärtused asendada kirjeldavate sõnadega (nt suur, keskmine, väike) või lisada ühikud (vt joonis 6). Legendi või pealkirja saab muuta vajutades tekstiväljadele vasaku hiireklõpsuga.



Joonis 6. Automaatselt genereeritud legend ja kasutaja poolt redigeeritud legend ja pealkiri.

Kuues funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 6) on andmete vaatamise ja muutmise aken. See paigutati teistest funktsioonidest täiesti eraldi, kuna andmete muutmine ei ole visualiseerimise töövoos osa. Seal on kuvatud valitud haldusüksuse nimi (vt joonis 7 number 6.1), haldusüksusega seotud andmerea nimed ja konkreetse andmerea väärtused. Aken tekib nähtavale, kui kasutaja vajutab mõne haldusüksuse pihta, ning kaob ekraanilt, kui vajutada tühjale kohale kaardiaknas või vahetada haldusüksuste vaadet. See aken tehti ennast peitvaks kahel peamisel põhjusel. Esiteks peitis aken osaliselt kaarti, mistõttu peeti oluliseks pakkuda kasutajale mugavat võimalust vaadelda kogu kaarti korraga. Teiseks, kui kasutaja vaatleb näiteks Tartu linna andmeid ning siis vahetab kaardivaate maakonna vaatesse, oleks ekraanil kuvatud kas tühi aken või aken Tartu linna andmetega, mis võib kasutajas tekitada segadust.

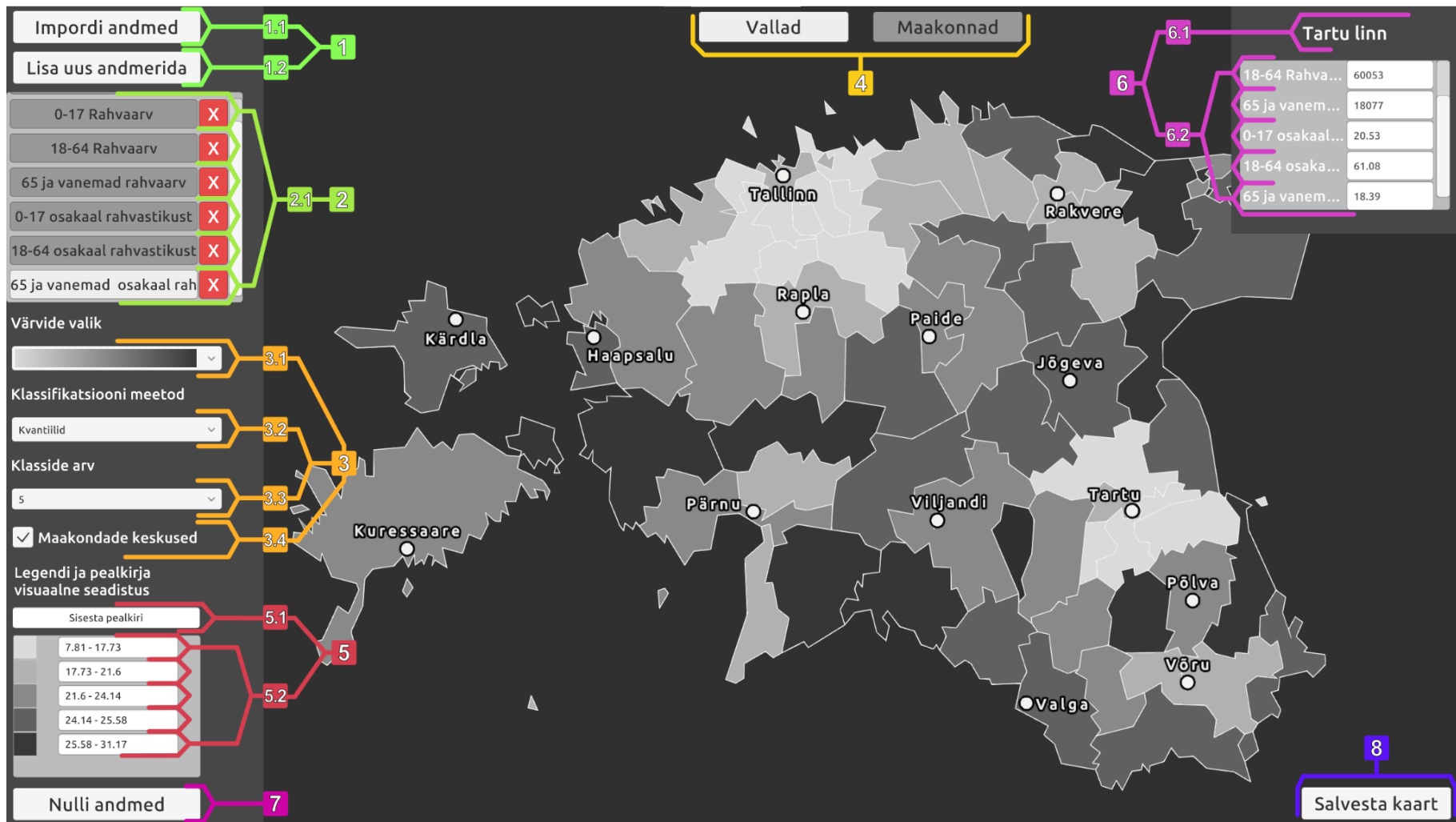
Andmete vaatamine ja muutmine: Selles aknas ei saa muuta andmerea nime, kuid see on seal kuvatud, et kasutaja teaks, millise andmeregaga andmed seotud on. See funktsioon on mõeldud valitud haldusüksusega seotud andmete muutmiseks. Selleks peab kasutaja vajutama vasaku hiireklõpsuga tekstiväljale, mida ta muuta soovib. Kuna seotud andmeid võib olla palju, siis lisati sinna kerimisriba, mille abil saab kasutaja hiirerulli kerides leida soovitud andmerea. Oluline on märkida, et sisestada saab ainult numbrilisi väärtuseid, et andmestruktuur säiliks.

Seitsmes funktsioonide grupp (vt joonis 7 number 7 ja 8) hõlmab endas ekspordivaatesse liikumise nuppu ja andmete rakendusest eemaldamise nuppu. Need nupud paigutati ekraani alumise ossa, kuna leiti, et neid funktsioone ei ole vaja tihti kasutada. Esiteks, kuna andmete nullimine ja importimine on salvestamise nii-öelda vastandtegevused, paigutati salvestamise nupp alla paremale. Teiseks on jätkamise nupp tavaliselt kasutajaliidestest paremal ja eiramise

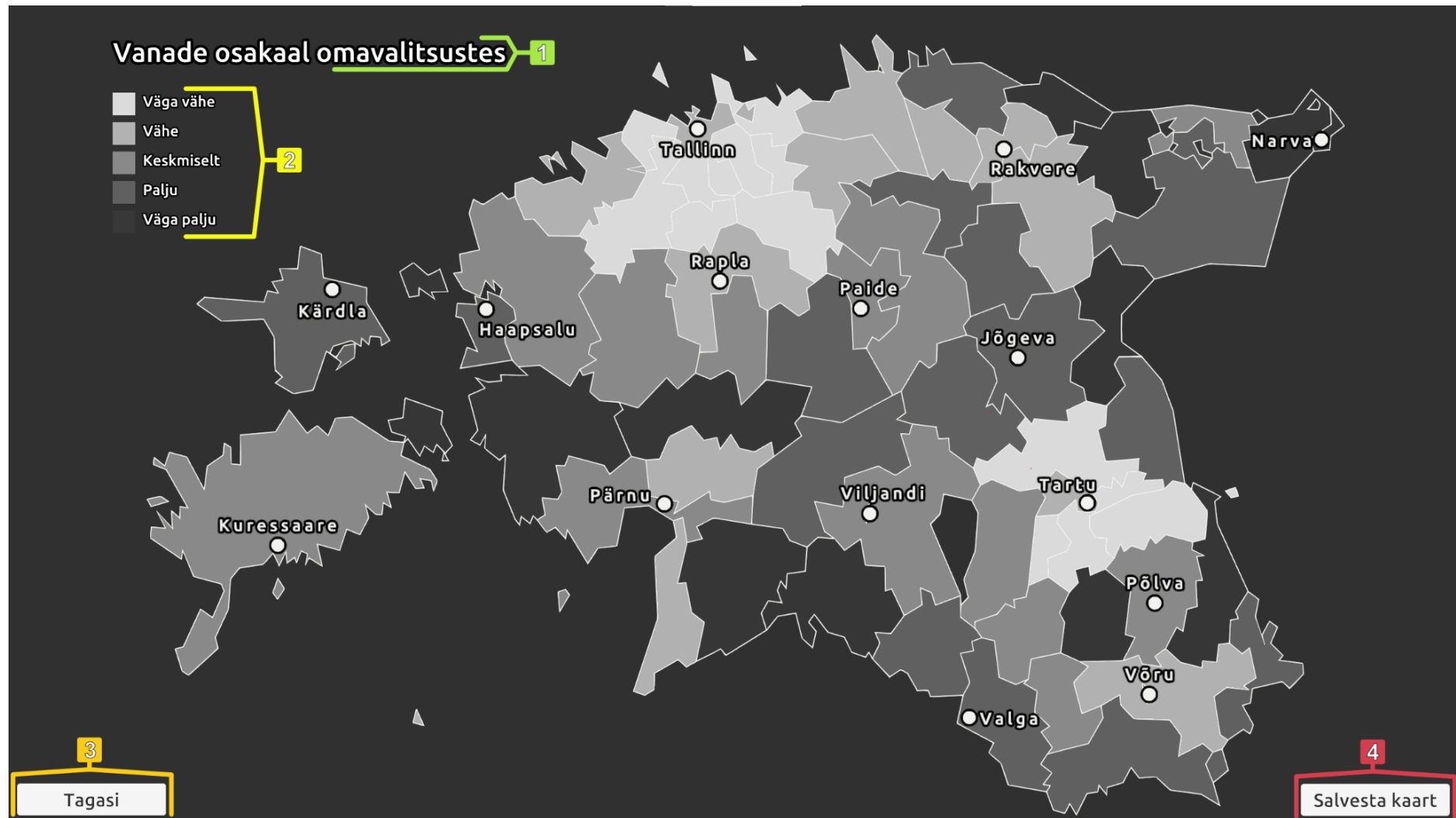
nupp vasakul. „Nulli andmed” nupp paigutati andmete importimise nupule vastandina tööriistariba alla, kuna see on importimise vastand.

Ekspordivaade ja kaardi salvestamine: Ekspordivaade (vt joonis 8) loodi selleks, et salvestatava kaardi disain ja lõplik suurus oleks kasutajale võimalikult selge, ning hoiti võimalikult tühi kasutajaliidese elementidest. Ekspordivaates kaovad ära ekraanilt kõik kasutajaliidese elemendid peale kahe nupu, et kasutaja saaks hea ülevaate sellest, milline kaart pärast salvestamist välja näeb. Lisaks ei tõsteta enam esile haldusüksuseid, mille kohal kasutaja hiir parasjagu on, ega saa enam vaadata haldusüksusega seotud andmeid. Kasutaja seadistatud pealkiri ja legend (vt joonis 8 number 1 ja 2) kuvatakse kaardile ning neid saab ekraanil vasakut hiireklõpsu kasutades ringi liigutada. Kasutaja võime kaardiakent liigutada säilib.

Ainsad nupud, mis ekraanil säilivad, on „Tagasi” ja „Salvesta kaart” (vt joonis 8 number 3 ja 4). Nupud paigutati taaskord arvestades üldlevinud kasutajaliideste loogikat. Nupp „Tagasi” annab kasutajale võimaluse minna tagasi kaardi ettevalmistamise vaatesse. Nupp „Salvesta kaart” salvestab kaardi kasutaja arvutisse .png formaadis. Salvestamise hetkeks kaovad ka viimased kaks nuppu ära, kuna rakendus teeb ekraanist praktiliselt kuvatõmmise. Seetõttu on oluline märkida, et salvestatud kaardi kvaliteet sõltub kasutatud arvuti ekraani lahutusvõimest. Pärast salvestamist tekib kasutaja ekraani keskele teavitus, mis täpsustab kasutajale, kuhu kaart salvestati.



Joonis 7. Rakenduse kasutajaliidese ülevaade.



Joonis 8. Ekspordivaate ülevaade.

3.2 Kasutatavusuuringu ja intervjuu tulemused

3.2.1 Kasutatavusuuringu tulemused

Tabel 3. Ülevaade õpetajate geoinformaatika kogemusest ja koolis arvutitele ligipääsust.

ID	Geoinformaatika kogemus	Arvutitele ligipääs
Põhikooli õpetaja A	Kokkupuude puudub	Hea
Põhikooliõpetaja B	Kokkupuude ülikoolis	Pidas probleemseks
Gümnaasiumiõpetaja A	On õpetanud geoinformaatika valikkursust	Pidas probleemseks
Gümnaasiumiõpetaja B	Kokkupuude ülikoolis	Pidas probleemseks
Gümnaasiumiõpetaja C	On õpetanud geoinformaatika valikkursust	Hea

Testimise käigus leiti, et kõik intervjueeritavad vajasisid natuke tuge kas andmete allalaadimisega või soovisid täpsustust, kuhu ja kuidas peab failid paigutama. Selliste probleemide teke on aga mõistetav, kuna tegemist oli võõraste andmete ning täiesti võõra rakendusega, mis vajabki lühidat sissejuhatust. Nupu andmete importimiseks leidsid kõik aga ise üles ja importimise sooritasid kõik abita. Lisaks sellele selgus, et vabadus legendi muuta ning selle loogika ei ole kasutajatele ilmselge ning vajab igale kasutajale selgitamist. Pärast täpsustamist said kõik aga loogikast aru. Samuti ei olnud kasutajatele kohe selge vabadus liigutada legendi ja pealkirja kaardiaknas, mistõttu demonstreeriti pärast kaardi salvestamist kasutajatele funktsiooni. Pärast funktsiooniga tutvumist kommenteeris gümnaasiumiõpetaja B:

„Ahah, ei pea käsitsi igatühte liigutama või? Nii tore.”

Enamiku õpetajate jaoks oli arusaadav kuidas andmete vahetamine toimib, kuid ühele õpetajale jäi funktsiooni eesmärk esialgu ebaselgeks ning üks õpetaja ei märganud kerimisriba olemasolu. Kaardiaknas liikumise sooritasid kõik iseseisvalt ja abita, kuid põhikooli õpetaja A täheldas, et ta eelistaks kaardiaknas navigeerida vasaku hiireklõpsuga:

„[---] vast oleks harjunud, vasakuga [vasaku hiireklõpsuga] [---]”.

Lisaks sellele mõistsid kõik, kuidas töötab haldusüksuste vaate muutmine. Gümnaasiumiõpetaja C kommentaar haldusüksuse vaadete muutmise kohta:

„[---] kui võtta atlased, siis seal on ainult üks kaart selle kohta [---] siin on praegu väga hea see.”

Värviteema valimise sooritasid kõik iseseisvalt, kuid kahele õpetajale täpsustati valiku aknas kerimisriba olemasolu. Lisaks sellele märkas üks õpetaja, et teatud värviteemade puhul, mis sisaldavad kollast värvi, tekitab segadust rakenduses aktiivselt valitud haldusüksuse esiletõstmise kollane värv. Gümnaasiumiõpetaja C kommentaar teemal:

„[---] aga huvitav on see, et kui ma nüüd lähen seal peale, miks ta nüüd läheb kollaseks, et muidu ta on lilla.”

Kuigi kõik intervjuueeritavad muutsid iseseisvalt klasside arvu ja klassifikatsioonimeetodit, hindasid neli õpetajat viiest seda osa õpilastele potentsiaalselt keeruliseks. Üks põhikooliõpetaja märkis, et terminid nagu kvantiilid või loomulikud vahed võivad tekitada probleeme ning vajaksid selgitavat teksti. Teise õpetaja hinnangul kuluks meetodite sisu selgitamiseks terve tund. Samas leidis ka vastupidine arvamus – üks õpetaja leidis, et pakutud valikud on õpilastele paras ja täiesti piisavad.

Põhikooliõpetaja A: *„Mina arvan, et paras, täitsa piisav.”*

Põhikooliõpetaja B: *„[---] klassifikatsiooni meetod on, et ütleme, et võib-olla õpilasel mõista natukene keerulisem [---]”*

Gümnaasiumiõpetaja A: *„[---] õpilastele seda seletada, oleks mul tervet tundi vaja.”*

Gümnaasiumiõpetaja B: *„See asi on isegi minu jaoks liiga keeruline. [---] võib-olla täpsustada võrdsed intervallid [---] ehk siis sinna mingi seletav tekst.”*

Gümnaasiumiõpetaja C: *„Ilmselt ta muidugi ei jaga ära, mis, mis asjad, need kvantiilid või võrdsed intervallid või loomulikud vahed, et noh, tema jaoks on kindlasti see probleem.”*

Tabelis 4 on koondatud ülevaade kasutatavustesti tulemustest. Tulemused on jaotatud kaheks: juhendatud tutvumine rakendusega ning iseseisev ülesande sooritamine. Sooritusmäär näitab, kui mitu õpetajat viiest suutis vastava tegevuse lõpule viia ilma täiendava abita. Märkuste lahtris on välja toodud peamised testimise käigus tehtud vaatlused ja kasutajate väljendatud tagasiside.

Tabel 4. Kasutatavustesti tulemused.

Juhendatud tutvumine	Ülesanne	Abita sooritusmäär	Märkused
Jah	Andmete allalaadimine ja ettevalmistamine	0/5	Võõraste andmete ettevalmistamisel vajati abi.
Jah	Andmete import	5/5	Kõik sooritasid abita.
Jah	Kaardiaknas liikumine	5/5	Kõik sooritasid abita.
Jah	Kuvatud andmete vahetamine	4/5	Ühe õpetaja jaoks oli ebaselge, mis täpsemalt juhtub valiku muutmisel.
Jah	Haldusüksuste vaate muutmine	5/5	Kõik sooritasid abita.
Jah	Haldusüksustega seotud andmete vaatamine ja muutmine	4/5	Üks õpetaja ei leidnud üles, kuidas aken avada.
Jah	Värviteema muutmine	5/5	Kõik leidsid ülesse ja oskasid muuta, kuid kahel jäi märkamata värviteema valiku aknas kerimisriba.
Jah	Klasside arvu muutmine	5/5	Kõik sooritasid abita.
Jah	Klassifikatsiooni meetoidite muutmine	5/5	Kõik sooritasid abita.
Ei	Kaardi panek valdade vaatesse	5/5	Kõik sooritasid abita.
Ei	65 ja vanemad osakaal rahvastikust andmestiku valimine	4/5	Üks õpetaja ei märganud kerimisriba, et andmed valida.
Ei	Pealkirja muutmine	4/5	Ühele õpetajale jäi pealkirja muutmise lahter märkamata kuna see ei eristunud piisavalt ülejäänud kasutajaliidesest.
Ei	Legendi muutmine	0/5	Kõigile pidi täpsustama, kuidas muutmine toimib.
Ei	Legendi ja pealkirja liigutamine	0/5	Kõigile pidi täpsustama, et legendi ja pealkirja saab liigutada kaardiaknas.
Ei	Kaardi salvestamine	5/5	Kõik sooritasid abita.

3.2.2 Intervjuu tulemused

a. Vajadus sellise rakenduse jaoks

Intervjuu (küsimuse „Kas te kasutaksite sellist programmi õppetöös?”) tulemusena leiti, et kõik intervjuu ja testi läbinud õpetajad näevad vajadust sellise rakenduse jaoks.

Põhikooliõpetaja B vastus: „*Jah, raudselt, tahaks kohe, kas juba praegu annab kasutada?*”

Gümnaasiumiõpetaja B vastus: „*Arvan küll jah, ikka mugav [---] et mulle just sobib see, et ma ei pea kaheksat eri kihti salvestama pärast.*”

Põhikooliõpetaja A täheldas testi tehes, et tal oleks sellist rakendust vaja olnud lastele rahvastiku teemat õpetades, ning arvas, et selliste kaartide koostamine oleks hea tööriist koostöös rahvastiku püramiidide koostamisega.

Põhikooli õpetaja A: „*Ma just paar nädalat tagasi tegin üheksandikega ka seda sama teemat [rahvastik] ja siis tegelikult, oleks siis seda vaja olnud.*”

b. Võimalused sellise rakenduse kasutamiseks õppetöös

Õpetajad pakkusid välja erinevaid võimalusi sellise rakenduse kasutamiseks õppetöös. Näiteks kirjeldas üks gümnaasiumiõpetaja, kuidas ta kasutaks sellist rakendust, et lasta õpilastel hüpoteesi püstitada ja siis neid testida, et panna õpilased kaasa mõtlema.

Gümnaasiumiõpetaja A: „*[---] Ma võib-olla nagu laseks neil püstitada mingi hüpoteesi, et kus on nii-öelda vanemaid inimesi rohkem või vähem. Et mis nad nagu pakuvad just maakondade lõikes.[---]*”

Teine gümnaasiumiõpetaja kirjeldas, kuidas ta saaks loodud rakenduse abil koostada teemakaarte õppematerjalide jaoks. Ta kirjeldas, kuidas ta paneks kaks ise loodud kaarti kõrvuti, et õpilased saaksid teostada võrdlevat ruumianalüüsi. See viitab, et rakendust saaks kasutada ka koolides, kus õpilaste ligipääs arvutitele on piiratum.

Gümnaasiumiõpetaja C: „*[---] ei pea nagu nendel seda teha laskma, et vot ma saaks nagu ise kaarti teha [---] panen Moodlesse kaks kaarti kõrvuti, noh, millist erinevust või mida sa seal näed [---]*”

Põhikooliõpetaja A nägi loodud rakenduses potentsiaali õppeainete lõimimiseks. Ta kirjeldas, kuidas ta kasutaks sellist rakendust matemaatika, geograafia ja arvutiõpetuse lõimimiseks. Õpetaja arvates loob see võimaluse õpetada noori kasutama näiteks Excelit, mis on tema arvates tänapäeval oluline oskus. Sellele lisaks nägi tema ka potentsiaali luua õppematerjale rakenduses valmistatud kaartide põhjal. Põhikooliõpetaja B mõtles asendada referaadi koostamise kaardi loomise ja analüüsiga.

Põhikooli õpetaja A: „[---] ma nagu näen seda potentsiaali, mida ma nagu kohe tahaksin rakendada, luua siit töölehti sellest tulenevalt [---] et nad oskavad sealt [Statistikaameti andmebaasist] neid andmeid välja otsida ja [---] seda Exceli asja ka nagu on väga palju neil vaja tegelikult tänapäeval eriti. [---] see oleks nagu niisugune hea produkt, kus siis saab nagu lõimida väga palju erinevaid aineid, nii arvutiõpet kui ka siis matemaatikat põhimõtteliselt [---]. Siis noh, geograafias see lõimub ja tegelikult väga palju erinevaid aineid, see tegelikult on väga, väga põnev ja lahe [---]”

Põhikooli õpetaja B: „[---] nad peaksid minema ja võtma statistikaameti kodulehelt, ise need andmed otsima [---]. See võiks olla täiesti siuke mingi arvestuslik hinne nagu referaadilaadne.”

Kaks õpetajat kirjeldasid, et õpilased oskavad tihti ülesande ära lahendada, kuid ei oska seletada, miks nad midagi tegid. Nad leidsid, et kaardi koostamine paneks õpilased võib-olla aktiivsemalt mõtlema, miks nad midagi teevad.

Gümnaasiumiõpetaja A: „[---] Tänapäeva on noored, nad klõpsivad, teevad mingeid asju ja saavad ülesandega hakkama. Ja kui ma palun [---] kirjuta kolme lausega, mida märkasid, mis oli oluline [---] siis nad hakkavad esimest korda vaatama [---] nad teevad kõik ära, ilma et saanud aru, mis nad tegid. Ja siis õpetajana tahaks suunata, et nad saaksid sisuliselt aru [---] siis see, et siia nagu ole hea lisa protsendi märk [---] Võib-olla on õppe eesmärgil isegi hea.”

Neli õpetajat viiest leidis, et loodud rakendust saaks kasutada tavalises geograafia tunnis, kuna see on piisavalt lihtne. Neist õpetajast kaks arvasid, et rakendus võiks sobida ka valikaine raames kasutamiseks, näiteks geoinformaatika valikainesse sissejuhatuseks.

Põhikooliõpetaja B: „Seda annab kõiges teha, kindlasti tavatunnis, et kõik saaksid seda proovida, saaksid esimese aimduse kätte, kuidas horopleetkaarte tehakse üleüldse, siis valikaines [---].”

Gümnaasiumiõpetaja A: „See sobiks tavaliseks, see on piisavalt lihtne [---] nad ise otsivad statistikat ja püüavad aru saada, mida nad siis näevad, siis aitaks seda visualiseerida, see tööriist on mul lihtsalt puudu olnud. [---] valikainest, ma pigem juba läheks siis sinna ArcGIS-i. Aga, seda geoinformaatikat saaks ka alustada, et alustame lihtsamast.”

c. Kasutamise piirangud

Gümnaasiumiõpetaja B arvas, et loodud rakenduse kasutamist tavalises geograafia tunnis piirab peamiselt aeg. Ta leidis, et geograafia õppekava on väga tihe ja sinna kaartide loomist või kartograafia õpet mahutada oleks liiga keeruline. Ajalised piirangud kaartide loomisel tõi välja ka gümnaasiumiõpetaja A, kuid ta arvas, et lihtsustatud rakendusega on võimalik seda teha.

Gümnaasiumiõpetaja B: „Me ei jõua lihtsalt [ajaliselt] [---] peab eraldi olema, eraldi mingi kursusega [---]”

Gümnaasiumiõpetaja A: „[---] ma nagu seda olengi tahtnud nendega teha. Ja hetkel ma ei olegi osanud [---] sest ma ei ole tahtnud raisata tihedast graafikust pikka tundi selleks, et selgitada ühte programmi, näiteks ArcGIS neile. Kuhu ma peaksin siis sellele klassile tegema ka kohe kasutajad ja, ja see nõuab minult eeltööd. Ja tegelikult ma tahaks, et nad visualiseeriksid [---] rahvastikuteemasid. [---] Et see on nagu ühe tunniga tehtav, et sellepärast mulle nagu tundub, et mulle väga meeldiks seda kasutada.”

Lisaks ajalistele piirangutele täheldasid mõned õpetajad, et üks peamine probleem kaardirakenduste kasutamisel õppetöös on ligipääs arvutitele, ning leidsid, et arvutite kasutamisega kaasneb tihti erinevaid probleeme – näiteks on kooli arvutite kasutamiseks vaja broneeringuid planeerida, arvuteid on liiga vähe või tekivad erinevad tehnilised probleemid.

Gümnaasiumiõpetaja A: „*Ma pean selleks planeerima arvutid ja nad peavad olema vabad ja ma pean nii-öelda ja kuna ka teised õpetajad kasutavad neid, siis alati ei ole see võimalik.*”

Gümnaasiumiõpetaja B: „*[---] meil on arvutid on kogu aeg bronnis, arvutite puudus [---]*”

Põhikooliõpetaja B: „*[---] arvutiklassi täna hommikul sain kaheksanda klassiga üheks tunniks. Jah, sülearvutit sa saad võtta vahel päeva jooksul, aga kui sa lähed ka sealt päeva, need akud tühjad, ei ole need järgi pandud, küll nad teevad mingeid uuendusi. [---]*”

Oluline on välja tuua, et põhikooliõpetaja A koolis on väga hea ligipääs nii süle- kui lauaarvutitele. Ta tõi välja, et saab praktiliselt iga kell arvutitele ligi. Tema tuvastatud probleemid erinesid teiste õpetajate probleemidest. Ta tuvastas, et noorte digipädevus on nõrk, kuna neil puudub kokkupuude arvutite kasutamisega.

Põhikooli õpetaja A: „*[---] nad oskavad ainult scroll'ida tegelikult, ega arvutimaailmas see download'imine, import'imine, need on nende jaoks täiesti tegelikult müstika [---] ta tegelikult ei oska neid asju, väga vähestel lastel on kodus arvutid. Neil on äärmisel juhul on tahvel, äärmisel juhul on mobiiltelefon, [---] kui sa lased mingit ülesannet ka näiteks kodus teha, siis põhiliselt on ikkagi see, et [---] kui ema tööarvuti kaasa võtab, siis saan seal teha. [---]*”

Lisaks sellele täheldas sama õpetaja, et õpilasi on arvuteid kaasavas õppes väga raske hallata. Ta tõi välja, et sellise digiõppe tegemiseks peab ta tunni läbiviimiseks lähenema õpetamisele hoopis konkreetsemalt. Ta arvas, et selle probleemi lahendamiseks sobiks hästi selged juhendid õpilastele, et nad peaksid süvenema.

Põhikooli õpetaja A: „*põhiprobleemiks on ka kindlasti [---] kui me oleme arvutiklassi, siis nad on täiesti niimoodi, et lapsed lähevad nagu täiesti nagu teise maailma, neid hallata on nii raske. Et see on ka nagu üks suur miinus nagu üldse selle arvuti ja tehnika maailma*

juures, et, et sa pead oskama olema nii konkreetne ja oskama nagu läheneda sellele sellisel viisil. [---] kui anda konkreetne juhend, [---] ta peab süvenema ikkagi.”

Gümnaasiumiõpetaja C, kellel oli samuti väga hea ligipääs arvutitele, täheldas ainsaks probleemiks kaardirakenduste ja digitaalsete kaartide kasutamisel õppetöös arvutite nõrka võimekust väga spetsiifilistes olukordades nagu 3D-kaartide loomine. Tema üldine arvamus oli, et õpilased lahendavad kaardirakendustega ülesandeid hea meelega.

Arvutite kasutamisega kaasnevate probleemide pärast märkisid gümnaasiumiõpetaja B ja põhikooliõpetaja B, et atlaseid on mugavam tavalises geograafiatunnis kasutada ning need on töökindlamad. Lisaks sellele tõid nad välja, et atlasega on hea korrata kaardilugemise põhitõdesid, nagu legendi mõistmine ja koordinaatide määramine, kuna õpilaste tasemed võivad olla väga erinevad ning põhikoolis on nende oskuste õppimine kohustuslik.

Põhikooliõpetaja B: „[---] need [atlased] on mul siin riulis olemas, kus ma võtta, jagada välja, et arvutiklassi on keeruline saada. Et teinekord tuleb mingi põnev arutelu, põnev teema, [---] siis on nagu see, et läpakat ei tea [kas saab], tahvlit [tahvelarvutit] mul iga hetk klassis ei ole, et see nagu piirab päris.”

Gümnaasiumiõpetaja B: „Atlasega on kohe see, et saad lehitseda, saad otsida, [---] see ei sõltu nagu internetiühendusest ja iga klassi [---] neti võimekusest ja arvuti olemasolust ja nutitelefonis teha tüütu. [---] mugavam või kiirem, seda saab kohe laiali jagada [---]”

d. Praegused lahendused

Kaardirakendused, mida intervjuueeritud põhikooli õpetajad kasutasid, olid peamiselt kaartide vaatlemiseks kasutatavad rakendused nagu Maa- ja Ruumiameti kaardirakendus, Google Maps või Ventusky. Mõlemad põhikooliõpetajad kirjeldasid, kuidas nad õpetavad noortele kaardi ja legendi koostamist paberil. Gümnaasiumiõpetaja A ja C kirjeldasid, kuidas nad õpetavad lastele kaardi koostamist kasutades lahendusi nagu ArcGIS StoryMaps.

e. Õpetajate ettepanekud

Intervjuu põhjal saadi tagasisidet selle kohta, millised funktsioonid ja visuaalsed elemendid võiksid loodud rakenduses veel olla. Gümnaasiumiõpetajad A ja C arvasid, et kuna klassifikatsiooni meetodite mõistmine on ilmselt noortele raske, siis oleks vaja lahendusi

nagu hüpikaknad, mis seletavad täpsemalt, mida iga meetod endast kujutab, või näidiskaardid selleks, et anda õpilastele parem ülevaade meetodite loogikast.

Gümnaasiumiõpetaja A: „[---] õpilaste jaoks need nii-öelda klassifikatsiooni meetodid või need, et äkki võiks olla mingi hüpikaken [---]”

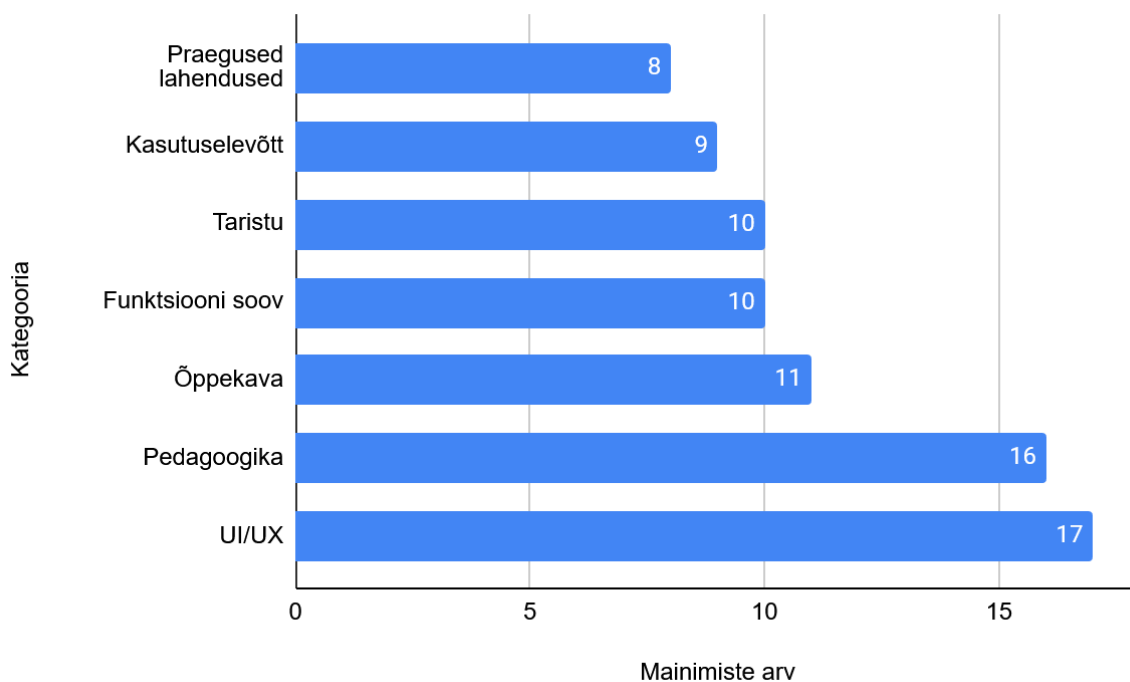
Mõlemad põhikooliõpetajad leidsid, et rakenduse omavalitsuste kaardivaates peaks maakonnapiirid omavalitsuste piiridest selgelt eristuma, kuna see aitaks õpilastel mõtestada haldusüksuste hierarhiat. Lisaks sellele leidsid nad, et rakenduses peaks kindlasti olema kaardi põhielemendid nagu mõõtkava ja põhjanool, et noortel areneks ruumitaju. Põhikooliõpetaja A leidis, et rakenduses võiks olla mõõtmise tööriist, kuna see toetaks ka ruumitaju arenemist. Põhikooliõpetaja B arvas, et ruumitaju aitaks arendada ka see, kui rakenduses oleks võimalus kuvada rohkem geograafilist taustinformatsiooni nagu teedevõrk, veekogud ja kohanimed. Gümnaasiumiõpetaja B arvas, et hea oleks, kui rakenduses oleks võimalus muuta legendi ja pealkirja suurust ning teksti värvi. Lisaks sellele arvas ta, et selline rakendus oleks talle kasulik, kui see toimiks rohkem nagu digitaalne atlas, kus saaks kuvada näiteks kliima- ja loodusvööndeid.

f. Ülevaade

Intervjuude ja testimise käigus kogutud andmed kodeeriti kokku seitsmesse teemakategooriasse. Joonis 9 annab ülevaate sellest, kui palju kordi iga teemakategooria intervjuude ja testimise käigus esile kerkis. Kodeerimisprotsessis eristati pedagoogika ja õppekava kategooriad järgmiselt: pedagoogika kategooria hõlmab õpetajate kirjeldusi praegustest õpetamispraktikatest ning hinnanguid rakenduse mõjust õpilaste õppimisele ja kaasamisele, õppekava kategooria aga struktuuralseid ja institutsioonilisi aspekte nagu ajalised piirangud, hindamine, lõimimine teiste ainetega ning rakenduse sobivus kohustuslikku või valikainesse.

Enim arutleti kasutajaliidese ja -kogemuse ning pedagoogikaga seotud teemadel. Kasutajaliidese ja -kogemuse kategooria kõrge esinemissagedus peegeldab uuringu ülesehitust, kuna testimise põhieesmärk oli tuvastada rakenduse kasutatavusprobleeme ning koguda tagasisidet kasutajaliidese kohta. Seetõttu sisaldab see kategooria nii positiivset tagasisidet kui ka kriitilisi tähelepanekuid. Funktsiooni soovid, õppekava ja taristu olid samuti sagedased teemad, peegeldades õpetajate konkreetseid ootusi rakendusele ning

takistusi selle kasutuselevõtmisel. Praegused lahendused ja kasutuselevõtt kerkisid esile harvemini, kuid andsid olulise konteksti hetkeolukorra ja õpetajate valmisoleku mõistmiseks. Praegused lahendused hõlmasid õpetajate kirjeldusi hetkel kasutatavatest tööriistadest. Kasutuselevõtt kategooriasse pandi kirjeldused soovist sellise rakenduse kasutamisest ning küsimused sellest, mida selle rakenduse kasutamiseks vaja on.



Joonis 9. Intervjuude ja testimise käigus kodeeritud teemakategooriate esinemissagedus (n=5).

4. Arutelu ja järeldused

4.1 Tehnoloogilised aspektid

Uurimisküsimus 1: *Millised on Unity mängumootori tehnilised võimalused ja väljakutsed interaktiivsete ning kartograafiliselt korrektsete teemakaartide loomise tarkvara arendamisel?*

Prototüübi arendusprotsess aitas mõista Unity mängumootori tehnilisi võimalusi ja rolli geoinfosüsteemide valdkonnas. Tavapäraselt luuakse kaardirakendusi spetsiaalsete veebiteekide abil, neid kasutades on aga arendaja piiratud, kuna ta ei saa teegi pakutavaid standardfunktsioone muuta. Unity on oluliselt paindlikum, kuna arendaja peab kõik funktsioonid ise looma. See muudab aga arendusprotsessi aeganõudvamaks.

Unity üks peamisi tugevusi selles projektis oli arendajale pakutav suur loominguline ja funktsionaalne vabadus, erinevalt tavapärastest veebiteekidest nagu Leaflet (Leaflet, 2025) või OpenLayers (OpenLayers, 2026), mis töötavad eeldefineeritud kaardikihtide ja veebibrauseri raamistikus. Unity-põhine lähenemine annab vabaduse luua rakendust täpselt nii, nagu arendaja oluliseks peab. Lisaks lihtsustasid tööprotsessi Unity-sse sisseehitatud kasutajaliidese seadistamise tööriistad. Unity annab arendajale ka võimaluse sama rakendust jagada ja arendada mitmes eri formaadis, kasutades sama programmi ülesehitust. See tähendab, et rakendusel võib olla brauseriversioon ja ka allalaetav versioon ilma, et arendaja peaks kogu rakenduse loogika ümber kirjutama. Selle abil saaks luua huvitavaid lahendusi, kus versioon rakendusest, kus ei ole arvutuslikult keerulisi funktsioone, on internetist kättesaadav, aga keerulisemate funktsioonidega rakendus tuleb alla laadida. Lisaks sellele on Unity keskkond loodud 3D-visualisatsioonide kuvamiseks – seega, kui arendajal on vaja kuvada suuremahulisi 3D-andmeid, siis Unity keskkond sobib selleks hästi.

Oluline on aga välja tuua, et ruumiandmete integreerimine mängumootorisse on oluliselt järsema õpikõveraga kui spetsiaalsete veebiteekide kasutamine. Kui valmislahendused nagu Leaflet on loodud koordinaatsüsteeme silmas pidades, siis Unity keskkonnas peab arendaja looma geograafilise loogika nullist, sealhulgas lahendused andmete programmi sisselugemise, koordinaatide projekteerimiseks ja polügoonide tessalleerimiseks. Nagu meetodika peatükis kirjeldatud, nõudis geograafiliste andmete kuvamine suurt eeltööd, nagu näiteks GeoJSON-i konverteerimist kolmnurkvõrgustikeks. Kui arendajal oleks soov kuvada

näiteks geograafilistel koordinaatidel põhinevaid andmeid, siis ta peaks ka selle loogika koostama. See on korraga nii Unity nõrkus kui ka tugevus – kuna arendajal on täielik kontroll selle üle, kuidas, mida ja kunas kuvatakse, siis peab ta kogu selle loogika ka looma.

Prototüüpi looma hakates alahinnati Unity-s kaardirakenduse ülesehituse loomise ja andmete eeltötluse mahukust. Arendajale, kes soovib luua vaid lihtsat 2D-kaarti, on traditsioonilised veebiteigid kahtlemata efektiivsem valik, kuid Unity väärtus seisneb peaaegu piiramatutes võimalustes, mis arendajal on.

ESRI poolt 2022. aastal välja antud *ArcGIS Maps SDK for Unity* (Furness ja Hansen, 2022a) ja *ArcGIS Maps SDK for Unreal Engine* (Furness ja Hansen, 2022b) kinnitab kasvavat mängumootorite ja geoinfotehnoloogia põimumist. Carbonell-Carrera jt (2017) järeldused, et interaktiivsete 3D-tööriistade kasutamine aitab õpilastel paremini õppida topograafiliste kaartide lugemisoskust, näitab samuti vajadust sarnastele lahendustele. Unity-ga prototüübi loomine näitab, et mängumootoriga saab edukalt peale arvutimängude ka interaktiivseid hariduslike rakendusi luua.

Kokkuvõtteks saab öelda, et kuigi Unity kasutamisega kaasnevad erinevad väljakutsed andmete integreerimise osas, on Unity hea keskkond kaardirakenduste või geoinformaatiliste tööriistade loomiseks. Vabadus luua täpselt vajadustele vastavaid lahendusi on oluline eriti tarkvarade puhul, millel on spetsiifiline eesmärk või on vaja kuvada 3D-andmeid.

4.2 Testimine ja intervjuud

Kasutatavusuuringu ja poolstruktureeritud intervjuude kvalitatiivsed tulemused aitavad mõista lihtsustatud kaardistamisrakenduste rolli Eesti haridussüsteemis. Tulemused näitavad keerulist olukorda, kus õpetajate entusiasm on vastamisi taristualaste takistustega, õpilaste ebaühtlase digipädevusega ja lihtsate lahenduste puudumisega.

Magistritöö raames loodud prototüübi esmane eesmärk oli lihtne kaardi loomise tarkvara kartograafiaga tutvumiseks, lahendades seeläbi probleemi, kus kaardi loomise tarkvaradel on hariduse kontekstis liiga järsk õpikõver (Bednarz, 2004; Fargher, 2018) ning saada õpetajate hinnang, mis oleks sellise rakenduse väärtus hariduses. Tulemused näitavad, et

intervjueeritud õpetajate arvates oleks rakendus hariduses kasulik ning seda oleks neil vaja. Kõrge sooritusmäär iseseisvates ülesannetes nagu klassifikatsiooni meetodite muutmine ja kaardi eksportimine kinnitab, et mängumootoril põhinev lihtsustatud kaardistamisrakendus muudab ruumiandmete visualiseerimise ligipääsetavaks ka mitteekspertidele.

Uurimisküsimus 3: *Milliseid kasutajaliideste põhimõtteid on oluline silmas pidada selleks, et muuta andmete visualiseerimine ja klassifitseerimine intuiitivseks n-ö mitteekspertidest kasutajatele, eriti hariduslikus kontekstis?*

Sellele vaatamata leiti oluline probleem kartograafilise terminoloogiaga. Kuigi õpetajad suutsid tehniliselt muuta valitud klassifikatsiooni meetodeid, jäi statistilise loogika (nt kvantiilid või loomulikud vahed) mõistmine isegi õpetajate jaoks keeruliseks ning paljud arvasid, et see vajaks õpilastele pikemat seletamist ja visuaalset tuge rakenduse poolt. See viitab asjaolule, et tarkvara lihtsus ei seisne vaid kasutajaliidese visuaalses disainis, vaid ka rakenduses leitavas terminoloogias ning selles, kas need on kasutajale tuttavad mõisted. Leiti, et võõrast terminoloogiat kasutava rakenduse kasutamine on võrreldav võõrkeelse rakenduse kasutamisega. Seda silmas pidades on kriitilise tähtsusega lisada terminitele abistavad hüpikaknad, kus on piktogrammid või tekst, mis aitavad mõista kasutatud termineid või funktsiooni ennast. Lisaks sellele oleks abiks lühijuhendid rakenduse funktsioonide seletamiseks (nagu pakkusid välja mitmed intervjueeritavad). Veel leiti, et abiks võiks olla keeruliste terminite vältimine (nt kvantiilid = võrdne arv vahemikus), kui see on võimalik. Juhul, kui see ei ole võimalik, saaks näiteks asendada keerulise termini lühikese kirjeldusega selle kohta, mis juhtub.

Uurimisküsimus 2: *Mis on peamised takistused ja võimalused loodud tarkvara kasutamiseks klassiruumis?*

Teine oluline probleem, mis intervjuudest ilmes ning mida on kirjeldanud ka Baker jt (2009), on asjaolu, et koolide füüsiline taristu on endiselt oluline innovatsiooni pidurdaja. Mõne õpetaja eelistus paberkandjal atlaste osas ei tulene huvipuudusest digivahendite vastu, vaid pigem ebamugavast ligipääsust arvutitele. Kuna arvuteid kasutatakse paljudes õppeainetes, peab arvutite broneerimist pikalt ette planeerima. See on õpetajate jaoks aga ajakulukas ja keeruline ülesanne, kuna vabad ajad ei pruugi kokku langeda õpetaja tunniplaaniga ja teemade õpetamise järjekorraga. Gümnaasiumiõpetaja A ütles, et see on tema jaoks demotiveeriv, kui ta ei saa arvutiklasside puuduse tõttu kõikide klassidega sama ülesannet teha ning peab alternatiive otsima.

Gümnaasiumiõpetaja A: „[---] ütleme ausalt kole sõnaga ei viitsi teha arvutipõhist tundi ette valmistada, kui ma näen, et ma kõigi klassidega ei saa seda teha. Et osadega ma pean mingi alternatiivsel viisil tegema, teistega saan arvutis teha [---] aga ma siamaani veel viitsin võimalusi otsida.”

Lisaks selle ilmnes tulemustest, et mõned õpetajad tunnevad, et digikaartidele üleminekut toetavad tarkvaralised lahendused ja õppematerjalid puuduvad. Tarkvaraliste lahenduste puudumisele viitab põhikooli õpetaja A lause (vt alapeatükk 3.2.2), et tal oleks sellist rakendust vaja olnud eelmine nädal ning gümnaasiumiõpetaja A arutelu (vt alapeatükk 3.2.2), kuidas ta on tahtnud varem lasta lastel ruumiandmeid visualiseerida, kuid pole leidnud selleks sobivat lahendust. Sobivate õppematerjalide puudusele viitab see, et kolm õpetajat rääkisid, et proovivad ise internetist kaardirakendusi leida, et neid kasutada õppetöös. Seda järeldust toetab veel ka asjaolu, et gümnaasiumiõpetaja A kirjeldas puudujääke digikaartide õppematerjalides.

Gümnaasiumiõpetaja A: „Mulle endale tundub, et, [---] on nii-öelda üleminek paberkaartidelt digikaartidele nagu õpetamises. [---] mul ei ole nagu väga häid selliseid õppematerjale, kuidas, kuidas seda paremini teha. Et ma lihtsalt ise nagu näitan palju kaarte ja proovin, et nad oleks hästi eri tüüpi kaardid.”

Õpetajate ettepanekud (mõõtkava, põhjanool ning maakonnapiirid nähtaval ka omavalitsuste kaardivaates) viitavad sellele, et nad näevad prototüübis potentsiaali areneda oluliseks õppevahendiks. Soovitakse, et tarkvara järgiks kartograafilisi standardeid, säilitades samal ajal kasutusmugavuse. Mõõtkava kuvamine kaardil ja maakonnapiiride eristamine olid ka funktsioonid, mida prooviti lisada juba enne intervjuusid. Nende lisamine osutus aga keeruliseks, ning need funktsioonid ei saanud intervjuude ajaks valmis.

Soov haldusüksuste hierarhia ja geograafilist konteksti lisava informatsiooni järele näitab, et õpetajad peavad oluliseks õpilaste ruumilist taju ja orienteerumisoskuseid. Selline tagasiside viitab, et hea geograafiline haridusrakendus peab siiski järgima kartograafia põhitõdesid. Sellistes rakendustes oleks oluline rakendada visuaalset hierarhiat, kuna see aitab kasutajal luua terviklikuma pildi maailmast.

Uurimisküsimus 4: *Mis on kaardi loomise programmide potentsiaal edendada ruumiandmete õpetamist geograafiaõpetajate arvates?*

Uuringu üks huvitavamaid leide on õpetajate erinevad ideed sellise rakenduse kasutamiseks kooligeograafia õpetamisel. Neli õpetajat viiest kirjeldasid, kuidas nad saaksid prototüüpi kasutada erinevatel pedagoogilistel eesmärkidel. Kirjeldati rakenduse kaasamist õppematerjalide valmistamisesse ja õpilaste hindamisse. Üksikleiuna nägi üks põhikooliõpetaja rakenduses potentsiaali erinevate õppeainete lõimimiseks, kirjeldades, kuidas andmete otsimine, töötlemine ja visualiseerimine looks loomulikud seosed matemaatika, arvutiõpetuse ja geograafia vahel. Kuigi teised õpetajad seda aspekti ei maininud, viitab see sellele, et rakenduse potentsiaal võib ulatuda geograafiatunni piiridest kaugemale ning vajaks edasist uurimist. Kokkuvõtteks võib öelda, et kaardi loomise programmide potentsiaal edendada ruumiandmete õpetamist on geograafiaõpetajate arvates olemas, kuid vajab olulist tuge. Õpetajatel on vaja paremat ligipääsu arvutitele ja väikse õpikõveraga kaardi loomise rakendusi. See toetaks õpetajate võimalust luua õppematerjale ning annaks õpetajatele võimaluse arendada õpilaste digipädevust ja arusaama ruumiandmetest.

Kasutatavusuuringu ja intervjuu tulemustest selgus, et enamik õpetajaid näevad loodud prototüüpi kui „puuduvat lüli” Eesti geograafiaõppes. See on piisavalt võimekas, et koostada keerulisemaid ülesandeid (nt hüpoteeside püstitamine ja võrdlev ruumianalüüs), kuid samas piisavalt lihtne, et seda saaks rakendada ühe 45-minutilise ainetunni raames. Samas takistaksid taristuprobleemid rakenduse kasutamist olenemata selle kasutajasõbralikkusest, ning valminud prototüübil on puudu soovitud funktsioone. Siiski leiti, et sarnane rakendus muudaks ruumiandmete visualiseerimise kättesaadavamaks nii õpilastele kui ka õpetajatele, mis aitaks toetada geograafiaõpet Eestis.

4.3 Piirangud ja edasised uurimissuunad

Uuringul on mitmeid piiranguid, mida tuleb tulemuste tõlgendamisel arvesse võtta. Valimi väiksus (n=5) on peamine piirang, kuna kvalitatiivsed tulemused põhinevad vaid viie õpetaja kogemusel ning ei ole üldistatavad kõikidele Eesti geograafiaõpetajatele ja koolidele. Kuigi Virzi (1992) on näidanud, et viis kasutajat on kasutatavusuuringus piisav olulisemate

probleemide tuvastamiseks, vajaks rakenduse pedagoogilise potentsiaali hindamine laiemat valimit. Lisaks sellele toimus testimine juhendatud tingimustes, kus õpetajatele selgitati rakenduse funktsioone tutvumise käigus. See tähendab, et tulemused peegeldavad juhendatud kasutamise kogemust, mitte täielikult iseseisvat kasutamist, ning päris klassiruumi tingimustes võivad kasutajad kogeda rohkem raskusi.

Prototüübi edasiarendamiseks on mitmeid loogilisi suundi. Lähituleviku arendusvajadused tulenevad otseselt õpetajate tagasisidest. Kartograafiliste põhielementide nagu mõõtkava ja põhjanool lisamine muudaks rakenduse kartograafiliselt täielikumaks ning toetaks õpilaste ruumitaju arendamist, mida rõhutavad ka Jonuzi ja Selvi (2025). Klassifikatsiooniterminitele selgitavate hüpikakende lisamine vähendaks kognitiivset koormust ning muudaks rakenduse lihtsamini kasutatavaks.

Andmete importimise lihtsustamine on teine oluline arendusvaldkond. Praegu toetab rakendus CSV-formaati, kuid Statistikaamet pakub andmeid ka XLSX-formaadis. XLSX-toe lisamine vähendaks kasutaja eeltöö mahtu. Veelgi suurem samm oleks erinevate andmebaaside otseühendus rakendusse, mis võimaldaks kasutajatel andmeid importida ilma failide allalaadimise ja ettevalmistamiseta. See oleks oluline, kui eesmärk ei ole kaardi koostamine, vaid andmete avastamine.

Pikemate uurimissuundadena võiks kaaluda 3D-visualisatsioonide lisamist, mis toetaks Carbonell-Carrera jt (2017) järelduste põhjal õpilaste topograafiliste kaartide lugemisoskust. Samuti võiks uurida rakenduse laiendamist teistele riikidele või maailmakaartidele, mis avardaks rakenduse kasutusvõimalusi õppekavas nõutava globaalse geograafilise teadlikkuse arendamiseks. Lõpuks vajaks edasist uurimist rakenduse mõju õpilaste ruumilisele mõtlemisele ja digipädevusele pikema perioodi jooksul, kuna uuring keskendus vaid õpetajate esmamuljele.

Kokkuvõte

Magistritöö eesmärgiks oli luua lihtsustatud teemakaartide loomise tarkvara prototüüp, mille abil saab koostada horopleet-teemakaarte Eesti haldusüksuste kohta, ning hinnata sellise rakenduse potentsiaali ruumiandmete õpetamise toetamiseks Eesti koolides. Prototüüp arendati Unity mängumootori abil ning eksporditi Unity WebGL formaati, muutes selle brauseris kasutatavaks ilma paigaldamiseta. Rakendus võimaldab kasutajatel importida CSV-andmefaile ning visualiseerida andmeid horopleet-teemakaardina nii maakonna- kui omavalitsuse tasandil. Ruumiandmed integreeriti rakendusse eeltöödeldud kolmnurkvõrgustikena, mis välistab sõltuvuse välistest geodatateenustest.

Arendusprotsess näitas, et Unity mängumootor pakub arendajale suurt loomingulist vabadust ja paindlikkust kasutajaliidese kujundamisel, kuid ruumiandmete integreerimine mängumootoris on oluliselt keerulisem kui spetsiaalsete veebiteekide kasutamine. Lihtsama 2D-kaardirakenduse loomiseks on traditsioonilised veebiteegid efektiivsem valik, kuid Unity väärtus seisneb peaaegu piiramatutes võimalustes rakenduse edasiarendamiseks.

Prototüüpi hinnati kvalitatiivse kasutatavusuuringuga, mis ühendas ülesandepõhise testimise valjult mõtlemise meetodiga ning poolstruktureeritud intervjuusid viie geograafiaõpetajaga nii põhikoolidest kui gümnaasiumitest. Tulemused näitavad, et kõik intervjueritud õpetajad näevad sellise rakenduse järele vajadust ning suutsid iseseisvalt sooritada enamiku põhiülesannetest. Peamiste kasutatavusprobleemidena tuvastati klassifikatsiooniterminoloogia keerukus ning legendi muutmise loogika ebaselgus. Õpetajad kirjeldasid mitmeid pedagoogilisi kasutusvõimalusi, sealhulgas rakenduse kasutamist õppematerjalide koostamiseks, hüpoteeside püstitamiseks ja kontrollimiseks ning õpilaste hindamiseks. Peamise rakenduse kasutuselevõttu piirava tegurina toodi välja koolide piiratud ligipääs arvutitele, mis on probleemiks olenemata rakenduse kasutusmugavusest.

Töö järeldab, et madala õpikõveraga teemakaartide loomise rakendus võiks täita lünga Eesti geograafiaõppes, pakkudes vahelüli traditsiooniliste paberatlaste ja professionaalsete geoinfosüsteemide vahel ning toetades seeläbi riiklikus õppekavas ette nähtud eesmäärke.

Developing a thematic map making software prototype in the Unity game engine

Daniel Henri Trump

Summary

Geographic information systems have been integrated into school curricula in Estonia and across Europe since the 1990s, yet their adoption in everyday classroom practice has remained limited. The steep learning curve of professional GIS tools, restricted access to computers, and the lack of suitable teaching materials have been consistently identified as the primary barriers. At the same time, the Estonian national curriculum explicitly requires students to develop skills in creating and reading digital thematic maps. This thesis addresses the gap between these curricular requirements and available tools by developing and evaluating a simplified thematic map creation software prototype.

The theoretical framework of this thesis examines the history of cartography in school education, cognitive load theory and pedagogical usability, the role of digital maps and geographic information systems in the Estonian national curriculum, client architecture models, and the existing technological landscape for interactive cartographic applications. A comparative analysis of existing web-based mapping tools revealed that current solutions are either too limited in functionality, too complex for classroom use.

The prototype was developed using the Unity game engine and exported as a Unity WebGL application, enabling use through a web browser without installation. The application allows users to import CSV data files and visualize data as choropleth thematic maps of Estonian administrative units at both the county and municipality level. The application includes three statistical classification methods, multiple colour themes, automatic legend generation, and the ability to export the finished map as an image file.

The development process demonstrated that while Unity offers considerable creative freedom and flexibility in interface design, integrating spatial data into a game engine is significantly more complex than using dedicated web mapping libraries. For simple 2D map applications, traditional web libraries remain a more efficient choice. However, Unity's value lies in its

nearly unlimited potential for future development, including 3D visualizations and more complex interactive features.

The prototype was evaluated through a qualitative usability study combining task-based testing with the think-aloud protocol and semi-structured interviews with five geography teachers from both basic and upper secondary schools. Results indicate that all participating teachers identified a clear need for such an application and were able to independently complete most core tasks. The main usability issues identified were the complexity of classification terminology and the non-intuitive logic of legend editing. Teachers described multiple pedagogical use cases, including using the application to prepare teaching materials, to have students formulate and test hypotheses about spatial patterns, and as an assessment tool. One teacher saw potential for cross-subject integration with mathematics and computer science education. The primary barrier to adoption identified across interviews was restricted access to computers in schools, which limits the use of any digital tool regardless of its usability.

The study concludes that a gradual learning curve thematic map creation application could serve as a missing link in Estonian geography education, bridging the gap between traditional paper atlases and professional GIS tools, and thereby supporting the geoinformatics objectives set out in the national curriculum. Future development priorities identified include adding cartographic elements such as a scale bar and north arrow, improving classification terminology with explanatory tooltips, and integrating direct data import from the Statistics Estonia API to further reduce the barrier to use.

Tänuavaldused

Autor tänab juhendajaid Raivo Aunapit ja Birgit Viru sisukate nõuannete ja toetuse eest ning pere liikmeid heade mõtete ja julgustuse eest.

Kasutatud kirjandus

- Baker, T. R., Palmer, A. M., & Kerski, J. J. (2009). A National Survey to Examine Teacher Professional Development and Implementation of Desktop GIS. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1080/00221340903435934>
- Balla, D., ja Gede, M. (2025). Vector Data Rendering Performance Analysis of Open-Source Web Mapping Libraries. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(9), 336. <https://doi.org/10.3390/ijgi14090336>
- Bednarz, S. W. (2004). Geographic Information Systems: A Tool to Support Geography and Environmental Education? *GeoJournal*, 60(2), 191–199. <https://doi.org/10.1023/B:GEJO.0000033574.44345.c9>
- Bondarenko, O. V. (2025). Teaching geography with GIS: A systematic review, 2010-2024. *Science Education Quarterly*, 2(1), 24–40. <https://doi.org/10.55056/seq.903>
- Butler, H., Daly, M., Doyle, A., Gillies, S., Schaub, T., & Hagen, S. (2016). *The GeoJSON Format* (Request for Comments RFC 7946). Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC7946>
- Carbonell Carrera, C., Avarvarei, B. V., Chelariu, E. L., Draghia, L., & Avarvarei, S. C. (2017). Map-Reading Skill Development with 3D Technologies. *Journal of Geography*, 116(5), 197–205. <https://doi.org/10.1080/00221341.2016.1248857>
- ColorBrewer: Color Advice for Maps. (i.a.). Kasutatud 11.05.2026 <https://colorbrewer2.org/#type=sequential&scheme=PuRd&n=7>
- Erl, T., Mahmood, Z., ja Puttini, R. (2013). *Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture* (lk 45–48). Hall / ServiceTech Press.
- Coulouris, G., Dollimore, J., Kindberg, T., ja Blair, G. (2012). *Distributed Systems: Concepts and Design* (Fifth Edition). Addison-Wesley / Pearson Education.
- Fang, A. (2025). *Comparison of Flow Path Mapping Between Unreal Engine and ArcGIS: The Potential Role for Game Engines in GIScience*. University of Waterloo. Link: <https://uwspace.uwaterloo.ca/items/8f1ba47a-9238-4d9b-ab05-bc10c5d02d27>
- Fargher, M. (2018). WebGIS for Geography Education: Towards a GeoCapabilities Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 111. <https://doi.org/10.3390/ijgi7030111>
- Furness, N., ja Hansen, R. (2022a). Introducing ArcGIS Maps SDK for Unity. *ArcGIS Blog*. Kasutatud 16.04.2026. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/unity/announcements/introducing-arcgis-maps-sdk-for-unity>
- Furness, N., ja Hansen, R. (2022b). Introducing ArcGIS Maps SDK for Unreal Engine. *ArcGIS Blog*. Kasutatud 16.04.2026. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/unreal-engine/announcements/introducing-arcgis-maps-sdk-for-unreal-engine>
- Geograafiaolümpiaad. Tartu Ülikooli Teaduskooli kodulehekül. Kasutatud: 16.04.2026. Link: <https://teaduskool.ut.ee/et/olumpiaadid/geograafiaolumpiaad>

- GIS-päev. EGEA-Tartu kodulehekülg. Kasutatud: 16.04.2026.
<https://egea.ee/wordpress/meie-tegevused/gis-paev/>
- Google. (2025). Google AI Studio, suur keelemudel, <https://aistudio.google.com/> Kasutatud: 10.04.2026
- Gümnaasiumi loodusainete valdkonna valikkursus: „Geoinformaatika”. Tartu Ülikooli Teaduskooli E-õppekeskus. Kasutatud: 16.04.2026.
<https://e-oppekeskus.ee/kursused/gumnaasiumi-loodusainete-valdkonna-valikkursus-geoinformaatika/>
- Harrower, M., ja Brewer, C. A. (2003). *ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps*. The Cartographic Journal, 40(1), 27–37.
<https://doi.org/10.1179/000870403235002042>
- Jonuzi, E., Selvi, H. Z. (2025). Mapping knowledge: The integration of cartographic tools in primary school education. *International Journal of Cartography*, 0(0), 1–28.
<https://doi.org/10.1080/23729333.2025.2595716>
- Kasutatavus ja selle hindamise meetodid. Tallinna Ülikool. Digitehnoloogiate instituudi kursuse IFI6207.DT loenguslaidid
www.slideshare.net/slideshow/kasutatavus-ja-selle-hindamise-meetodid/82351013
- Khamula, O., Tymchenko, O., Vasiuta, S., Sosnovska, O., ja Dorosh, S. (2024). *Development of Font Selection Method for Text Content in Immersive Technologies*. CyberPhyS-2024: 1st International Workshop on Intelligent & CyberPhysical Systems. Khmelnytskyi, Ukraina. Link: <https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper9.pdf>
- Kumar, M., Abdullah, D., ja Singh, D. J. (2019). *Modularity: a major aspect to maintainability*. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST), 7(6). DOI: <https://doi.org/10.21276/ijircst.2019.7.6.4>
- Lahe geograafiatund. EGEA-Tartu kodulehekülg. Kasutatud: 16.04.2026.
<https://egea.ee/wordpress/meie-tegevused/lahe-geograafiatund/>
- Lepik, K., Harro-Loit, H., Kello, K., Linno, M., Selg, M ja Strömp, J. (2014). Intervjuu. Tartu Ülikooli Sotsiaalse Analüüsi Meetodite ja Metodoloogia õpibaas. Kasutatud: 02.04.2026. Link: <https://samm.ut.ee/intervjuu/>
- Leaflet. (2025). *Leaflet*. Kasutatud: 18.04.2026. <https://leafletjs.com/>
- LibTessDotNet. (2021) Kasutatud: 13.03.2026. <https://github.com/speps/LibTessDotNet>
- Lu, J., Schmidt, M., Lee, M., ja Huang, R. (2022). *Usability research in educational technology: A state-of-the-art systematic review*. Educational Technology Research and Development, 70(6), 1951–1992.
- Maa- ja Ruumiameti geoportaal. (i.a). Kasutatud: 13.11.2025
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/haldus-ja-asustusjaotus-p119.html>
- Manson, S., Shannon, J., Eria, S., Kne, L., Dyke, K., Nelson, S., Batra, L., Bonsal, D., Kernik, M., Immich, J., ja Matson, L. (2014). Resource Needs and Pedagogical Value of Web Mapping for Spatial Thinking. *Journal of Geography*, 113.
<https://doi.org/10.1080/00221341.2013.790915>

- Mapbox. (i.a.). Mapbox Dokumentatsioon. Kasutatud 9.05.2026 <https://docs.mapbox.com/>
- Mapshaper. (2026). Kasutatud: 13.03.2026. <https://mapshaper.org/>
- Martinelli, M. (2009). *Analytic and synthesis maps on geographic school atlases*. Link: <https://www.semanticscholar.org/paper/ANALYTIC-AND-SYNTHESIS-MAPS-ON-GEOGRAPHIC-SCHOOL-Martinelli/0a62211e3835633882deccc88279245901bda5ad#citing-paper>
- Moretz, D. (2008). Internet GIS. *Encyclopedia of GIS* (lk 591–596). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_648
- Olev, A., ja Alumäe, T. (2025). *Open source platform for Estonian speech transcription*. Language Resources and Evaluation, 59(4), 4421–4438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10579-024-09777-1>
- Open Broadcaster Software | OBS. (2026). Kasutatud: 18.04.2026. <https://obsproject.com/>
- OpenLayers. (2026). OpenLayers. Kasutatud: 18.04.2026. <https://openlayers.org>
- Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., ja Van Greven, H. T. P. W. M. (2003). *Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory*. ResearchGate, (38), 63–71. DOI: https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8
- Preciado, J. C., Linaje, M., Comai, S., ja Sánchez-Figueroa, F. (2007). *Designing Rich Internet Applications with Web Engineering Methodologies*. Web Site Evolution, 2007. WSE 2007. 9th IEEE International Workshop on. DOI: <https://doi.org/10.1109/WSE.2007.4380240>
- Reyes Nunez, J. J. (2020). Introducing the special issue: Some thoughts on school cartography. *International Journal of Cartography*, 6(3), 267–269. <https://doi.org/10.1080/23729333.2020.1748341>
- Roosaare, J. ja Liiber, Ü. (2013). *GIS in school education in Estonia – looking for an holistic approach*. Journal of Research and Didactics in Geography, lk 47-56. DOI: 10.4458/0900-05
- Safaraliyeva, N., Alhosani, N., ja Nunez, J. J. (2019). Teaching basic map concepts in three countries: Azerbaijan, Hungary and United Arab Emirates. *International Journal of Cartography*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.1080/23729333.2019.1614308>
- Schooler, L. J., ja Ritter, F. E. (2001). Learning Curve, The. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (lk 8602–8605). DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01480-7>
- Statistikaameti andmebaas. (i.a.). Kasutatud: 18.04.2026. <https://andmed.stat.ee/et/stat>
- Sulg, S. (2017). Geograafia õpetamine Eesti üldhariduskoolides. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool <https://dspace.emu.ee/items/53ea2ee1-a9c0-4290-aaac-a107029bc649>
- Sweller, J. (1994). *Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design*. Learning and Instruction 4(4), 295–312. DOI: [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Tanenbaum, A. S., ja Van Steen, M. (2007). *Distributed Systems: Principles and Paradigms* (Second Edition, lk 36–44). Pearson Prentice Hall.

- Ubuntu. (i.a.). Google Fonts. Kasutatud 11.05.2026
<https://fonts.google.com/specimen/Ubuntu>
- Unity GameObjects dokumentatsioon. *Unity Dokumentatsioon*. Kasutatud 10.05.2026
<https://docs.unity.com/en-us/unity-studio/develop/gameobjects>
- Unity kasutajaliidese dokumentatsioon. *Unity Dokumentatsioon*. Kasutatud 10.05.2026
<https://docs.unity3d.com/6000.4/Documentation/Manual/UIElements.html>
- Unity renderdamise dokumentatsioon. *Unity Dokumentatsioon*. Kasutatud 10.05.2026
<https://docs.unity3d.com/6000.4/Documentation/Manual/render-pipelines.html>
- Uuemaa, E. ja Liiber, Ü. (2014). *The Experience of Using Geoportal in National Geography Olympiad in Estonia*. GI-Forum 2014, Vol 2, lk 328-331. Österreichische Akademie der Wissenschaften. DOI: [10.1553/giscience2014s328](https://doi.org/10.1553/giscience2014s328)
- Vabariigi Valitsuse 6. jaanuari 2011. a määrus nr 1 „Põhikooli riiklik õppekava”. Lisa 4. *Riigi Teataja* I. Kasutatud 16.04.2026.
https://www.riigiteataja.ee/akt/1231/2202/5006/18m_pohi_lisa4.pdf#
- Vabariigi Valitsuse 6. jaanuari 2011. a määrus nr 2 „Gümnaasiumi riiklik õppekava”. Lisa 4. *Riigi Teataja* I. Kasutatud 16.04.2026.
https://www.riigiteataja.ee/akt/1290/8201/4021/2m_lisa4.pdf#
- Virzi, Robert A. (1992). *Refining the Test Phase of Usability Evaluation: How Many Subjects Is Enough?* Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society 34: 457 - 468.
- Wiegand, P. (2006). Teaching Children to Understand Maps. *Teaching Children to Understand Maps* (lk 12–30).
<https://www.scribd.com/document/854535211/learning-and-teaching-with-maps>

Lisad

Lisa 1.

Teadliku nõusoleku leht

Intervjuu ja testimine on osa uurimistööst „**Teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi loomine Unity mängumootoriga**”. Enne lõpliku nõusoleku andmist lugege läbi teadliku nõusoleku leht. Leht sisaldab infot uuringu kohta. Küsimuste tekkimisel esitage need intervjuerijale.

Uurimistöö lähtub küsimustest:

- „Millised on Unity mängumootori tehnilised võimalused ja väljakutsed interaktiivsete ning kartograafiliselt korrektsete teemakaartide loomise tarkvara arendamisel?”;
- „Mis on peamised takistused ja võimalused loodud tarkvara kasutamiseks klassiruumis?”;
- „Milliseid kasutajaliideste põhimõtteid on oluline silmas pidada selleks, et muuta andmete visualiseerimine ja klassifitseerimine intuiitivseks n-ö mitteekspertidest kasutajatele, eriti hariduse kontekstis?”;
- „Mis on kaardi loomise programme potentsiaal edendada ruumiandmete õpetamist geograafiaõpetajate arvates?”

Intervjuu on jagatud neljaks sisuliseks plokiks. Iga küsimuste plokk keskendub teatud uurimisküsimustele vastuste leidmisele.

Uurimistöö ühe meetodina kasutatakse **kvalitatiivset poolstruktureeritud intervjuud**.

Teid on valitud uuringusse, sest kuulute uurimistöö valimisse (geograafiaõpetaja põhikoolis või gümnaasiumis) ning andsite nõusoleku intervjuus osalemiseks.

Intervjuu ja testimine lindistatakse. Teile tagatakse Teie vastuste konfidentsiaalsus. Andmed kustutatakse pärast töö kaitsmist.

Intervjuus ja testimises osalemise ajakulu on umbes **1 tund**. Osalemine pole tasustatud.

Uurimistööd viib läbi **Tartu Ülikooli geograafia eriala magistritudeng Daniel Henri Trump**. Küsimuste korral kontakteeruge trump.danielhenri@gmail.com.

Nõusolek uuringus osalemiseks:

Kinnitan, et olen tutvunud uurimistöö eesmärkide ja metoodikaga ning annan allkirjaga vabatahtliku nõusoleku uuringus osalemiseks.

/ Teie allkiri /

.....

/ kuupäev / kuu / aasta /

.....

Lisa 2.

Teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi testimine.

Suur aitäh, et leidsite aega minu magistritöö raames arendatava tarkvara testimisel. Magistritöö eesmärk on luua Teemakaartide koostamise tarkvara prototüüp. Testi ja intervjuu viib läbi Daniel Henri Trump, magistritöö autor.

Testimise eesmärk on hinnata töö autori loodud interaktiivse kaardirakenduse prototüüpi. Tegemist on Unity mängumootoril põhineva tööriistaga, mis on mõeldud teemakaartide loomise ja ruumiandmete visualiseerimise õpetamiseks koolis. Minu soov on teada saada, kui intuitiivne ja kasulik selline programm õpetajate arvates oleks.

Kuidas testimine toimub?

Õelge, mida mõtlete: Teil palutakse sooritada tarkvaras mõned lühikesed ülesanded. Kõige olulisem osa testimisest on see, et Te ütleksite välja kõik, mis Teile silma jääb. Näiteks mida näete ekraanil, mida parasjagu otsite, mis tundub segane või ootamatu. See aitab mul mõista, mis on tarkvara puhul hea või halb.

Ei ole õigeid ega valesid vastuseid: Oluline on meeles pidada, et ma ei testi Teie oskusi, vaid ma testin tarkvara. Kui Te ei leia mingit nuppu üles või jääte hätta, siis on see viga tarkvara disainis. Iga leitud probleem on minu jaoks väärtuslik tagasiside tarkvara täiustamiseks.

Intervjuu: Pärast praktilist osa esitan Teile mõned täpsustavad küsimused rakenduse potentsiaali kohta koolitunnis.

Konfidentsiaalsus ja andmed:

Testimist ja intervjuud lindistatakse ning tehakse märkmeid, et saaksin tulemusi hiljem analüüsida. Kõik andmed on konfidentsiaalsed. Teie nime magistritöös ei avaldata ning andmeid kasutatakse ainult teaduslikel eesmärkidel. Teil on õigus testimine igal ajal katkestada. Andmed kustutatakse pärast töö kaitsmist

Kas Teil on enne alustamist küsimusi?

Lisa 3.

Andmete ja informatsiooniga tutvumine:

1. Minge veebiaadressile dhtrump.itch.io/kaardirakendus-test. Rakenduse parool on **Kaart123**
2. Soovi korral saate tutvuda veebilehel oleva rakenduse kirjeldusega.
3. Kerige veebilehe alla, kus leiate testi sooritamiseks andmed “Test_Andmed.zip”. Laadige see alla ja pakkige lahti.
4. Soovi korral saate andmetega tutvuda failis nimega “**Rahvaloendus_2021**”.

Programmiga tutvumine:

1. Käivitage programm, vajutades nupule “**Run program**”.
2. Importige fail nimega “**Rahvaloendus_2021**”.
3. Tutvuge rakenduses andmete vaatamise ja visualiseermisvõimalusega.
 - a. Vajadusel saate **hiirerulliga** kaarti aknas suurendada või vähendada.
 - b. **Paremat hiireklõpsu** all hoides saate kaarti aknas liigutada.
 - c. Ekraani **ülevalt vasakult** saate vahetada kuvatud andmeid.
 - d. Ekraani **üleval keskel** saate vahetada kaardi vaadet valdade ja maakondade vahel.
 - e. **Kaardile vajutades** näete andmeid valitud maakonna või omavalitsuse kohta. Aken tekib ülesse paremale.
 - f. **Vasakul keskel** saate muuta kaardi värviteemat, klasside loomise meetodit ja mitmesse erinevasse klassi andmed kaardil jaotatakse.
 - g. **Vasakul keskel** saate ka valida, kas soovite kaardil näha maakonnakeskuseid

Ülesanne:

1. Pange kaart **valdade** vaatesse ning valige vaadeldavateks andmeteks “**65 ja vanemad osakaal rahvastikust**”.
2. Valige klassifikatsiooni meetodiks **loomulikud vahed** ja **klasside arvuks 5**.
3. Seadistage kaardi pealkiri ja legend.
 - a. Vajutades väljale “**Sisesta pealkiri**” saate muuta kaardi pealkirja.

- b. Vajutades legendi välju saate muuta sealseid väärtuseid – näiteks muuta need kirjeldavateks või lisada ühiku.
- 4. Kui olete lõpetanud, vajutage nupule **“Salvesta kaart”**. Liigutage kaart endale sobivasse suurusesse. Seejärel paigutage kaardile legend ja pealkiri vastavalt oma soovile.
- 5. Veenduge, et kaart salvestati. Üldiselt peaks kaardi leidma arvuti **Downloads** kaustast.
- 6. Kui vaatate loodud kaarti, siis **milliseid Teie jaoks huvitavaid ruumilisi suhteid märkate?**
- 7. Minge tagasi kaardi muutmise vaatesse ning pange kaart maakondade vaatesse. **Milliseid Teie jaoks huvitavaid muutuseid kaardil märkate?**

Lisa 4.

Intervjuu kava:

Taust

1. Mitmenda klassi õpilastele geograafiat tavaliselt õpetate?

Kasutajaliidese kogemus (Uurimisküsimus (UK) 1 ja UK3)

1. Kui arusaadav oli andmete importimine?
2. Kui arusaadav oli kaardi salvestamine?
3. Millised kasutajaliidese osad olid segased või ebaselged? (nuppude paigutus, terminid)
4. Millised probleemid võivad õpilastel tekkida selle programmi kasutamisega?

Takistused ja võimalused (UK2)

1. Kui palju pühendate tavaliselt aega kartograafiale või selle õpetamisele/seletamisele õppetöös?
2. Kui palju kasutate kaardirakendusi/veebikaarte õppetöös?
3. Kui palju kasutate atlaseid õppetöös?
4. Mis on kõige suuremad takistused arvutikaartide kasutamisel klassiruumis või õppetöös?
5. Kas selline kartograafia programm aitaks neid probleeme lahendada?

Andmete visualiseerimine ja kujutamine (UK3 ja UK4)

1. Kui palju keskendute õppetöös andmete visualiseerimisele? Sellele kuidas andmete kujutamise viis mõjutab kaardi või andmete sõnumit?
2. Kas te arvate, et rakenduses olevad statistilised meetodid aitaks õpilastel mõista andmetega valesti mõistmist?

Tuleviku potentsiaal ja integreerimine õppetöösse (UK 4)

1. Kas te kasutaksite sellist programmi õppetöös?

2. Kui selline tööriist oleks lõplikult välja arendatud, siis milliseks õppetööriks see kõige paremini sobiks? (Tavaline geograafiatund, valikaine või uurimistöö)
3. Mis oleks üks funktsioon, mida sooviksite kindlasti veel näha sellise programmi puhul?

Lisa 5.

Tabel 5. Kodeeritud andmete väljavõte.

Intervjueeritav	Teema kategooria	Kood	Tsitaat	Kokkuvõte
Gümnaasiumiõpetaja B	UI/UX	Terminoloogia segadus	See asi on isegi minu jaoks liiga keeruline. [---] võib-olla täpsustada võrdsed intervallid [---] ehk siis sinna mingi seletav tekst	Kartograafias levinud statistilised terminid nagu kvantiilid ja loomulikud vahed vajavad selgitust
Gümnaasiumiõpetaja B	Funktsiooni soov	Funktsioon puudu	Kas kirja suurust muuta saab?	Kasutaja soovis teada kas kirja suurust ja värvi saaks muuta.
Põhikooliõpetaja B	Funktsiooni soov	Funktsioon puudu	Et oleks nagu nii maakonna piir [---] et ma olen õppinud neid Eesti maakondi ja maakonnasiseselt on siis vot need, need omavalitsused, et tal oleks see pilt ka ees.	Õpetaja soovib, et rakenudse omavalisuse vaates oleks maakonna piir eristuv.
Põhikooliõpetaja B	UI/UX	Informatsiooni tihedus	[---] võib-olla nagu korraks hakkas duubeldama, aga jällegi kui süveneda, sa saad aru, mis osa, mille kohta ja kuhu käib [---]	Info tihedus rakenduses tekitas liigse müra ja ajas kasutaja segadusse
Põhikooliõpetaja B	Taristu	Ligipääs arvutitele halb	Õpilased ise saavad tunnis rohkem kasutada kindlasti atlast [---] sellepärast, et need on mul siin riulis olemas, kust võtta, jagada välja. Arvutiklassi on keeruline saada.	Õpetaja kirjeldab, miks ta eelistab atlast.
Põhikooliõpetaja B	Kasutuselevõtt	Positiivne tagasiside	Jah, raudselt, tahaks kohe, kas juba praegu annab kasutada?	Õpetaja vastus küsimusele kas ta kasutaks sellist programmi.
Gümnaasiumiõpetaja C	UI/UX	Ebamugav interaktiivsus	[---] kaks korda pean vajutama, esimese korraga ei saa.	Õpetaja täheldas, et peab kaks korda vajutama legendiväljale, et teha täpseid muudatusi.

Tabel 5. (järg).

Gümnaasiumiõpetaja C	UI/UX	Värvide tagasiside	[---] aga huvitav on see, et kui ma nüüd lähen seal peale, miks ta nüüd läheb kollaseks, et muidu ta on lilla.	Õpetaja täheldas, et kui hiirekursor on haldusüksuse peal muutub haldusüksus kollaseks ning, kui kaardi värviteema sisaldab kollast tekitab see segadust.
Gümnaasiumiõpetaja C	Õppekava	Hindamine	[---] kui neil on arvestus [---] peavad ise ühe kaardi tegema, ühe lihtsa kaardi.	Õpetaja kirjeldab, et kasutab kaartide loomist hindamiseks.
Gümnaasiumiõpetaja C	Taristu	Ligipääs arvutitele hea	mul on kõik tunnid siin[arvutiklassis] [---] et kõik vahendid on siin.	Õpetaja kirjeldab, et neil ei ole probleeme arvutite saamisega erinevalt teistest koolidest.
Gümnaasiumiõpetaja C	Pedagoogika	Kaartide võrdlemine	[---] ei pea nagu nendele seda teha laskma, et vot ma saaks nagu ise kaarti teha [---] panen Moodlesse kaks kaarti kõrvuti, noh, millist erinevust või mida sa seal näed [---]	Õpetaja kirjeldab, kuidas ta sellist rakendust kasutaks õppetöös
Põhikooliõpetaja A	Praegused lahendused	Olemaolevad tööriistad	[---] olen kasutanud hästi palju seda ka Maa-ameti lehte [---]	Õpetaja kirjeldab, et kasutab Maa-ameti rakendust palju õpetamiseks.
Põhikooliõpetaja A	Pedagoogika	Motiveerimine	No nii palju kui võimalik tegelikult [---] see Geoguesser, vaata, mis see nagu mäng oli. Seda ma olen nagu hästi palju nagu motivatsiooniks kasutanud ka [---] Et pigem ma kasutan mingeid erinevaid rakendusi, võimalusi, et ta sealt otsib ja vastab mulle [---]	Õpetaja kirjeldab, veebikaartide kasutamist.
Põhikooliõpetaja A	Pedagoogika	Õpilaste haldamine	[---] kui me oleme arvutiklassi, siis nad on täiesti niimoodi, et lapsed lähevad nagu täiesti nagu teise maailma, neid hallata on nii raske. Et see on ka nagu üks suur miinus nagu üldse selle arvuti ja tehnika maailma juures, et, et sa pead oskama olema nii konkreetne ja oskama nagu läheneda sellele sellisel viisil.	Õpetaja kirjeldab probleeme õpilaste haldamisega digiõppe korral.
Põhikooliõpetaja A	Kasutuselevõtt	Soov kasutada	Kindlasti. Jah	Õpetaja vastus küsimusele kas ta kasutaks sellist programmi.

Tabel 5. (järg).

Gümnaasiumiõpetaja A	Pedagoogika	Teoriast arusaamine	[---] Tänapäeva on noored, nad klõpsivad, teevad mingeid asju ja saavad ülesandega hakkama. Ja kui ma palun neil midagi, siis noh, et kirjuta kolme lausega, mida märkasid, mis oli oluline nagu üllatav teadmine, siis nad hakkavad esimest korda vaatama [---] nad teevad kõik ära, ilma et saanud aru, mis nad tegid. Ja siis muu õpetajana tahaks suunata, et nad saaksid sisuliselt aru [---] siis see, et siia nagu ole hea lisaprotsendi märk [---] Võib-olla on õppe eesmärgil isegi hea.	Õpetaja kirjeldab, kuidas legendi muutmine võib-olla õppe eesmärgil kasulik.
Gümnaasiumiõpetaja A	Õppekava	Lõimimine	[---] Excel oskab ka protsenti arvutada, mis võikski olla ka üks selle ülesande eesmärk, et nad õpivad seda programmi [Excelit] kasutama. [---]	Õpetaja kirjeldab kuidas saaks arvutiõpet lõimida õppetööse.
Gümnaasiumiõpetaja A	Õppekava	Valikaine või kohustuslik	See sobiks tavaliseks, see on piisavalt lihtne [---] nad ise otsivad statistikat ja püüavad aru saada, mida nad siis näevad, siis aitaks seda visualiseerida, see tööriist on mul lihtsalt puudu olnud. [---] valikainest, ma pigem juba läheks siis sinna ArcGIS-i. Aga, seda geoinformaatikat saaks ka alustada, et alustame lihtsamast.	Õpetaja kirjeldab milliseks õppetööks ta rakendust kasutaks.
Gümnaasiumiõpetaja A	Õppekava	Rahvastiku õppimine	[---] rahvastiku geograafias arutame nagu erinevaid teemasid, ka arutame, et kus kui vanad inimesed on kuhu nad liiguvad mis probleemid on. Et siis see vallavaade on ka äge.	Õpetaja kirjeldab kuidas valla andmed võiksid õppetöös abiks olla.

Lisa 6.

Prototüübi lähtekood ja valmis rakenduse failid

Magistritööga on kaasas kaust, mis sisaldab teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi lähtekoodi (programmeerimisprobleemide tuvastamiseks kasutati tehisintellekti) ja valmis rakenduse faile. Kaustast leiab järgmised elemendid:

- source – Unity projekti lähtekood (kaustad Assets, Packages, ProjectSettings). Projekti avamiseks on vajalik Unity versioon 6000.2.10f1. Täpsemad juhised lähtekoodi avamiseks on lisatud README.txt faili;
- build – Unity WebGL vormingus valmis rakendus, mida saab käivitada veebibrauseris. Rakenduse käivitamise juhised on lisatud README.txt faili.

Rakendus on kättesaadav ka veebis, aadressil <https://dhtrump.itch.io/kaardirakendus-test> (parool: Kaart123). Kuna veebiversioon ei pruugi olla alati kättesaadav, on magistritöö lisana esitatud ka rakenduse failid.

Lisa 7.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Daniel Henri Trump

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose Teemakaartide koostamise tarkvara prototüübi loomine Unity mängumootoriga, mille juhendajad on Raivo Aunap ja Birgit Viru, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Daniel Henri Trump

24.05.2026