

TARTU ÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Ettevõtluse ja tehnoloogia juhtimise õppekava

Karl Roben

**MINIMAALSELT ELUJÕULISE HARIDUSMÄNGU (MVEG)
RAAMISTIK: JUHTUMIUURING MATEMAATIKAMÄNGU
NUMBRIJOOKS ARENDAMISEST**

*A Minimum Viable Educational Game (MVEG) Framework: A Case Study of Developing the
Mathematics Game Numbrijooks*

Magistritöö

Juhendaja: Mervi Raudsaar, Phd

Tartu 2026

Sisukord

Sisukord	2
Sissejuhatus.....	5
2. Teoreetiline raamistik	11
2.1 Lean Startup metoodika mänguarenduses	11
2.1.1 Lean Startup päritolu ja põhiprintsiibid	11
2.1.2 Minimaalselt Elujõulise Toote (<i>Minimum Viable Product</i>) defineerimise väljakutsed	13
2.1.3 Lean metoodika rakendamine mänguarenduses	14
2.2 Haridusmängud lastele: haridusliku meelelahutuslik dilemma ja õppimise integratsioon .	17
2.2.1 „Hariduslike“ rakenduste probleem.....	17
2.2.2 Haridusliku meelelahutuse ja tõsiste mängude vaheline pinge.....	19
2.2.3 Sisemine integratsioon: õppimise põimimine mängu põhimehaanikasse.....	19
2.2.4 Motivatsioonilised alused: vooteooria ja enesemääratluse teooria	20
2.2.5 Tõendusmaterjal tõhususe kohta: meta-analüüsid ja randomiseeritud kontrollkatse ..	21
2.2.6 Pre-MEGa raamistik eelkooliealiste mobiilsete haridusmängude jaoks.....	22
2.3 Minimaalselt elujõulise haridusmängu (MVEG) raamistik: süntees	23
3. Juhtumiuuring: Numbrijooksu arendus.....	25
3.1 Metodoloogia	25
3.1.1 Juhtumiuuringu disain ja uurija roll.....	25
3.1.2 Andmekogumine ja -analüüs	27
3.1.3 Üldistamine, piirangud ja eetika	29
3.2 Ehita – mängu arendusprotsess.....	31
3.2.1 Minimaalselt elujõulise haridusmängu määratlemine	32
3.2.2 Ehita-faas – arendus.....	37
3.2.3 Mõõtmise ettevalmistus ja analüütika instrumentatsioon	41

3.2.4 Avaldamisvalmiduse kujunemine	44
3.2.5 Vahejärelendus: mida Ehita ja Mõõda selles etapis võimaldasid	45
3.2.6 Ehita-faasi teostus ja empiirilised tähelepanekud	46
3.3.8 Tulemuste kokkuvõte.....	47
4. Järeldused ja soovitused.....	48
4.1 Vastused uurimisülesannetele	48
4.2 Soovitused hariduslike mobiilimängude arendajatele	52
4.3 Uurimuse piirangud	55
4.4 Tulevased uurimissuunad.....	56
4.5 Lõppmärkused.....	58
Kokkuvõte.....	60
Viidatud allikad.....	63
LISAD.....	70
Lisa 1. Unity kui haridusmängu arendusplatvorm	70
Lisa 2. Õpi-faasi mõõtmisarhitektuur ja kavandatud tulemused	71
Hoidmismäära tulemused ja võrdlusandmed	71
Sessiooni pikkuse ja DAU/MAU suhte analüüs	72
Lisa 3. Lean Startup tsükli hindamine	74
Lisa 4. Õpi-faasi teoreetiline otsustusraamistik ja võrdlus kirjandusega.....	79
Mõõdikud otsustustabeli toetuseks	79
Pöörde-või-jätkamise haridusmängu puhul	80
Õpi-faasi teoreetiline otsustusraamistik	81
Miks Õpi-faasi ei saa haridusmängus taandada ainult kaasatusele.....	81
Otsustustabel: neli stsenaariumi.....	82
MVEG kui teoreetiline panus	84

Paigutamine Eesti ja Põhjamaade konteksti	85
Lisa 5. Avaldamisvalmiduse kujunemise analüüs	86
Turule jõudmise kiirus kui Lean-mõõdik	86
Mis kujutab endast edukat MVP-avaldamist	87
3 Hoidmismäärad ja kaasatusmõõdikud	88
Lisa 6. Mõõdikute operatsionaalsed definitsioonid ja valikupõhjendused	88
Avaldamiseelse mõõtmisarhitektuuri kavandamine	88
Kavandatud avaldamisjärgsed mõõdikud Õpi-faasi jaoks	88
Lisa 7. Arenduspäeviku väljavõtted	89
Väljavõte 1 – mallivalik	89
Väljavõte 2 – integratsioonimehhanismi valik	90
Väljavõte 3 – Elo-süsteemi esialgne seadistamine	90
Väljavõte 4 – AI-toega arenduse näide	91
Summary	91

Sissejuhatus

Lastele suunatud hariduslike mobiilirakenduste globaalne turg on viimase kümnendi jooksul kiiresti kasvanud. Juba 2015. aasta seisuga sisaldas Apple'i App Store ligikaudu 80 000 hariduslikuks klassifitseeritud rakendust ning üle 72% enimmüüdud haridusrakendustest olid suunatud väikelaste ja eelkooliealiste vanuserühmale. Hilisemad turuproгноosid on viidanud sellele, et laste hariduslike mängude turg on jätkanud kasvu ning selle kommertsipotentsiaal on märkimisväärne (Hirsh-Pasek jt, 2015) (DataHorizon Research "Children Educational Game Market, Global Market Size, Share, Growth, Trends, Statistics Analysis Report, By Region, and Segment Forecasts 2025–2033", DataHorizon Research, Report No. 46691 (2023)) (DataHorizon Research, 2023).

Selle kommertsliku laienemisega ei ole siiski kaasnenud samaväärset haridusliku kvaliteedi paranemist. Hirsh-Pasek jt (2015) ulatuslik ülevaade näitas, et valdav osa turul olevatest hariduslikest rakendustest on loodud ilma teadusliku arusaamata sellest, kuidas lapsed õpivad, ning rõhutas, et turg on „suures osas reguleerimata ja testimata”. Meyer jt (2021) leidsid omakorda, et enamik 2–8-aastastele lastele suunatud enim allalaaditud hariduslike rakendusi saavutas tõenduspõhise haridusliku disaini nelja samba raamistikus nõrga tulemuse. See raamistik (ingl *four pillars of learning*) põhineb neljal teaduslikult põhjendatud õppimistingimusel: aktiivne õppimine, kaasatus õppeprotsessi, tähendusrikkus ja sotsiaalne interaktsioon (Hirsh-Pasek jt, 2015; Meyer jt, 2021).

Seega ei seisne probleem laste hariduslike mobiilmängude nappuses, vaid pigem selliste mängude puuduses, mis oleksid ühtaegu kaasahaaravad ja hariduslikult põhjendatud. Akadeemilises kirjanduses käsitletakse seda kui haridusliku meelelahtuse (*edutainment*) dilemmat: haridusmängud kalduvad kas ohverdama meelelahutuslikku väärtust pedagoogiliste eesmärkide nimel või vähendama hariduslikku substantsi kommertsliku atraktiivsuse suurendamiseks (Charsky, 2010). Habgood ja Ainsworth (2011) näitasid, et seda dilemmat on võimalik ületada sisemise integratsiooni (*intrinsic integration*) kaudu, st põimides õppesisu mängu põhimehaanikasse, mitte esitledes seda eraldiseisva tegevusena (Habgood & Ainsworth, 2011). Nende tulemused osutasid, et sisemiselt integreeritud haridusmängud andsid nii paremaid õpitulemusi kui ka märkimisväärselt suuremat vabatahtlikku kaasatust kui väliselt integreeritud lahendused (Habgood & Ainsworth, 2011).

Samaaegselt on mobiilimängude arendus muutunud oluliselt kättesaadavamaks. Tasuta või taskukohased mängumootorid, eelkõige Unity, mida kasutab peamise mootorina 38% mänguarendajatest (SlashData, 2024), kuid ka Unreal Engine ja kiiresti kasvav avatud lähtekoodiga Godot, koos digitaalsete levitusplatvormidega on kõrvaldanud peamised kulubarjäärid ning andnud ka üksikarendajale ligipääsu globaalsele sihtrühmale. Sisseehitatud analüütikatööriistad, nagu Unity Analytics ja GameAnalytics, võimaldavad mõõdetavat kasutajatagasisidet ilma eraldi infrastruktuurita. Need tingimused muudavad Riesi (2011) Ehitamõõda-Õpi (*Build-Measure-Learn*) tsükli praktiliselt teostatavaks ka väikestes meeskondades: kui tasuta mängumootor võimaldab ehitada toimiva prototüübi nädalatega, mitte kuudega, ning rakendusepoed tagavad kohese ligipääsu miljonitele kasutajatele, väheneb iga iteratsioonitsükli kulu ja ajakulu drastiliselt.

Need kaks arengut – vajadus paremini disainitud haridusmängude järele ning lean-arendusmetoodikate kättesaadavus – tõstatavad loomuliku küsimuse: kas Lean Startup metoodika, kui seda kohandada haridusmängude arenduse spetsiifiliste piirangute jaoks, võib aidata üksikarendajal luua ja viia avaldamisvalmiduseni haridusliku mobiilimängu, mis on ühtaegu hariduslikult põhjendatud ja piisavalt kaasahaarav vabatahtliku mängu püsimiseks? Lean Startup metoodika on Eric Riesi (2011) väljatöötatud iteratiivne tootearendusmetoodika, mis põhineb ebakindluse tingimustes tegutsevate ettevõtete jaoks kavandatud Ehitamõõda-Õpi tagasisidetsükliil. Selle eesmärk on kiirendada valideeritud õppimist (*validated learning*) klientide tegelike vajaduste kohta minimaalselt elujõulise toote (*Minimum Viable Product*, MVP) kaudu, vähendades raisatud ressursse vale suuna pealt avastatud eelduste tõttu. Käesolev magistritöö püüab sellele küsimusele vastata praktika kaudu.

Hoolimata mõlema valdkonna eraldi küpsusest ei ole Lean Startup metoodika ja haridusmängude arenduse kokkupuutepunkti akadeemilises kirjanduses seni sisuliselt käsitletud. Lean Startupi käsitlev kirjandus, sealhulgas Ries (2011) ja Boeira (2024), ning kasvav empiiriline uurimustöö (Boeira, 2024) – Hyrynsalmi jt (2018) kaardistavad minimaalselt elujõulise mängu kontseptsiooni mängustuudiotest, Yaman, Mikkonen ja Suomela (2018) analüüsivad pidevat eksperimenteerimist mobiilimängude arenduses ning Linåker, Bjarnason ja Fagerholm (2025) uurivad avaldamiseelset katsetamist indie-stuudiotest – käsitleb mängu valdavalt meelelahutustoodetena (Ries, 2011).

Hyrynsalmi jt (2018) pakutud minimaalselt elujõulise mängu (*Minimum Viable Game, MVG*) kontseptsioon annab küll osalise lähtekoha, kuid nende uuring tõi sõnaselgelt esile, et isegi haridusmänge arendavatel ettevõtetel puudusid formaalsed Minimaalselt Elujõulise Toote (MVP) protsessid. Minimaalselt elujõuline toode (*Minimum Viable Product, MVP*) tähistab toote esimest avaldamisvalmis versiooni, mis sisaldab minimaalset funktsionaalsust eelduste empiiriliseks testimiseks reaalse kasutajaskonnaga. Mõiste pärineb Riesi (2011) Lean Startup metoodikast ning on kujunenud iteratiivse tootearenduse põhitööriistaks tarkvara- ja iduettevõtluskontekstis.

Samuti ei paku nende raamistik tööriistu selle eripärase piirangu käsitlemiseks, et haridusmängu MVP peab olema ühtaegu ka hariduslikult kehtiv. Haridusmängude disaini käsitlev kirjandus (Habgood & Ainsworth, 2011; Tokac jt, 2019; Outhwaite jt, 2019) on seevastu loonud rikkaliku empiirilise teadmise selle kohta, mis teeb haridusmängud tõhusaks, kuid ei ole uurinud, kuidas võiks Lean Startup metoodikat kasutada selliste mängude praktiliseks loomiseks ja iteratiivseks arendamiseks. (Videnovik jt, 2023)

Käesoleva töö kirjanduse ülevaate põhjal puudub avaldatud uurimus, mis ühendaks Lean Startup metoodika ja lastele suunatud haridusmängude arendamise. See lünk on oluline, kuna standardne minimaalselt elujõulise toote (*Minimum Viable Product, MVP*) kontseptsioon, nagu selle sõnastas Ries (2011), on haridusmängude jaoks struktuurselt ebapiisav: see eeldab üht väärtuspakkumist, mida saab testida funktsioonide minimaalseks kärpimise teel, kuid haridusmängu väärtuspakkumine, siin mõistetud kui kahe eristuva elujõulisuse kriteeriumi, meelelahutusliku väärtuse ja pedagoogilise adekvaatsuse, samaaegne täitmine, on kahene: meelelahutus ja haridus on lahutamatud igas versioonis, mis suudab mõlemat hüpoteesi samaaegselt testida. Käesolev töö vastab sellele lüngale, pakkudes välja ja rakendab minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) kontseptsiooni ning rakendades seda ühe haridusliku mobiilmängu arendusprotsessis kuni avaldamisvalmiduseni. (Ries, 2011)

Käesoleva magistritöö eesmärk on määratleda ja rakendada minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) raamistik, mis ühildab Lean Startup metoodika haridusmängude sisemise integratsiooni nõuetega, ning demonstreerida selle rakendatavust üksikarendaja juhtumiuuringus kuni avaldamisvalmiduseni.

Töö struktuur järgib Lean Startup metoodika Ehita-Mõõda-Õpi tsükli (Ries, 2011), mille iga tsükkel koosneb kolmest faasist: Toote ehitamine (*Build*), kasutusandmete kogumine ja

mõõtmise (*Measure-faas*) ning tulemuste analüüs ja otsus edasise suuna kohta (*Learn-faas*) Selle eesmärgi saavutamiseks on püstitatud kolm uurimisülesannet:

UÜ1. Sünteesida kirjanduse põhjal MVEG-raamistik, mis ühendab MVP-mõiste käsitlused, haridusmängu elujõulisuse kriteeriumid ja Lean Startup loogika.

UÜ2. Dokumenteerida MVEG-raamistiku rakendamine Numbrijooksu arendusprotsessis toote ehitamise faasis, põhjendades juhtumiuuringu metodoloogilist ülesehitust üksikarendaja kontekstis.

UÜ3. Kavandada mõõtmisarhitektuur ja tuletada arendusprotsessist metodoloogilised järeldused MVEG-raamistiku rakendamise kohta kasutusandmete kogumise ja mõõtmise ning tulemuste analüüsi faasis.

Käesolevas magistritöös arendatud toode on 2D lõputu jooksumäng (*endless runner*) tüüpi mobiilmäng 6–10-aastastele lastele, mis on loodud Unity platvormil ning arendatud avaldamiseks Apple App Store'is ja Google Plays. Mäng õpetab aritmeetikat. Minimaalselt elujõulise haridusmängu versioonis on hõlmatud liitmine ja lahutamine, samas kui järgnevatel iteratsioonides on kavas laiendada sisu korrutamisele ja jagamisele. Selleks kasutatakse sisemise integratsiooni mehhanismi, mis põimib matemaatilised ülesanded mängu jooksumehhaanika tuuma. Erinevalt mängudest, mis katkestavad mängukogemuse viktoriiniekraanidega, juhib aritmeetika siin vahetult mängutegevust: õigete vastuste lahendamine määrab tegelase edenemise ning muudab matemaatilise tegevuse mängu peamiseks käitumismustriks, mitte pelgalt eelduseks mängule ligipääsemiseks.

Mängu arendamisel kasutati Unity Asset Store'i (Unity mängumootori ametlik komponentide turukoht) malle alusliku infrastruktuurina, eeskätt More Mountains'i Infinite Runner Engine'i, samal ajal kui kohandatud arendus keskendus aritmeetika integratsioonisüsteemile, Elo-põhisele adaptiivse raskusastme mehhanismile ning Unity Analyticsi instrumentatsioonihile. Kogu arendusprotsessi vältel kasutati ka Anthropicu tehisintellektil põhinevat programmeerimisabilist Claude Code, et kiirendada teostust. Töö koostamisel on kasutatud keelemudelit (Claude, Anthropic) teksti keeleliseks toimetamiseks ja vormindamiseks. Töö sisuline analüüs, järeldused ja akadeemiline argumentatsioon on autori enda panus.

Käesoleva magistritöö raames arendatud toode ja selle arendusprotsess moodustavad töö uuritava juhtumi. Töö empiiriline ulatus oli algusest peale piiritletud arendusprotsessiga kuni

avaldamisvalmiduseni; avaldamisjärgne kasutusandmestik ei kuulu töö empiirilisse analüüsi, vaid moodustab edasise uurimisetapi. Töö ei hinda mängu hariduslikku efektiivsust kontrollitud eksperimendi abil, vaid analüüsib Lean Startup metoodika rakendamise protsessi mängu arendamisel kuni avaldamisvalmiduseni, kohandusi, mida see protsess nõudis, ning seda, kuidas tuleb kavandada mõõtmine ja Õpi-faas haridusliku mobiilimängu edasiseks iteratsiooniks.

Käesolevas magistritöös kasutatakse ühe juhtumi instrumentaalset juhtumiuuringu disaini (*single instrumental case study design*). Juhtumiks on aritmeetilise lõputu jooksumäng mängu arendustsükkel alates esialgsest ideest ja minimaalselt elujõulise haridusmängu määratlemisest kuni tehnilise teostuse, avaldamisvalmiduseni. Tegemist on instrumentaalse juhtumiga Stake'i tähenduses, sest konkreetne mäng on vahend, mille kaudu uuritakse laiemat küsimust: kuidas toimib Lean Startup metoodika, kui seda rakendada lastele suunatud haridusmängude arendamisel. (Stake, 1995; Yin, 2018)

Juhtum valiti, kuna see võimaldab uurida nähtust, mida käesoleva töö kirjanduse ülevaate põhjal ei ole seni akadeemilises kirjanduses sellisel kujul dokumenteeritud: ühe praktikust arendaja poolt läbi viidud Lean Startup metoodika rakendamist lastele suunatud haridusliku mobiilimängu arendamisel kuni avaldamisvalmiduseni.

Andmekogumine toimub kolme paralleelse voo kaudu: kogu projekti vältel peetav struktureeritud arenduspäevik, Git-versioonihaldusrepositoorium, mis pakub objektiivset ajatemplitega arendustegevuse kirjet, ning kavandatud avaldamisjärgne platvormianalüütika Unity Analyticsist, App Store Connectist ja Google Play Console'ist. Arenduspäevik ja Git-repositoorium moodustavad primaarse andmebaasi; platvormianalüütika on sekundaarne allikas, mille kättesaadavus sõltub avaldamisjärgsest kasutajabaasist. Selle analüüs ei ole käesoleva töö osa. Analüüs kasutab mustrite sobitamise strateegiat (*pattern matching*), võrreldes empiirilisi mustreid kirjanduse ülevaates sõnastatud teoreetiliste ootustega. Üldistamine on analüütiline: tulemusi üldistatakse teoreetilistele väidetele Lean Startup metoodika toimimise kohta haridusmängude arenduses, mitte mänguarendusprojektide statistilisele populatsioonile. (Yin, 2018)

Käesolev magistritöö annab kolm panust akadeemilisse teadmusvarasse ja ühe panuse praktikasse. Esimene akadeemiline panus seisneb minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) kontseptsioonis, mis kujutab endast minimaalselt elujõulise toote (*Minimum Viable Product, MVP*) valdkonnaspetsiifilist edasiarendust

haridusmängudele omase kahese väärtuspakkumise jaoks. See kontseptsioon täidab lünka, millele osutasid Hyrynsalmi jt (2018), dokumenteerides praktiliste MVP-juhiste puudumise haridusmänge arendavate ettevõtete jaoks, ning laiendab Lean Startupi kirjandust (Ries, 2011), tuues esile uue piiritingimuse MVP mõistele: selle eeldus ühest testitavast väärtuspakkumisest murdub olukorras, kus meelelahutus ja haridus on igas elujõulises tooteversioonis lahutamatud.

Teine akadeemiline panus seisneb kolme süsteemse kohanduse dokumenteerimises ja analüüsis, mis on vajalikud Ehita-Mõõda-Õpi tsükli rakendamisel lastele suunatud haridusmängude arenduses: kahekordse elujõulisusega MVP, asendusmõõtmise andmekaitsepiirangute tingimustes ning kahe kriteeriumi üheaegne optimeerimine Õpi-faasis. Need kohandused Mertoni (Merton, 1968) mõttes kesktaseme teooria (*middle-range theory*): need on ulatuselt piiratud, otseselt testitavad ning aitavad samm-sammult mõista Lean Startup metoodika piiritingimusi loominguuliste toodete arendamisel.

Kolmas akadeemiline panus seisneb haridusliku mobiilimängu detailses juhtumipõhises protsessikirjelduses haridusliku mobiilimängu arendamisest kuni avaldamisvalmiduseni. Käesoleva töö kirjanduse ülevaate põhjal ei ole sellist dokumentatsiooni selles uurimisnišis akadeemilises kirjanduses seni avaldatud. See pakub juhtumiuuringu tõendusmaterjali, millele töö teoreetilised panused tuginevad, ning muudab arendusprotsessi hilisematele uurijatele ligipääsetavaks tänu paksule kirjeldusele (*thick description*), mida Lincoln ja Guba (1985) käsitlevad ülekantavuse olulise alusena (Lincoln ja Guba, 1985).

Praktiline panus seisneb seitsmes soovitusel hariduslike mobiilimängude arendajatele, kes rakendavad Lean Startup metoodikat. Need soovitused tuginevad käesoleva juhtumiuuringu tõendusmaterjalile ning haakuvad 99mathi, ALPA Kidsi ja DragonBoxi kogemustega. Soovitused käsitlevad lastele mõeldud haridusmängude loomise keskseid väljakutseid – kahese elujõulisusega ulatuse määratlemist, sisemise integratsiooni disaini, COPPA-ga kooskõlas oleva analüütika kavandamist, adaptiivse raskusastme rakendamist, kvalitatiivse tagasiside kogumist, hüpoteesipõhist distsipliini ja ulatuse juhtimist – vormis, mis on kasutatav nii üksikarendajatele kui ka väikestele stuudiotele, kellel puudub ligipääs suuremahulisele institutsionaalsele teadustaristule.

Töö sisuline osa koosneb kolmest peatükist (ptk 2–4). Peatükk 2 esitab teoreetilise raamistiku, mis sünteesib MVEG-raamistiku kirjanduse põhjal (UÜ1). Peatükk 3 esitab juhtumiuuringu: MVEG-raamistiku rakendamise dokumenteerimine koos metodoloogilise

põhjendusega (UÜ2) ning Õpi-faasi mõõtmisarhitektuuri kavandamine koos metodoloogiliste järeldustega (UÜ3). Peatükk 4 esitab järeldused ja soovitused, sealhulgas vastused uurimisülesannetele, praktilised soovitused arendajatele ning uurimuse piirangud ja tulevased uurimissuunad. Sellele järgnevad kokkuvõte ning seitse lisa.

Märksõnad: haridusmäng, Lean Startup, minimaalselt elujõuline toode, mobiilmäng

CERCS: S190 Ettevõtete juhtimine, S281 Arvuti õpiprogrammide kasutamise metoodika ja pedagoogika

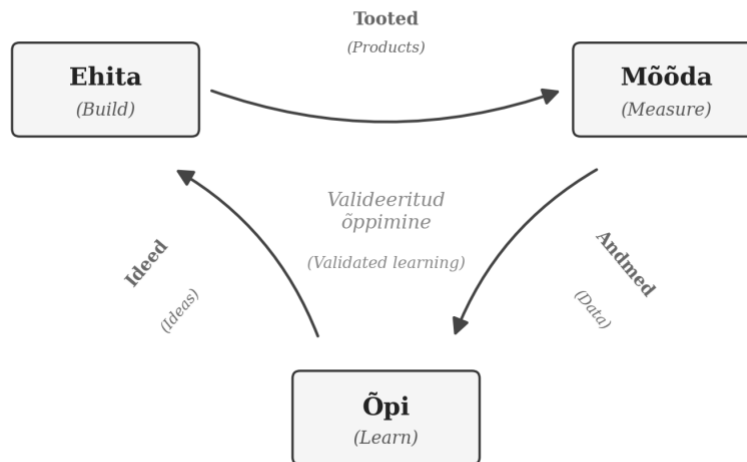
2. Teoreetiline raamistik

2.1 Lean Startup metoodika mängarenduses

2.1.1 Lean Startup päritolu ja põhiprintsiibid

Lean Startup metoodika (*Lean Startup methodology*) on iteratiivne toote- ja ärimudeli arendamise lähenemine, mille lõi Eric Ries 2011. aastal oma raamatus *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. Tuginedes peamiselt Toyota ettevõttes kasutusel olnud lean-tootmise (*lean manufacturing*) põhimõtetele kombineerib Ries neid agiilse tarkvaraarenduse praktikatega ning lõi süsteemse lähenemise uute toodete arendamiseks ebakindluse tingimustes. Selle keskne väide on, et enamik iduettevõtteid ei ebaõnnestu mitte seetõttu, et nad ei suuda ehitada seda, mida nad kavatsesid ehitada, vaid seetõttu, et nad ehitavad midagi, mida tegelikult keegi ei soovi. Selle probleemi lahendamiseks pakub

Metoodika on üles ehitatud keskse tagasisideahela ümber, mida tuntakse kui Ehita-Mõõda-Õpi meetodit. Meeskonnad peaksid looma võimalikult lihtsa versiooni tootest. Seejärel mõõtma, kuidas reaalsed kasutajad sellele reageerivad, ning õppima saadud tagasiside põhjal, kas nende aluseks olevad eeldused olid õiged. See tsükkel peab korduma võimalikult kiiresti. Käesolevas töös kasutatakse terminit „tsükkel“ (*cycle*) kogu iteratiivse protsessi kohta ning terminit „faas“ (*phase*) iga tsükli üksiku etapi Ehita, Mõõda või Õpi kohta. Läbimise kiirust käsitletakse konkurentsieelisena – mida kiiremini meeskond tsükli läbib, seda kiiremini toimub valideeritud õppimine (*validated learning*) kasutajate tegelike vajaduste kohta. (Ries, 2011).



Joonis 1. Lean Startupi Ehita-Mõõda-Õpi tsükkel. Allikas: autori koostatud Ries (2011) põhjal.

Käesolevas töös on oluline eristada kahte õppimise tüüpi, mis Lean Startup kontekstis sageli segunevad. Valideeritud õppimine (*validated learning*) Riesi (Ries, 2011) tähenduses viitab empiirilisele tõendusmaterjalile kasutajakäitumise kohta, mis kinnitab või lükkab ümber aluseks oleva äri- või tootehüpooteesi. See nõuab mõõdetavaid andmeid päris kasutajatelt. Reflektiivne õppimine Schöni tähenduses viitab praktiku enda arutluskäigule arendusprotsessi käigus – otsuste dokumenteerimisele, ebakindluste tunnistamisele ja kogemuse kaudu tekkinud arusaamadele. Käesoleva töö Ehita-faasis on peamine õppimisallikas reflektiivne, kuna arenduspäevik dokumenteerib (Schön, 1983) uurija disainiotsuseid ja nende põhjendusi. Mõõda- ja Õpi-faasis muutub keskseks valideeritud õppimine, mis eeldab kasutajate käitumuslike andmeid.

Selle protsessi keskmes on minimaalselt elujõulise toote (*Minimum Viable Product, MVP*) kontseptsioon, mida Ries defineerib kui uue toote versiooni, mis võimaldab meeskonnal koguda maksimaalse hulga valideeritud õppimist minimaalse pingutusega. (Ries, 2011) See definitsioon on teadlikult mittespetsiifiline MVP vormi osas – oluline on, et see genereeriks valideeritud õppimist minimaalse ressursikuluga.

Kolmas fundamentaalne kontseptsioon on pöörde-või-jätkamise otsus (*pivot-or-persevere*) otsus. Pööret (*pivot*) defineeritakse kui „struktureeritud kursimuutust, mille eesmärk on testida uut

fundamentaalselt hüpoteesi toote, strateegia ja kasvumootori kohta“. (Ries, 2011) käsitleb iduettevõtte rada (*runway*) mitte allesjäänud kapitalina, vaid allesjäänud võimaluste arvuna arenduse pööramiseks, mis on üks meetodika praktiliselt olulisemaid panuseid ressursipiirangutega arendajate jaoks. (Ries, 2011)

2.1.2 Minimaalselt Elujõulise Toote (*Minimum Viable Product*) defineerimise väljakutsed

Vaatamata oma näilisele lihtsusele on MVP kontseptsiooni järjekindel praktiline määratlemine osutunud märkimisväärselt keeruliseks. Taani ülikooli teadlased Valentina Lenarduzzi ja Davide Taibi viisid aastal 2016. läbi süstemaatilise kaardistusuuringu, alustades 97 kandidaadiks olevast artiklist ning jättes alles 22 esmast uuringut, mis käsitlesid otseselt MVP definitsioone. (Lenarduzzi ja Taibi, 2016) Nende analüüs näitas, et kirjanduses on seda mõistet defineeritud vähemalt 22 eri viisil ning rõhuasetused varieeruvad oluliselt: osa definitsioone rõhutab turule jõudmise kiirust, osa õppimist ja osa majanduslikku elujõulisust. Lenarduzzi ja Taibi jälgisid nende definitsioonide arengust Frank Robinsoni 2001. aasta majanduslikult orienteeritud käsitlusest kuni Ries'i 2009. aasta blogiversiooni ja selle järgneva kasutuse ja täienduste veel üheteistkümnes töös, esitades tulemuse genealoogilise puuna. Kokku kestis vaatlusalune periood 15 aastat. (Lenarduzzi ja Taibi, 2016)

Lenarduzzi ja Taibi analüüs näitab, et kuigi Riesi definitsioon on kõige laialdasemalt kasutusel – seda kasutati muutmata kujul või sõnastati ümber 36% uuritud töödes – ei ole teaduskirjanduses kujunenud ühtset konsensust MVP tähenduse osas. MVP definitsioonid on defineeritud peamiselt kolmes allikas: Frank Robinsoni (2001) majandusliku vaatenurga, Eric Riesi (2009/2011) "minimaalse vaevaga maksimaalse valideeritud õppimise" definitsiooni ja Steve Blanki (2010) minimaalsete funktsioonide lähenemiseni. Riesi definitsioon osutus kõige mõjukamaks – seda kasutati või sõnastati ümber 36% töödes. (Blank, 2010; Robinson, 2001)

Eelkõige varieerub "miinimumi" tõlgendus märkimisväärselt: Ries defineerib miinimumi läbi pingutuse ("minimum effort"), Blank läbi funktsioonide arvu ("minimum feature set"), ning lisaks on välja pakutud selliseid lähenemisi nagu "minimaalsed nõuded" ja "väikseim võimalik teostus (*implementation*). Autorid jõudsid järeldusele, et miinimumi tõlgendati erineval viisil: minimaalne vaev, minimaalsed funktsioonid, minimaalsed nõuded, väikseim võimalik teostus (*implementation*) ja minimaalne väärtusorganisatsioon. Blanki "minimaalsete funktsioonide" lähenemine oli kõige levinum (53% "miinimumi" defineerivatest tööddest). Autorid soovivad oma järelduses kombineerida Riesi ja Blanki lähenemised, kuid isegi see kombinatsioon eeldab

üheainsa toimiva kriteeriumi olemasolu – mis on hariduslike mängude kontekstis fundamentaalselt ebapiisav eeldus. (Lenarduzzi ja Taibi, 2016)

See definitsiooniline killustumine on haridusmängude arendamise seisukohalt otseselt oluline, sest seal peab MVP – lisaks igale tarkvarale omasele tehnilisele toimivusele – vastama samaaegselt kahele eristuvale elujõulisuse kriteeriumile: meelelahutuslik väärtus ja pedagoogiline adekvaatsus. Toode, mis toimib tehniliselt, kuid ei suuda lapsi kaasata, ei ole elujõuline; samamoodi ei ole hariduslikult elujõuline toode, mis on küll lastele nauditav, kuid ei tekita õppimist. Täpsemalt on tegemist kahe eristuva elujõulisuse kriteeriumiga, mille samaaegne täitmine moodustab haridusmängu väärtuspakkumise tuuma. Selle kahese väärtuspakkumise tasakaalustamine on üks käesoleva töö keskseid probleeme.

Tabel 1. MVP-mõiste käsitletud kirjanduses

Autor(id)	MVP-käsitluse rõhk	Miimumi definitsioon	Haridusmängu konteksti kohaldatavus
Ries (2011)	Valideeritud õppimine	Minimaalne versioon, mis võimaldab maksimaalse valideeritud õppimise minimaalse pingutusega	Osaline – eeldab kiiret iteratsioonitsükli, mida haridusmängu sisemine integratsioon piirab
Blank (2013)	Kliendi avastamine	Tooteversioon, mis testib põhieeldusi kliendihüpeteesi kohta	Osaline – laste kasutaja-uuringud nõuavad eraldi eetilist ja meetodilist kaalutlust
Moogk (2012)	Taju kui väärtus	Kõige väiksem funktsioonide komplekt, mis peegeldab brändi kvaliteeti	Madal – ei adresseeri pedagoogilist adekvaatsust eraldi kriteeriumina
Robinson (2001)	Varane turulepääs	Uudne toode, mis sisaldab ainult olemuslikku funktsionaalsust	Madal – ei eralda meelelahutuslikku ja hariduslikku elujõulisust
Lenarduzzi & Taibi (2016)	Süsteemiline ülevaade	14 varianti (MMP, MMF, MMR jt); rõhk nihkub minimaalsusest elujõulisusele	Kõrge – põhjendab haridusmängule eriomase MVEG-konstrukti vajadust

Allikas: autori koostatud Ries (2011), Blank (2013), Moogk (2012), Robinson (2001) ning Lenarduzzi & Taibi (2016) põhjal.

2.1.3 Lean metoodika rakendamine mänguarenduses

Kuigi Lean Startup metoodika loodi eeskätt tehnoloogiaiduettevõtete jaoks, on selle rakendamine mänguarenduses pälvinud järjest enam nii akadeemilist kui ka praktikute tähelepanu. Kõige põhjalikum praktiline käsitlus pärineb Julia Naomi Rosenfield Boeira teosest „*Lean Game Development: Apply Lean Frameworks to the Process of Game Development*“, mille esimene väljaanne ilmus 2017. aastal ning uuendatud teine väljaanne 2024. aastal. Boeira väidab, et mängud on sisuliselt tarkvara ning vastuseis Lean- ja agiilsetele meetoditele mängutööstuses

tuleneb sageli nende vales rakendamisest. Tema raamistik kohandab Lean'i põhivahendid, sealhulgas Lean Canvas (*Ärimudeli lõuend*), MVP prototüüpimise ja kliendiarenduse, spetsiaalselt mängustuudiotite vajadustele. Teine väljaanne laiendab käsitlust, hõlmates ka pideva integratsiooni (*continuous integration*) ja automatiseeritud (Boeira, 2024) testimise töövooge Unity arenduskeskkonnas.

Akadeemilises kirjanduses tutvustasid Hyrynsalmi jt minimaalselt elujõulise mängu (*Minimum Viable Game, MVG*) kontseptsiooni, tuginedes kirjanduse ülevaatele ja üheksa mänguarendusettevõtte juhtumiuuringule. Uuringust selgus, et kuigi MVG mõistet kasutatakse laialdaselt tööstuslikes aruteludes, on selle definitsioonid erinevad ning praktilised juhised suuresti puuduvad. Märkimisväärseks ilmnes, et uuritud ettevõtetel, mis arendavad kooliealistele lastele suunatud haridusmänge, ei olnud minimaalselt elujõuliste versioonide arendamiseks välja töötanud formaalseid plaane. (Hyrynsalmi jt, 2018) See tähelepanek kinnitab otseselt uurimislünka, millele käesolev magistr töö keskendub.

Yaman, Mikkonen ja Suomela (2018) uurisid pidevat eksperimenteerimist mobiilmängude arenduses, analüüsides Soome ettevõtte Next Games juhtumit. Nende tulemused näitavad, et eksperimenteerimise vormid varieeruvad oluliselt sõltuvalt arendusetapist. Varases faasis tuginetakse eeskätt nn asenduskasutajatele (Yaman jt, 2018) ja kvalitatiivsele vaatlemisele – jälgitakse väikese testijate grupi käitumist prototüübi kasutamisel, pöörates tähelepanu näiteks näoilmetele ning segaduse või huvikao hetkedele. Hilisemates etappides, pärast toote avaldamist, liigub fookus kvantitatiivsetele, KPI-põhistele lähenemistele, kus jälgitakse mõõdikuid nagu kasutajate püsivus, sessiooni kestus ja monetiseerimise näitajad. (Yaman jt, 2018)

Viimati uurisid Linåker, Bjarnason ja Fagerholm (2025) kümne indie-mänguarendaja eel-avaldamise eksperimenteerimise praktikaid (Linåker jt, 2025). Üheks keskseks järelduseks oli, et enne avaldamist keskendutakse peamiselt kvalitatiivsele andmestikule, eeskätt mängijate katkematu käitumise otsesele vaatlemisele. Samas osutusid telemeetriatööriistade kulukus ja keerukus väiksematele stuudiotele oluliseks (Linåker jt, 2025) takistuseks. See lähenemine on kooskõlas ka käesoleva töö metoodikaga, mis käsitleb enne avaldamist kogutud kvalitatiivseid vaatlusi ning pakub välja teoreetilise raamistiku pärast avaldamist kogutavate kvantitatiivsete mänguanalüütika andmete (hoidmismäärad, sessioonikestvused, ülesannete sooritusandmed) tõlgendamiseks.

Lean Startup'i rakendamine mänguarenduses toob esile väljakutseid, millele traditsioonilistes tarkvaratoodetes vastet ei ole. Kõige fundamentaalsem neist on nn lõbu faktori probleem (*fun factor problem*): mängudel on pehmed ja subjektiivsed nõuded, mida ei saa taandada funktsionaalseteks spetsifikatsioonideks. Minimaalne mäng, mis testib põhimehaanikaid, kuid millel puudub esteetiline terviklikkus või emotsionaalne resonants, võib läbi kukkuda just selle tegeliku väärtuspakkumise testimisel, mida oleks vaja hinnata, mitte seetõttu, et kontseptsioon on vigane, vaid seetõttu, et MVP oli liiga minimaalne kogemuse esilekutsumiseks, mida testida tahetakse. (Hyrnsalmi jt, 2018; Linåker jt, 2025)

Lisaks eeldab mänguarendus tihedat koordineerimist programmeerimise, visuaalse disaini, mängudisaini, heli ning mõnikord ka narratiivi vahel, mistõttu on see olemuslikult interdistsiplinaarne arendusvorm. Petrillo, Pimenta, Trindade ja Dietrich (2009) rõhutavad, et mänguprojektid tuginevad väga erineva profiiliga spetsialistidest koosnevatele meeskondadele ning et see mitmekesisus eristab mänguarendust traditsioonilisest tarkvaraarendusest, kus meeskonnad on sagedamini erialaliselt homogeensemad. (Petrillo jt, 2009) Samad autorid seovad mänguprojektide korduvad raskused eelkõige ebarealistliku ulatuse, funktsionaalsuse paisumist (*feature creep*) ja ajakava probleemidega, märkides, et eri distsipliinide samaaegne sõltuvus tekitab viivitusi ja muudab arendusprotsessi juhtimise keerukamaks. Politowski, Petrillo, Ullmann ja Guéhéneuc, analüüsisid 200 postmortem'it aastatest 1997–2019, jõuavad sarnase järelduseni: mängutööstus kannatab tootmis- ja juhtimisprobleemide all peaaegu võrdses ulatuses ning peamised juurpõhjused on sagedamini seotud inimeste, planeerimise ja meeskondade häälestamatusega kui tehnoloogiaga. (Politowski jt, 2021) Seetõttu ei saa mänguarenduse keerukust taandada üksnes tehnilise teostuse küsimuseks; vähemalt sama määravad on ühise disainivisiooni hoidmine, tööde realistlik ulatuse määratlemine ning loovate ja tehniliste töövoogude pidev kooskõlastamine.

Täiendav vastuolu tekib Lean Startup metoodika andmepõhise iteratsiooni ja autori- või disainerikeskse loomingulise visiooni vahel, mis iseloomustab suurt osa mänguarendusest. Boeira (2024) käsitleb seda pinget kaudselt peatükis „*The World Between Design and Build*“, rõhutades, et mänguarenduse suurimaks väljakutseks on eri distsipliinide nagu: mängudisaini, inseneeria, visuaalse disaini ja kunst, turunduse ning mängu narratiivi omavaheline kooskõlastamine ning et mängu eeltootmisfaas on eriti ebakindel, iteratiivne ja loominguliselt nõudlik. Samuti eristab ta disaini ja Ehita-faasi, näidates, et mängu kujundamine ei seisne üksnes tehnilises teostuses, vaid

hõlmab ka mängukogemuse, esteetika, kasutajakogemuse ja kunstiliste valikute järkjärgulist täpsustumist iteratsioonide käigus. Sellest tuleneb, et Lean-meetodite rakendamine mänguarenduses ei saa tähendada üksnes kiiret tehnilist katsetamist, vaid peab arvestama ka loomingulise töö olemusega, kus kõiki otsuseid ei ole võimalik varases faasis täielikult teha. Seda tõlgendust toetab ka Boeira käsitus minimaalselt elujõulisest tootest, mille puhul rõhutatakse, et MVP ei puuduta ainult teostatavust ja väärtust, vaid ka seda, kui kasutatav ja nauditav toode on. See nüanss on eriti oluline haridusmängude arenduses, kus lisaks tehnilise toimivuse eeltingimusele tuleb samaaegselt säilitada kaks eristuvat väärtusmõõdet: meelelahutuslik kaasatus ja hariduslik terviklikkus. (Boeira, 2024)

2.2 Haridusmängud lastele: haridusliku meelelahutuslik dilemma ja õppimise integratsioon

2.2.1 „Hariduslike“ rakenduste probleem

Hariduslikuks klassifitseeritud rakenduste turg on viimase kümnendi jooksul kiiresti kasvanud. 2015. aasta alguse seisuga sisaldas Apple'i App Store ligikaudu 80 000 sellist rakendust ning *Preschool/Toddler* kategooria moodustas 72% enimmüüdud tasulistest rakendustest (*top paid apps*) tuhandete rakendusteni: Business of Apps andmetel oli valdkonna käive 5,93 miljardit USA dollarit, kasutajaid 709 miljonit ning allalaadimisi 939 miljonit. Sama allika järgi oli haridusrakenduste kategooria üks suuremaid nii Google Play kui ka Apple'i rakenduspooides. (*Business of Apps, s.a.*)

Paralleelselt on kasvanud ka laste hariduslike mängude turg kitsamas tähenduses. DataHorizon Research hinnangul oli children educational game market 2024. aastal 13,6 miljardit USA dollarit ning selle maht võib kasvada 2033. aastaks 31,1 miljardi dollarini. Kuigi sellised tururaportid ei kujuta endast eelretsenseeritud teaduskirjandust, osutavad need siiski üheselt, et tegemist on kiiresti laieneva kommertssegmentiga. (DataHorizon Research, 2023)

Selle kiire kasvuga ei ole siiski kaasnenud võrreldavat haridusliku kvaliteedi paranemist. Hirsh-Pasek, Zosh, Golinkoff, Gray, Robb ja Kaufman (2015) osutavad, et „hariduslike“ rakenduste turg on suures osas reguleerimata ja testimata ning et suur osa sellistest rakendustest ei tugine teaduspõhisele arusaamale sellest, kuidas lapsed tegelikult õpivad (Hirsh-Pasek jt, 2015). Autorite hinnangul ei määra selliste rakenduste edu eeskätt nende õppimisväärtus,

vaid pigem vanemate ostukäitumine ja turu loogika, mis ei lange tingimata kokku arengupsühholoogilise ega pedagoogilise kvaliteediga. (Hirsh-Pasek jt, 2015)

Selle probleemi ületamiseks sünteesisid autorid arengu- ja kognitiivteadusliku uurimistöö nelja õppesamba (*Four Pillars of Learning*) raamistikuks, mille eesmärk on pakkuda haridusrakenduste hindamiseks teaduspõhist alust (Hirsh-Pasek jt, 2015). Esimene samm on aktiivne õppimine (*active learning*), mis eeldab, et laps on õppimisprotsessis vaimselt kaasatud ning tegutseb teadmise aktiivse konstrueerijana, mitte passiivse vastuvõtjana. Teine samm on õppimisprotsessi kaasatus (*engagement in the learning process*), mis tähendab, et tähelepanu püsib õppesisul ning seda ei hajuta kõrvalised animatsioonid, heliefektid ega reklaamid. Kolmas samm on tähenduslik õppimine (*meaningful learning*), mille puhul uus teadmine seotakse lapse olemasolevate teadmiste ja kogemustega. Neljas samm on sotsiaalne interaktsioon (*social interaction*), mis rõhutab, et lapsed õpivad kõige tõhusamalt kvaliteetse ja reageeriva suhtluse kaudu teiste inimestega või teiste õppimist toetavate partneritega (Hirsh-Pasek jt, 2015). (Hirsh-Pasek jt, 2015)

Raamistiku empiiriline rakendamine kinnitas, et tegemist ei ole üksikute nõrkade toodetega, vaid laiemat turgu iseloomustava probleemiga. Meyer jt operationaliseerisid Hirsh-Paseki nelja samba mudeli 124 laste haridusrakenduse analüüsis, kuhu kuulusid nii 100 enim allalaaditud rakendust Apple'i ja Google'i rakenduspoodidest kui ka 24 rakendust, mida kasutasid eelkooliealised lapsed pikiuuringus (*longitudinal cohort study*). Uurijad leidsid, et üldskoorid olid madalad kõigis neljas sambas ning et tasuta rakendused saavutasid eriti nõrga tulemuse õppimisprotsessi kaasatuse osas, sest neis esines rohkem häirivaid lisandeid ja katkestusi kui tasulistest rakendustes (Meyer jt, 2021).

Seega ei seisne probleem haridusrakenduste vähesuses, vaid pigem selles, et turul domineerib suur hulk rakendusi, mille pedagoogiline kvaliteet on madal või ebaühtlane. Kuigi kommertsmaht, kasutajate arv ja allalaadimised kasvavad kiiresti, ei tähenda see iseenesest, et lapsed puutuksid kokku teaduspõhiselt kujundatud õppimiskeskondadega. Pigem osutab olemasolev kirjandus sellele, et turu laienemine on olnud kiirem kui arengupsühholoogilise ja pedagoogilise kvaliteedi süstemaatiline rakendamine rakenduste disainimisel.

2.2.2 Haridusliku meelelahutuse ja tõsiste mängude vaheline pinge

Meelelahutuse ja hariduse vaheline pinge mängudes eelneb nutitelefoniajastule. Charsky (2010) käsitles seda väljakutset ajakirjas *Games and Culture* ilmunud artiklis, näidates, et nii hariduslik-meelelahutuslikud (*edutainment*) tooted kui ka tõsised mängud (*serious games*) jagavad kuut fundamentaalset mänguomadust – eesmärgid, reeglid, võistlus, väljakutse, fantaasia ja valik —, kuid kasutavad neid erinevalt, paiknedes eri pidevustel (Charsky, 2010).

Hariduslik-meelelahutuslike mängude peeti 1980. ja 1990. aastatel küll „hariduse päästjaks”, kuid praktikas jäi see lubadus täitmata (Charsky, 2010). Probleem oli seejuures struktuurne, mitte juhuslik: haridust ja meelelahutust käsitati eraldiseisvate komponentidena, mida saab omavahel lihtsalt liita, ilma et nende seos kujundaks mängu põhistruktuuri. Tulemuseks olid lahendused, mis jäid sageli alla nii kommertsmängude meelelahutuslikule atraktiivsusele kui ka traditsioonilise õpetuse didaktilisele selgusele ja rangusele. Teisisõnu ei suudetud kumbagi eesmärki piisavalt rahuldada.

Tõsised mängud soovivad püüavad mänguomadusi õppesisusse sügavamalt integreerida, luues kogemusi, kus õppimise ja mängu eristamine muutub raskemaks (Charsky, 2010). Selles mõttes aitab Charsky käsitus mõista, miks varasemad haridusmelelahutuslikud mängud sageli ebaõnnestusid, ning loob ühtlasi selge ülemineku hilisemale sisemise integratsiooni käsitlusele, mille kohaselt õppesisu ei tohiks paikneda mängu kõrval või seda katkestada, vaid peaks olema põimitud mängu põhimehaanikasse.

2.2.3 Sisemine integratsioon: õppimise põimimine mängu põhimehaanikasse

Üheks keskseks empiiriliseks uurimuseks, mis käsitleb hariduslik-meelelahutusliku dilemma (*edutainment dilemma*) lahendamist disaini tasandil, on Habgoodi ja Ainsworthi artikkel „*Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games*“, mis ilmus ajakirjas *The Journal of the Learning Sciences* (Habgood & Ainsworth, 2011). Autorid eristavad selgelt kahte integratsioonifilosoofiat. Sisemine integratsioon (*intrinsic integration*) tähendab, et õppesisu on põimitud vahetult mängu põhimehaanikasse – just nendesse elementidesse, mis tekitavad kõige suuremat kaasatust – nii et õppimine ja mängukogemus muutuvad teineteisest lahutamatuks (Habgood & Ainsworth, 2011). Väline integratsioon (*extrinsic integration*) paigutab haridusliku sisu mänguelementide kõrvale või nende

vahele eraldiseisva tegevusena, mis toimib üldjuhul tingimusena järgmise mängusisu avamiseks, tüüpiline „šokolaadiga kaetud brokoli” lähenemine (Habgood & Ainsworth, 2011, lk 172).

Selle eristuse empiiriliseks kontrollimiseks arendasid autorid välja seiklusliku märulimängu *Zombie Division*, mis õpetas 7–11-aastastele lastele jagamist. Esimene uuring (N = 58) näitas, et sisemise integratsiooni versiooni kasutanud lapsed saavutasid märgatavalt paremaid õpitulemusi võrreldes välise integratsiooni ja kontrolltingimuse rühmadega. Teises uuringus (N = 16), kus lapsed said vabalt valida, veetsid nad sisemise integratsiooni versiooniga vabatahtlikult seitse korda rohkem aega kui välise versiooniga (Habgood & Ainsworth, 2011). See tulemus osutab samaaegselt nii tugevamale sisemisele motivatsioonile kui ka suuremale õppimisvõimaluste kogumahule tegelikus kasutuskontekstis.

Habgoodi ja Ainsworthi (2011) järgi toimib sisemine integratsioon seetõttu, et see kasutab ära mängu tekitatud vooseisundit (*flow state*) ning suunab kaasahaarava mängu motivatsioonilise energia õppesisu poole, selle asemel et mängukogemust katkestada. Samas tõstatavad autorid ka ohu, et tegevuspõhistes mängudes võib selline integratsioon kujundada teadmise, mis jääb liiga tugevalt seotuks konkreetse mängukontekstiga ega pruugi hästi üle kanduda abstraktsematesse koolimatemaatika ülesannetes (Habgood & Ainsworth, 2011).

2.2.4 Motivatsioonilised alused: vooteooria ja enesemääratluse teooria

Haridusmängude motivatsioonilise disaini mõistmiseks on eriti olulised kaks psühholoogilist teooriat. Vooteooria (*flow theory*), mille töötas välja Csikszentmihalyi (1990) teoses *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, kirjeldab täieliku haaratuse seisundit, kus inimesed on tegevusse nii süvenenud, et miski muu ei tundu enam oluline (Csikszentmihalyi, 1990). Vooseisund tekib kolme tingimuse koosmõjul: selged eesmärgid koos ühemõttelise tagasisidega edenemise kohta, vahetu ja täpne reaktsioon tegevusele ning väljakutse ja oskuse tajutav tasakaal Csikszentmihalyi (1990). Kui väljakutse ületab oskuse oluliselt, tekib ärevus; kui oskus ületab väljakutse oluliselt, tekib igavus; kui mõlemad on kõrged ja hästi tasakaalus, tekib või säilib vooseisund. Sweetser ja Wyeth (2005) kohandasid need põhimõtted digimängudele, luues *GameFlow* mudeli, mis määratleb kaheksa elementi, keskendumise, väljakutse, mängija oskused, kontrolli, selged eesmärgid, tagasiside, haaratuse ja sotsiaalse suhtluse, nauditava mängukogemuse peamiste teguritena (Sweetser & Wyeth, 2005).

6–10-aastastele lastele suunatud haridusmängude puhul on vooteoorial otsene disainiline järelendus: adaptiivne raskusaste (*adaptive difficulty*) on hädavajalik. Staatiline raskustase tekitab vähem kogunud lastes ärevust ja kogenumates igavust, mistõttu peab tõhus haridusmäng sisaldama mehhanisme, mis kalibreerivad väljakutse dünaamiliselt vastavalt individuaalsele oskustasemele, säilitades voo kogu sihtrühma vanuse- ja võimevahemikus (Csikszentmihalyi, 1990; Sweetser & Wyeth, 2005).

Enesemääratluse teooria (*Self-Determination Theory, SDT*), mille sõnastasid Ryan ja Deci (2000), tuvastab kolm baaspsühholoogilist vajadust, mille rahuldamine kujundab sisemist motivatsiooni: autonoomia ehk tunne, et tegevus on vabatahtlik ja enesejuhitud. Kompetentsus, st tunne, et ollakse tõhus ja oskustes arenev; ning seotus, st tunne, et ollakse seotud teiste inimeste või tähendusliku tegevusega (Ryan & Deci, 2000). Ryan, Rigby ja Przybylski (2006) rakendasid SDT-d videomängudele ning leidsid nelja empiirilise uuringu põhjal, et mängus kogetud autonoomia ja kompetentsus olid kõige tugevamad mängu nautimise ja jätkamiseelsetuse ennustajad (Ryan jt, 2006).

SDT-st tuleneb haridusmängude disaini jaoks oluline hoiatus: välised preemiad, nagu märgid hariduslike ülesannete täitmise eest, võivad õõnestada sisemist motivatsiooni, kui need asendavad vajaduste rahuldamist, selle asemel et seda toetada (Niemic & Ryan, 2009). Seega peaks haridusmängu aritmeetilised väljakutsed tekitama autentse kompetentsuse tunde kalibreeritud raskusastme ja selge tagasiside kaudu, mitte kompenseerima nõrgalt kujundatud ülesandeid pealiskaudsete tasusüsteemidega (Ryan & Deci, 2000; Niemic & Ryan, 2009). Selles mõttes täiendavad vooteooria ja enesemääratluse teooria teineteist: esimene selgitab, kuidas hoida mängijat tegevuses, teine aga, miks ta kogeb seda tegevust sisemiselt motiveerivana.

2.2.5 Tõendusmaterjal tõhususe kohta: meta-analüüsid ja randomiseeritud kontrollkatse

Väide, et hästi kujundatud matemaatilised haridusmängud võivad parandada laste matemaatilisi õpitulemusi, tugineb kasvavale empiirilisele tõendusmaterjalile. Tokac, Novak ja Thompson (2019) viisid läbi 24 uuringut hõlmava meta-analüüsi, milles võrreldi mängupõhist matemaatikaõpet traditsioonilise õpetusega. Autorid leidsid juhuslike efektide mudeli alusel väikese, kuid statistiliselt olulise üldmõju mängupõhise õppe kasuks ($d = 0,13$; $p = 0,02$) (Tokac jt, 2019). Samas näitas uuringutevaheline märkimisväärne heterogeensus, et mänguelementide

olemasolu iseenesest ei selgita tulemusi ning et mõju sõltub olulisel määral konkreetse sekkumise kujundusest.

Spetsiifilisemat tõendust konkreetse sekkumise mõju kohta pakub Outhwaite'i, Faulderi, Gullifordi ja Pitchfordi randomiseeritud kontrollkatse, mis ilmus ajakirjas *Journal of Educational Psychology* (Outhwaite jt, 2019). Tegemist oli Ühendkuningriigi esimese õpilase tasandil randomiseeritud kontrollkatsega varase matemaatikaõppe interaktiivsete rakenduste vallas, kuhu kaasati 452 last, kellest 389 lapsega viidi katse lõpuni, vanuses 4–5 aastat 11 koolist (Outhwaite jt, 2019). Rakendusi tavapärase õppetöö kõrvalt kasutanud rühma mõju suurus võrreldes kontrollrühmaga oli $d = 0,31$, mis autorite hinnangul vastab ligikaudu kolme kuni nelja kuu täiendavale matemaatilisele arengule. Ka ajaliselt ekvivalentne rühm, kus rakenduse kasutamine asendas tavapärase väikerühma matemaatikatunni, saavutas positiivse tulemuse ($d = 0,21$) (Outhwaite jt, 2019).

Tokac jt meta-analüüsi üldmõju ja Outhwaite jt randomiseeritud kontrollkatse tugevama mõju kõrvutamise toetab tõlgendust, et haridusmängude tõhusus ei sõltu pelgalt mängulisuse olemasolust või tegevusele lisanduvast ajast. Pigem viitavad tulemused sellele, et mõju sõltub suurel määral sellest, kuidas sekkumine on kujundatud ja õpikeskkonda integreeritud. Käesoleva töö teoreetilise raamistiku seisukohalt toetab see omakorda arusaama, et aktiivne õppimine, sisemine integratsioon ja sobivalt kalibreeritud raskusaste võivad olla haridusmängude mõju seisukohalt kesksed disainiprintsiibid.

2.2.6 Pre-MEGa raamistik eelkoolialiste mobiilsete haridusmängude jaoks

Eelnevate teoreetiliste põhimõtete teisendamine praktiliseks disainijuhiseks 6–10-aastastele lastele suunatud mobiilmängudes eeldab raamistikke, mis arvestavad selle vanuserühma arengu- ja interaktsioonieripäraga. Shoukry, Sturm ja Galal-Edeen (2015) töötasid selleks välja Pre-MEGa raamistiku, mis sünteesib lapse arengu, haridusmängude disaini ja mobiilse kasutusmugavuse alast kirjandust 15 disainikategooriaks. Need jagunevad kolme põhivaldkonda: kasutusmugavus, õppimispotentsiaal ja mängumehaanika (Shoukry jt, 2015). Kasutusmugavuse alla kuuluvad näiteks ekraanidisain, navigatsioon ja mobiiliseadmete kasutamise eripärad; õppimispotentsiaali alla juhised, tagasiside ja raskusaste; mängumehaanika alla aga mängudisain, väljakutseelemendid ja kohandamine.

Erinevalt üldisematest mängudisaini raamistikest on *Pre-MEGa* koostatud spetsiifiliselt eelkoolialisi lapsi silmas pidades. See tähendab, et arvesse võetakse näiteks asjaolu, et lapsed ei pruugi veel lugeda, nende peenmotoorsed oskused on alles arenemas ning tähelepanuvõime on piiratud. Käesolevas töös toimib *Pre-MEGa* praktilise kontrollnimekirjana MVP hindamisel, aidates vältida olukorda, kus kiire iteratsioon ja varajane avaldamisvalmidus saavutatakse lapsele sobiva kasutatavuse või õppimispotentsiaali arvelt. Kuna *Pre-MEGa* on loodud eeskätt eelkoolialiste jaoks, kasutatakse seda käesolevas töös toetava kontrollnimekirjana, mitte 6–10-aastaste sihtrühma otsese teoreetilise vaste raamistikuna.

2.3 Minimaalselt elujõulise haridusmängu (MVEG) raamistik: süntees

Käesolevas peatükis vaadeldud kolm teoreetilist suunda koonduvad põhimõtete kogumikuks, mis raamib selle magistritöö uurimuslikku panust.

Lean Startup metoodika pakub protsessilise raamistiku Ehita-Mõõda-Õpi tsükli kujul, milles kiire MVP-arendus, kasutajakäitumise avaldamisjärgne mõõtmine ja andmepõhine iteratsioon asendavad pika eelspetsifikatsiooni. Olemasolev kirjandus osutab siiski, et MVP kontseptsioon vajab haridusmängudele rakendamisel kohandamist. Hyrynsalmi jt (2018) dokumenteerivad praktiliste juhiste puudumist minimaalselt elujõulise mängu määratlemiseks, samal ajal kui Lenarduzzi ja Taibi (2016) näitavad, et isegi laiemas tarkvarakirjanduses puudub MVP-l stabiilne ja jagatud definitsioon. Haridusmängude puhul muudab olukorra keerulisemaks see, et MVP peab eeldama tehnilist toimivust ning võimaldama samaaegselt hinnata kahte eristuvat elujõulisuse mõõdet: meelelahutuslikku kaasatust ja pedagoogilist adekvaatsust. Tehniline toimivus on eeltingimus, mis peab olema täidetud enne, kui kahe eristuva mõõtme, meelelahutuslik kaasatus ja õppesisu sisemine integratsioon, hindamine Ehita-Mõõda-Õpi tsükli üldse võimalikuks muutub. (Ries, 2011; Lenarduzzi ja Taibi, 2016)

Haridusmängude disaini teooria – eeskätt Habgoodi ja Ainsworthi (2011) sisemise integratsiooni põhimõte, Hirsh-Pasek jt (2015) nelja õppesamba raamistik ning Csikszentmihalyi (1990) ja Ryani ja Deci (2000) motivatsiooniteooriad – pakub disainiprintsiibid, mis peavad säilima Lean-tsükli iga iteratsiooni vältel (Habgood & Ainsworth, 2011; Csikszentmihalyi, 1990; Ryan & Deci, 2000; Ries, 2011). Outhwaite jt (2019) ja Tokac jt (2019) empiiriline tõendusmaterjal viitab, et hästi kujundatud matemaatilised haridusmängud võivad 6–10-aastastel

lastel parandada õpitulemusi ning et mõju ei sõltu üksnes mänguelementide olemasolust, vaid ka sekkumise kujundusest.

Unity tehniline ökosüsteem, mille osaks on platvormiülene juurutamine, tasuta litsents, sisseehitatud analüütika, ning kvaliteetsete runner-tüüpi mallide olemasolu, pakub praktilise tehnilise aluse, millel Lean-tsükli on võimalik ühe arendajaga magistritöö jaoks sobiva kiiruse ja kulutaseme juures rakendada. Samal ajal võimaldab see koguda käitumuslikku avaldamisjärgset andmestikku, mida Mõõda-faas vajab.

Nende kolme suuna süntees viitab sellele, et minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) mõiste, mida autori teadmiste kohaselt ei ole akadeemilises kirjanduses seni sellisel kujul sõnastatud, peaks vastama järgmistele esialgsetele kriteeriumidele, millest esimene on eeltingimus ja kaks järgmist on kontseptsiooni eristuvad mõõtmised:

- Eeltingimusena peab see olema tehniliselt juurutatav sihtplatvormidel päris kasutajatele.
- See peab olema piisavalt meelelahutuslik, et säilitada vabatahtlik kaasatus piisavalt kaua, et õppimine saaks toimuda.
- See peab põimima õppesisu sisemiselt, mitte väliselt (Habgood & Ainsworth, 2011).

Mõõdetava käitumusliku andmestiku genereerimine ei ole MVEG-i olemuslik tunnus, vaid Mõõda-faasi eeldus: MVEG peab olema instrumenteeritud viisil, mis võimaldab hilisemat andmekogumist, kuid mõõtmine ise toimub avaldamisjärgses faasis.

Selle mõiste arendamine, testimine ja täpsustamine moodustab käesoleva magistritöö peamise teoreetilise panuse.

Käesolevas töös käsitletakse Ehita-Mõõda-Õpi tsükli rakendamist ulatuses, mis oli algusest peale kavandatud lõppema avaldamisvalmiduse saavutamiseks. Teoreetiline raamistik eristab, milliseid Ehita-faasi elemente saab uurida empiirilisel, millisel määral saab Mõõda-faasi instrumenteerida ja hinnata enne avaldamist, ning kuidas tuleb Õpi-faasi haridusliku mobiilmängu puhul kontseptualiseerida, et see toetaks järgnevat iteratsiooni pärast avaldamist.

3. Juhtumiuuring: Numbrijooksu arendus

3.1 Metodoloogia

3.1.1 Juhtumiuuringu disain ja uurija roll

Käesolev magistritöö uurib, kuidas Lean Startup metoodikat saab rakendada lastele suunatud haridusliku mobiilimängu arendamisel kuni avaldamisvalmiduseni ning milliseid üldistusi on sellest protsessist võimalik teha. Uurimisküsimused puudutavad metoodika praktilist toimimist, disainiotsuste kujunemist ning teistele arendajatele antavaid soovitusi. Tegemist on seega olemuslikult „kuidas” ja „miks” tüüpi küsimustega, mis käsitlevad kaasaegset nähtust selle loomulikus kontekstis. Yin (2018, ptk 1) seob sellised tingimused otseselt juhtumiuuringu strateegiaga. (Yin, 2018)

Käesolev töö lõpeb arendusprotsessi, mõõtmisarhitektuuri ja avaldamisvalmiduse dokumenteerimisega. Avaldamisjärgsete kasutusandmete kogumine ja nende põhjal tehtav Õpi-faasi empiiriline hindamine jäävad tulevase uurimuse etapiks.

Sellest tulenevalt on uurimus kavandatud ühe juhtumi instrumentaalse juhtumiuuringuna (*single instrumental case study*). Juhtumiks on ühe haridusliku mobiilimängu arendustsükkel alates esialgsest ideest ja minimaalselt elujõulise toote määratlemisest kuni avaldamisvalmiduseni. Projekti viis läbi üks arendaja, rakendades Unity platvormil Lean Startup põhimõtteid. Stake'i (1995) klassifikatsiooni järgi on tegemist instrumentaalse, mitte olemusliku juhtumiga (*intrinsic case*): konkreetne mänguprojekt ei ole uurimise eesmärk iseneses, vaid vahend laiemal küsimuse uurimiseks, nimelt kas ja kuidas Lean Startup metoodika on rakendatav laste haridusmängude arendamisel.

Juhtum valiti, kuna see võimaldab uurida nähtust, mille kohta on akadeemilises kirjanduses seni vähe otsest empiirilist käsitlust. Selles mõttes läheneb see Yin'i (2018, ptk 2) käsitluses paljastava juhtumi tunnustele: autori teadmiste kohaselt ei ole ühe praktikust arendaja poolt lastele suunatud haridusmängus rakendatud Lean Startup metoodikat kuni avaldamisvalmiduseni seni detailselt kirjeldatud.

Lean Startup Ehita-Mõõda-Õpi tsükkel jagab iteratiivset loogikat disainipõhise uurimise (*Design-Based Research, DBR*) traditsiooniga (Brown, 1992; Collins, 1992; Design-Based Research Collective, 2003): mõlemad lähenemised lükkavad tagasi täieliku eelplaneerimise ning eelistavad kiiret iteratsiooni, mida suunab reaalsest kasutusest pärinev tõendusmaterjal. See

paralleel annab käesolevale tööle metoodilise eelkäigu haridusteaduslikus uurimustraditsioonis, kuigi töö ise ei järgi formaalset DBR-protokoll (disainipõhise uurimise ettekirjutatud tsükli jada, kus iga iteratsioon hõlmab sekkumise kavandamist, rakendamist, analüüsi ja ümberkujundamist), vaid on kavandatud instrumentaalse juhtumiuuringuna.

Uurimuse lähenemine on peamiselt kvalitatiivne ja interpretatiivne, kuid seda täiendavad avaldamisjärgsed kvantitatiivsed analüütikaandmed. Kvalitatiivne mõõde hõlmab disainiotsuste kujunemise, Lean-põhimõtete praktilise rakendamise ning hariduslike ja meelelahutuslike eesmärkide tasakaalustamise analüüsi. Kvantitatiivne mõõde annab reaalkasutajate käitumusliku tõendusmaterjali, mille abil saab neid tõlgendusi kinnitada, täpsustada või vaidlustada. Selline kombinatsioon haakub Riesi (2011) innovatsiooniarvestuse käsitlusega, mille kohaselt tuleb (Ries, 2011) kvalitatiivne arusaam siduda tegevuslike mõõdikutega.

Käesoleva uurimuse empiiriline ulatus hõlmab arendusprotsessi alates ideefaasist kuni avaldamisvalmiduseni; avaldamisjärgsed kasutusandmed jäävad edasise uurimuse etapiks. Konkreetsemalt: Ehita-faasi dokumenteeritakse empiiriliselt (arenduspäevik, Git-ajalugu, disainiotsused), Mõõda-faasi käsitletakse empiirilis-teoreetiliselt (mõõtmisarhitektuur on kavandatud ja instrumenteeritud, kuid täiemahuline andmestik ei kuulu käesolevasse töösesse) ning Õpi-faasi esitatakse teoreetilis-praktilise raamistikuna, mis määratleb, kuidas mängu edasist iteratsiooni tuleks pärast avaldamist juhtida.

Käesolev magistr töö on samaaegselt uurimis- ja arendusprojekt ning uurija täidab selles kahekordset rolli: ta on ühtaegu praktik ja uurija. See positsioon tugineb Schöni (1983) reflektiivse praktika käsitlusele. Schön eristab tegevusesisest refleksiooni (*reflection-in-action*), st reaalajas toimuvat mõtlemist praktika käigus, ja tegevusjärgset refleksiooni (*reflection-on-action*), st hilisemat analüüsi, milles hinnatakse toimunu tähendust teoreetiliste raamistike valguses. Mõlemad refleksioonivormid on käesolevas töös esindatud: arenduspäevik talletab tegevusesisese refleksiooni, samas kui neljandas ja viiendas peatükis esitatav analüüs kujutab endast süstemaatilist tegevusjärgset refleksiooni.

Selline lähenemine on osaliselt kooskõlas autoetnograafilise uurimismetoodikaga, milles uurija enda kogemus toimib olulise andmeallikana ja aknana laiemasse nähtusesse. Ellis, Adams ja Bochner (Ellis jt, 2011) määratlevad autoetnograafia lähenemisena, mis „püüab kirjeldada ja süstemaatiliselt analüüsida isiklikku kogemust, et mõista kultuurilist kogemust” (autori tõlge). Chang (2008) hoiatab samas kolme peamise ohukoha eest: liigse enesekesksuse eest ilma

teoreetilise analüüsita, ülemäärase tuginemise eest mälule ilma objektiivse kinnitamiseta ning sellise narratiivi eest, mis ei liigu kirjelduselt tõlgenduse tasandile. Käesolevas töös leevendavad neid riske teises peatükis sõnastatud teoreetilised raamistikud, arenduspäevik, Giti commit-ajalugu ja rakendusepoodide analüütika. (Chang, 2008; Ellis jt, 2011)

Uuriija topeltrolli olemuslik piirang seisneb selles, et omaenda protsessi uurides ei ole võimalik saavutada välise vaatleja distantsi. Seda piirangut tunnistatakse sõnaselgelt ning leevendatakse punktis 3.4 kirjeldatud triangulatsioonistrateegiaga. Uuriija positsiooni läbipaistvus võimaldab lugejal hinnata, kuidas see võis tulemusi mõjutada, ning otsustada, millisel määral on need tulemused tema enda konteksti ülekantavad (Lincoln ja Guba, 1985; Ries, 2011).

3.1.2 Andmekogumine ja -analüüs

Andmekogumine toimub käesolevas uurimuses nelja paralleelse voo kaudu, mis moodustavad ühiselt juhtumiuuringu andmebaasi (*case study database*) Yin'i (2018) tähenduses.

Peamine andmeallikas on struktureeritud arenduspäevik, mida peeti kogu projekti vältel alates esialgselt ideest kuni avaldamisvalmiduseni. Päeviku struktuur põhineb Mooni (2006) reflektiivse päevikupidamise raamistikul ning sisaldab nelja tüüpi sissekandeid (Moon, 2006). Kirjeldavad sissekanded talletavad, mida ehitati, milliseid otsuseid tehti ning milliseid tehnilisi või disainilisi väljakutseid kogeti. Analüütilised sissekanded seostavad need otsused teises peatükis sõnastatud teoreetiliste raamistikega, küsides näiteks, kas konkreetne disainivalik peegeldab aritmeetilise sisu sisemist või välist integratsiooni või kas mõni avaldamisjärgne mõõdik kujutab endast tegevuslikku või näivmõõdikut. Reflektiivsed sissekanded dokumenteerivad uurija reaalses arutluskäiku, sealhulgas ebakindlusi, üllatusi ja olukordi, kus tõendusmaterjal läks vastuollu varasemate eeldustega. Tõendusmaterjaliga siduvad sissekanded ühendavad päeviku konkreetsete väliste artefaktidega, näiteks Giti commit-identifikaatori, ekraanipildi või analüütika juhtpaneeli näiduga, võimaldades sõltumatumat kontrolli.

Teine andmeallikas on projekti Giti versioonihalduse repositoorium. Commit-ajalugu annab ajatempliga objektiivse kirje arendustegevuse kohta ning vähendab tagasisivaatelist kallutatust. Koodibaaside uurimisvaldkond on näidanud commit-andmete väärtust tarkvaraarendusprotsesside uurimisel (Xie jt, 2013). Käesolevas töös kasutatakse Giti ajalugu päeviku sissekannete kinnitamiseks, arendusotsuste ajalise järjestuse tuvastamiseks ning auditijälje loomiseks, mis toetab Lincoln'i ja Guba (1985) usaldusväarsuse raamistikus kirjeldatud sõltuvuskriteeriumi (*dependability criterion*).

Kolmas, tingimuslik andmeallikas hõlmab kavandatud avaldamisjärgset platvormianalüütikat, mis pärineb Unity Analyticsist, App Store Connectist ja Google Play Console'ist. Need platvormid annavad koondatud ja anonüümset käitumuslikku andmestikku, sealhulgas paigalduste arvu (*installs*), päeva- ja kuupõhiselt aktiivseid kasutajaid, sessiooni pikkust, 1 ja 7. päeva hoidmismäärasid ning mängus instrumenteeritud kohandatud sündmusi, millega jälgitakse aritmeetiliste küsimuste lahendamise määra ja raskusastme edenemist. Mõõdikute tõlgendamisel võetakse aluseks valdkonna võrdlusalused, mis pärinevad GameAnalyticsi (2025) aastaaruandest. Need mõõdikud teenivad Ehita-Mõõda-Õpi tsükli Mõõda-faasi ning pakuvad tegevuslikku tõendusmaterjali, millele toetuvad pöörde- või jätkamisotsused. Nende andmeallikate kasutamine sõltub sellest, et kas arendatud rakendus saavutab piisava kasutajate hulga. Käesolevas magistritöös käsitletakse neid andmeallikaid eeskätt kavandatud mõõtmisraamistiku osana, mitte töö põhilise empiirilise alusena.

Neljas, täiendav kvalitatiivne andmeallikas on App Store'i ja Google Play kasutajaarvustused, mis annavad vabatahtlikult esitatud hinnanguid nii meelelahutusliku kui ka haridusliku väärtuse kohta. Kuigi sellised arvustused ei ole metodoloogiliselt võrdsed struktureeritud intervjuude või vaatlusega, pakuvad need siiski väärtuslikku tagasisidet tegelikest kasutuskontekstidest.

Andmeanalüüs toimub kahe strateegia kaudu. Kvalitatiivne protsessianalüüs on põhitelg; kvantitatiivne mõõtmisvalmiduse analüüs on toetav telg, mille ulatus sõltub avaldamisjärgselt kättesaadavast andmestikust.

Arenduspäeviku ja muu kvalitatiivse materjali puhul kasutatakse Yin'i (2018) mustrite sobitamise loogikat (*pattern matching logic*). Selle kohaselt võrreldakse andmestikus täheldatud empiirilisi mustreid teises peatükis sõnastatud teoreetiliste raamistike ennustatud mustritega. Näiteks eeldab teoreetiline raamistik, et õppesisu sisemine integratsioon mängu põhimehaanikasse peaks toetama suuremat kaasatust kui väline integratsioon; seda prognoosi saab kontrollida näiteks sessiooni pikkuse, tagasipöördumise määra ja mängusisese haridusliku kaasatuse näitajate põhjal. Samuti eeldab raamistik, et Ehita-Mõõda-Õpi tsükkel vajab mänguarenduse eripärade tõttu kohandamist, sealhulgas avaldamiseelse eksperimenteerimise kvalitatiivse iseloomu ja nn lõbususe probleemi (*fun problem*) arvestamist, nagu osutavad Hyrynsalmi jt (2018) ja Linåker jt (Linåker jt, 2025)). Kui vaadeldud mustrid langevad teoreetiliste eeldustega kokku, toetavad need

vastavaid väiteid; kui need lahknevad, moodustavad need aluse teooria täpsustamiseks või kriitikaks.

Toetava teljena kasutatakse kvantitatiivsete analüütikaandmete puhul Riesi (2011) innovatsiooniarenduse raamistikku. Lähtejoon (*baseline*) määratletakse esimeste avaldamisjärgsete nädalate jooksul kogutud mõõdikute põhjal ning see kujutab endast Ehita-Mõõda-Õpi tsükli alguspunkti. Järgneva iteratsiooni hinnatakse, võrreldes iteratsioonijärgseid mõõdikuid selle lähtejoonega ning eristades tegevuslikes mõõdikutes (Ries, 2011) – näiteks hoidmismääras, sessioonisageduses või tagasipöördumise määras – ilmneva parandusi mõõdikute muutustest. GameAnalyticsi (2025) mobiilimängude võrdlusandmed annavad välise võrdluspunkti, mille taustal saab mängu mõõdikuid tõlgendada ja hinnata, kas täheldatud tulemus peegeldab konkreetse disaini kvaliteeti või jääb mobiilimängude üldise tulemuste jaotuse piiridesse. (GameAnalytics, 2025)

Mõlemas andmevoos juhib analüüsi triangulatsiooni põhimõte. Järeldusi peetakse tugevamaks siis, kui neid kinnitavad vähemalt kaks sõltumatut andmeallikat, kättesaadavate andmeallikate piires. Kui arenduspäevikus on mõni disainiotsus kirjeldatud tõhusana, peab seda toetama ka vastav analüütiline paranemine, et seda saaks Riesi (2011) mõttes käsitleda valideeritud õppimisena. Kui mõni muster ilmneb analüütikas, peab see olema seletatav dokumenteeritud arendusotsuste kaudu, et seda oleks võimalik tõlgendada, mitte üksnes kirjeldada. (Ries, 2011)

3.1.3 Üldistamine, piirangud ja eetika

Käesoleva magistr töö eesmärk on luua analüütilist üldistust Yin'i (2018) tähenduses. See tähendab, et tulemusi ei üldistata mänguarendusprojektide statistilisele populatsioonile, vaid teoreetilistele väidetele Lean Startup meetodika rakendatavuse kohta laste haridusmängude arenduses. Siin rakendatav loogika sarnaneb teadusliku eksperimendi, mitte küsitluse loogikale: üks hästi dokumenteeritud juhtum võib testida, täpsustada ja laiendada teoreetilist väidet ka siis, kui see ei võimalda teha populatsioonitasandi statistilisi järeldusi.

Flyvbjerg (2006) käsitleb ühe juhtumi uuringute kõige levinumat kriitikat – väidet, et ühest juhtumist ei saa üldistada – ning näitab, et strateegiline juhtumivalik võib maksimeerida üldistatava arusaamise potentsiaali Flyvbjerg (lk 229–230). Tema eristatud infopõhiste valikustrateegiatega taustal võib käesolevat juhtumit käsitada metodoloogiliselt strateegilise, mitte

tüüpilise juhtumina. Tegemist on varem vähe dokumenteeritud nähtusega – üksikarendaja rakendamas Lean Startup metoodikat laste haridusmängu arendamisel – ning just see eripära annab võimaluse tuua nähtavale mehhanisme, mis tüüpilisemas juhtumis võiksid jääda varjatuks. Runeson ja Höst (2009) kinnitavad omakorda juhtumiuuringu sobivust tarkvaratehnika kontekstis, rõhutades, et see võimaldab uurida kaasaegseid nähtusi nende loomulikus kontekstis.

Täpsemalt soovib käesolev töö anda esialgse minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) definitsiooni, mille puudumist tuvastati teises peatükis olemasolevas kirjanduses ning dokumenteerida empiiriliselt, kuidas tehniline toimivus, meelelahutuslik väärtus ja pedagoogiline adekvaatsus Õpi arendustsüklis vastastikku toimivad. Need panused on teoreetilist laadi ning neid saavad hinnata, korrata ja kritiseerida ka teised uurijad, sõltumata sellest, kas nad töötavad sama mängu või sama vanuserühmaga.

Paralleelselt analüütilise üldistamisega pakub töö paksu kirjeldust (*thick description*), mida Lincoln ja Guba (1985) käsitlevad ülekantavuse (*transferability*) alusena. Piisavalt detailne ülevaade juhtumi kontekstist, arendusotsustest ja nende tagajärgedest võimaldab lugejatel, kes tegutsevad sarnastes olukordades – näiteks teistel üksikarendajatel, väikestel haridusmängustuudiotel või Lean-lähenemist loomingulistes tööstustes uurivatel teadlastel – hinnata ise, kas ja kuidas käesoleva töö järeldused nende olukorrale rakenduvad. Selle käsitluse kohaselt lasub vastutus ülekantavuse eest lugejal, mitte uurijal; uurija kohustus on anda selle hindamiseks piisavalt rikas kirjeldus, mitte koguda võimalikult lai valim. (Lincoln & Guba, 1985)

Käesoleval uurimisel on kuus peamist piirangut, mida käsitletakse üksikasjalikumalt punktis 4.3: ühe juhtumi disaini piiratud statistiline üldistatavus (Yin, 2018); praktik-uurija topeltrollist tulenev kinnituskallutatuse risk (Schön, 1983); otseste õpitulemuste mõõtmiste puudumine; lastega formaalse kasutajatestimise puudumine; ning empiiriline piiritlemine Ehita- ja Mõõda-faasidega, jättes avaldamisjärgse andmeanalüüsi edasise uurimuse etapiks.

Seetõttu piiritletakse käesolevas töös empiiriline ulatus järgmiselt: Ehita-faasi käsitletakse empiiriliselt arenduspäeviku, Git-ajaloo ja disainiotsuste dokumenteerimise kaudu; Mõõda-faasi käsitletakse teoreetiliselt, kuna mõõtmisarhitektuur on kavandatud ja instrumenteeritud, kuid täiemahuline kasutusandmestik moodustab edasise uurimisetapi; Õpi-faasi käsitletakse teoreetilis-praktilise raamistikuna, mis tuleneb Ehita-faasi empiirikast ja kirjandusest.

Käesoleva uurimuse eetilise raamistik toimib kahel tasandil, mida on oluline eristada: uurimuse enda uurimiseetikaga seotud tasand ning avalikul platvormil avaldamiseks kavandatud

rakenduse tooteetikaga seotud tasand. Mõlema tasandi läbipaistev esitamine on kooskõlas Lincolni ja Guba (1985) usaldusväarsuse raamistikuga, mille kohaselt tugevdab kvalitatiivse uurimuse kinnitatavust (*confirmability*) see, kui uurija avab süstemaatiliselt oma positsiooni, meetodid ja nende piirangud. (Lincoln & Guba, 1985)

Uurimustasandil on töö kavandatud praktik-uurija juhtumiuuringuna (Ellis jt, 2011; Chang, 2008), milles peamine analüüsiühik on arendaja enda protsess, mitte laste individuaalne kasutuskäitumine. Tõendusmaterjalina kasutatav avaldamisjärgne analüütika kogutakse platvormi enda vahenditega koondatud ja anonüümsel kujul App Store Connecti ja Google Play Console'i kaudu, mis ei anna arendajale üksiktasandi kasutajaandmeid. Uurimuses ei tehta lastega otsest andmekogumist ning ühelgi hetkel ei pääseta ligi laste kasutajate isikut tuvastavale teabele. Seetõttu ei põhine käesolev töö individuaalsel tasandil kogutud isikuandmetel samas tähenduses nagu klassikaline inimese-uuring. Võimalike institutsionaalsete nõuete täpsustamiseks ja tõlgenduse kinnitamiseks on ülikooli teaduseetikakomiteele esitatud ametlik päring.

Tootetasandil on rakendus arendatud kooskõlas lastega seotud rakendustele kohalduvate regulatiivsete raamistikega. Euroopa Liidu isikuandmete kaitse üldmääruse (GDPR) artikkel 8 nõuab laste isikuandmete töötlemisel vanemliku nõusoleku olemasolu ning rakenduse andmekäitluse põhimõtted on kavandatud nii, et andmekogumine oleks minimaalne ja välditaks igasugust töötlemist, mis sellist nõusolekut nõuaks. *Apple*'i *Kids* kategooria juhised ja *Google Play Families Policy* piiravad samamoodi laste sihtrühmale mõeldud rakendustes andmekogumist, kolmandate osapoolte jälgimist ja reklaami ning rakendus on kujundatud nende põhimõtetega kooskõlas. Rakenduses ei kasutata käitumuslikku reklaami, kolmandate osapoolte analüütika-SDK-sid ega püsivaid kasutajaidentifikaatoreid. Täiendavate võrdlusraamistikena on arvesse võetud ka Ühendkuningriigi Information Commissioner's Office'i vanusele sobiva disaini koodeksit (*ICO, 2020*) ning Ameerika Ühendriikide Children's Online Privacy Protection Act'i (*COPPA*), isegi seal, kus need ei ole otseselt õiguslikult siduvad, lähtudes üldisest põhimõttest kujundada toode kooskõlas laste andmekaitse kõrgeima rakenduva standardiga.

3.2 Ehita – mängu arendusprotsess

Käesolev peatükk dokumenteerib Lean Startupi Ehita-Mõõda-Õpi tsükli rakendamist 6–10-aastastele lastele mõeldud aritmeetilise lõputu jooksumäng tüüpi haridusmängu arendamisel Unity platvormil. Peatüki keskne argument on, et haridusmängude puhul ei piisa minimaalselt elujõulise toote tavapärasest käsitlemisest. Varane versioon peab eeldama tehnilist toimivust ning

võimaldama samaaegselt hinnata kahte eristuvat elujõulisuse mõõdet: mängulist kaasatust ja õppesisu sisemist integreeritust. Seetõttu osutub standardne minimaalselt elujõulise toote kontseptsioon haridusmängude kontekstis ilma kohandamiseta ebapiisavaks.

Teoreetiliselt tugineb peatükk Hyrynsalmi jt (2018) minimaalselt elujõulise mängu raamistikule, Boeira (2024) Lean Game Development käsitlusele ning Habgoodi ja Ainsworthi (2011) sisemise integratsiooni põhimõtetele. Iga alajaotus vastab tsükli ühele faasile: (Boeira, 2024; Hyrynsalmi jt, 2018) toote ulatuse määratlemine, selle ülesehitamine, mõju mõõtmine ning tulemustest õppimine järgmisteks iteratsioonideks. Näitlikustavate juhtumitena kasutatakse läbivalt Eesti ja Põhjamaade haridustehnoloogia ettevõtteid, eeskätt 99mathi, ALPA Kidsi ja DragonBoxi. Tuleb märkida, et nende ettevõtete kohta pärineb peamine kättesaadav teave tööstusajakirjandusest, ettevõtete endi materjalidest ja intervjuudest, mitte eelretsenseeritud akadeemilistest allikatest; seetõttu käsitletakse neid siinses töös illustreerivate võrdluspunktidena, mitte empiirilise tõendusmaterjali allikatena.

3.2.1 Minimaalselt elujõulise haridusmängu määratlemine

3.2.1.1 Miks standardne MVP ei ole haridusmängude jaoks piisav

Minimaalselt elujõulise toote (*Minimum Viable Product, MVP*) kontseptsiooni rakendamine 6–10-aastastele lastele mõeldud haridusmängule nõuab enam kui võimalikult väikese funktsioonikomplekti valimist. Ries (2011) defineerib MVP-d kui toote versiooni, mis võimaldab meeskonnal minimaalse pingutusega koguda maksimaalses mahus valideeritud teadmist. Tegemist on teadlikult laia definitsiooniga, mis toimib hästi tavapärase tarkvaratoodete puhul, kuid haridusmängude kontekstis ilmneb sellel piirang. (Ries, 2011)

Tavalise tarkvaratoote puhul võib kärbitud versioon siiski testida kesket väärtuspakkumist. Osterwalteri ja Pigneuri (2010) väärtuspakkumise lõuendi (*Value Proposition Canvas*) loogikast lähtudes on haridusmängu puhul väärtuspakkumine vähemalt kahene: mäng peab olema lastele piisavalt kaasahaarav, et nad sooviksid sellega vabatahtlikult piisavalt kaua tegeleda, ning samal ajal peab see põimima aritmeetilise sisu viisil, mis toetab õppimist. Kui üks neist mõõtetest varasest versioonist eemaldada, ei ole enam võimalik hinnata, kas toode täidab oma põhifunktsiooni haridusmänguna.

Hyrynsalmi jt (2018) tuvastasid selle lünga empiirilisel. Nende uuring üheksa mänguarendusettevõtte seas näitas, et kuigi minimaalselt elujõulise mängu kontseptsiooni kasutatakse tööstuslikes aruteludes laialdaselt, puuduvad praktilised juhised peaaegu täielikult ning arusaamad selle tegelikust tähendusest on väga erinevad. (Hyrynsalmi jt, 2018) Üks uuritud ettevõtetest arendas kooliealistele lastele mõeldud haridusmänge ning tunnistas sõnaselgelt, et neil puudusid formaalsed plaanid ükskõik millise minimaalselt elujõulise versiooni jaoks (lk 224–225). See tähelepanek kinnitab otseselt lünka, millele käesolev magistr töö püüab vastata. (Hyrynsalmi jt, 2018)

Sellest tulenevalt pakub käesolev töö välja minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) kontseptsiooni. MVEG on haridusmängu varaseim juurutatav versioon, mis eeldab tehnilist toimivust sihtplatvormidel ning vastab samaaegselt kahele eristuvale elujõulisuse kriteeriumile: see on piisavalt kaasahaarav, et hoida vabatahtlikku kasutust nii kaua, et õppimine saaks toimuda; ning see põimib haridusliku sisu mängu põhimehaanikasse sisemiselt, mitte eraldiseisva tegevusena. Tehniline toimivus on igasuguse tarkvara eeltingimus, kuid kahe paralleelse väärtuspakkumise – meelelahutusliku kaasatuse ja haridusliku tõhususe – samaaegne rahuldamine on haridusmängude valdkonnaspetsiifiline väljakutse, mis eristab MVEG-i tavapärasest MVP-st. MVEG erineb prototüübist selle poolest, et see peab jõudma päris kasutajateni. Käesolevas töös tähendab see, et MVEG peab olema avaldamisvalmis ja instrumenteeritud nii, et avaldamisjärgne andmekogumine 6–10-aastastelt kasutajatelt on võimalik.

3.2.1.2 MVEG ulatuse määratlemine: funktsioonivalikud ja nende põhjendus

MVEG ulatuse määratlemine lähtus ühest juhtküsimusest: milline on minimaalne funktsioonide konfiguratsioon, mis võimaldab kahe eristuva elujõulisuse kriteeriumi samaaegset testimist reaalse sihtrühma peal? Boeira (2024) soovib mänguprojektide puhul kohandada *Lean Canvas*’i tööriista, mis omakorda on Maurya kohandus Osterwalderi ja Pigneuri (2010) Business Model Canvas’ist, et kaardistada väärtuspakkumise ja kliendisegmentide eeldusi enne arendustöö algust. Käesoleva projekti *Lean Canvas* sõnastab kaks eristuvat väärtushüpoteesi, mis vajavad eraldi valideerimist. (Boeira, 2024)

Kaasatuse hüpotees väidab, et 6–10-aastased lapsed mängivad aritmeetilist lõputu jooksumängu (*endless runner*) tüüpi mängu vabatahtlikult piisavalt pikkades sessioonides, et koguneks sisuline harjutusmaht. Õppimise hüpotees väidab, et sisemiselt integreeritud

aritmeetiliste probleemide korduv lahendamine lõputu jooksumäng formaadis võib avalduda mängusisese täpsuse ja edenemise paranemises aja jooksul.

Mõlemat hüpoteesi saab testida üksnes päris lastega, kasutades toimivat toodet päris mobiiliseadmetel. Sellest tuleneb ka avaldamisstrateegia: MVEG peab olema avaldamisvalmis App Store'i ja Google Play jaoks, sest kaasatust ja õppesisu toimimist saab sisuliselt hinnata alles päris kasutajaandmete põhjal. Arendaja enda sisetestimine on vajalik tehniliste vigade ja ilmsete kasutatavusprobleemide tuvastamiseks, kuid see ei saa asendada käitumuslikku tõendusmaterjali, mis pärineb päris lastelt nende loomulikus kasutuskeskkonnas.

MVEG aritmeetiline sisu määratleti lähtudes Eesti õppekavast. Hemmi, Bråting ja Lepik näitavad, et Eesti lähenemine kannab Davydovi koolkonna mõjutusi ning et varastes klassides rõhutatakse tehete seoseid, struktuurset mõistmist ning probleemide esitamise ja lahendamise seost. See toetab otsust alustada lihtsa, kuid struktuurselt selge aritmeetilise sisuga, mitte hajutada esimest versiooni liiga paljude tehete vahel.

Nendest lähtekohtadest tulenevalt rakendab MVEG esimeses versioonis ainult liitmist ja lahutamist. Baasvahemikuna kasutatakse tehteid 20 piires, samas kui lihtsamad ülesanded 10 piires on kättesaadavad alustajatele. Keerukamad variandid võib siduda adaptiivse raskusastmega hilisemates iteratsioonides. See otsus maksimeerib sihtrühma katvust ja minimeerib samal ajal arendusulatust ning pedagoogilist riski. Korrutamine ja jagamine on jäetud hilisematesse iteratsioonidesse, sest nende sisemine integreerimine mängu põhimehaanikasse eeldab keerukamaid disainilahendusi.

Tabel 2. MVEG ulatus: plaanitud vs. tegelikkuses realiseeritud

Komponent	Plaanitud MVEG-ulatus	Tegelikkuses realiseeritud	Erinevuse põhjus
Põhimehaanika	Lõputu jooksumäng + aritmeetikavalik jooksurajal	Realiseeritud vastavalt plaanile	—
Sisemine integratsioon (Habgood & Ainsworth)	Aritmeetika on jooksu eduks vajalik, mitte dekoratiivne	Realiseeritud – valed vastused vähendavad elu, õiged kiirendavad	—
Adaptiivne raskusaste	Automaatne regulatsioon mänguoskuse põhjal	Baasversioon: kolm astet + mänguoskuse-põhine üleminek	Ajalise piirangu tõttu lihtsustatud algoritm
Analüütika instrumentatsioon	Hoidmine + sessiooni pikkus + haridusmõõdikud (küsimuste lõpetamismäär, täpsus)	Realiseeritud; lisaks adaptiivse astme üleminekusündmused	Täiendavad sündmused lisandusid instrumenteerimise käigus

Komponent	Plaanitud MVEG-ulatus	Tegelikkuses realiseeritud	Erinevuse põhjus
Visuaalne viimistlus (<i>polish</i>)	Mitteloovutatav disaininõue (turupoe standard)	Realiseeritud põhiekraanidel; edasised animatsioonid edasi lükatud	Üksikarendaja ressursipiirang
Lokaliseerimine	Esialgne versioon ainult eesti keel	Eesti + inglise (MVP-avaldamise järel)	Avaldamisjärgne laiendus
Õpi-faasi empiirika	Avaldamisjärgne andmekogumine ≥ 3 kuud	Kavandatud, käesoleva töö raamest välja jäetud	Piirangud magistritöö ulatuses ja võimalustes

Allikas: autori koostatud.

3.2.1.3 Esimesest päevast alates mitteloovutatavad disaininõuded

Käesolevas töös loobuti algsest 4–10-aastaste sihtrühma käsitlesest ning kitsendati sihtrühm 6–10-aastastele lastele. Selle otsuse põhjuseks ei olnud üksnes helilise juhendamise vajadus, kuigi see oli oluline tegur. Eelkooliealistele suunatud mängude kirjandus rõhutab, et 4–5-aastaste laste puhul on lugemisoskuse piiratus, mahuka audiomaterjali vajadus, keerukam kasutajatestimine ning vanuserühmale spetsiifilised kasutatavusnõuded eraldi keskse tähtsusega (Shoukry jt, 2015). Lisaks näitavad laste füüsilist arengut käsitlevad UX-uuringud, et 3–5-aastaste peenmotoorika ja koordinatsioon on oluliselt piiratumad kui 6–8-aastastel, mistõttu eeldaks selle vanuserühma kaasamine teistsuguseid interaktsioonimustreid ja rangemaid kasutatavusnõudeid (Liu, 2018). Kuna käesoleva mängu eesmärk on uurida Lean Startup metoodika rakendamist algkooliealiste aritmeetilise mobiilmängu arenduses, võimaldas sihtrühma kitsendamine 6–10-aastastele säilitada sisemise kooskõla õppekavalise loogika, mängumehaanika ja kasutajakogemuse nõuete vahel.

Teatud disaininõudeid ei ole siiski võimalik edasi lükata hilisematesse iteratsioonidesse, sest need mõjutavad kas toote kasutatavuse põhialuseid 6–10-aastaste laste jaoks või selle õiguslikku vastavust avalikes rakenduspooldes. Shoukry jt (2015) Pre-MEGa raamistik esitab viisteist disainikategooriat mobiilsete haridusmängude hindamiseks (Shoukry jt, 2015). Kuigi raamistik on algselt välja töötatud eelkooliealiste laste kontekstis, on selle põhimõtted asjakohased ka käesoleva projekti sihtrühma puhul – vanusevahemiku alumises otsas olevad 6-aastased paiknevad kooliea lävel ning jagavad eelkooliealistega mitmeid juhendamise ja kasutatavusega seotud piiranguid. Käesoleva projekti jaoks on eriti kriitilised kolm kategooriat.

Esiteks peab sihtrühma noorema osa jaoks olema põhijuhiste, aritmeetiliste ülesannete ja peamiste interaktiivsete elementide kasutamine toetatud helilise juhendamisega. 6–7-aastased lapsed on veel varases kirjaoskuse arengufaasis ega suuda ekraanil olevat teksti alati piisavalt kindlalt lugeda, et mäng saaks tugineda ainult tekstipõhisele juhendamisele. See disaininõue on

kooskõlas Hirsh-Pasek jt (2015) nelja õppesamba raamistikuga, mille kohaselt aktiivne õppimine eeldab tegelikku intellektuaalset kaasatust – kasutajaliides, mis muudab põhistsükli tekstisõltuvaks, loob noorema kasutaja jaoks passiivsema ja vähem kaasava kogemuse sõltumata mängu muudest kvaliteetidest.

Teiseks peavad puutealad ja interaktsioonimustrid arvestama sihtrühma noorema osa peenmotoorikaga, mitte lähtuma täiskasvanud kasutajate võimekusest. Nielsen Norman Groupi uuringud näitavad, et 3–5-aastaste laste peenmotoorika ja koordineerimine on „väga piiratud” ning ka 6–8-aastaste rühmas on need võimed endiselt „piiratud” võrreldes vanemate lastega (Liu, 2018). Puutekraanidel mõeldud rakenduste puhul soovivad uurijad kasutada noorte laste jaoks puutealasi suurusega vähemalt 2×2 cm, mis on neli korda suurem kui täiskasvanute standardne 1×1 cm sihtmärk (Liu, 2018). Lisaks peaksid interaktsioonid tuginema lihtsatele žestidele nagu koputamine, libistamine ja lihtne lohistamine, vältides selliseid täpsust nõudvaid liigutusi, mis eeldavad peenmotoorset kontrolli täiskasvanud kasutaja tasemel.

Kolmandaks kujundab lõimitud privaatsuse (*privacy by design*) põhimõte tehnilist arhitektuuri juba arenduse kõige varasemast faasist alates. Euroopa Liidu isikuandmete kaitse üldmääruse artikkel 8 nõuab vanemlikku nõusolekut laste isikuandmete töötlemiseks vanuses, mis jääb alla digitaalse nõusoleku eale. Eestis on isikuandmete kaitse seaduse § 8 lg 1 kohaselt see piir 13 aastat; enamikus EL liikmesriikides jääb see vahemikku 13–16 aastat. Ameerika Ühendriikides seab Children’s Online Privacy Protection Act (COPPA) analoogse nõude alla 13-aastaste kasutajate puhul. Nii Apple’i Kids Category juhised kui ka Google Play Families Policy oluliselt piiravad laste sihtrühma puhul isikut tuvastavate andmete kogumise või edastamise. Sellest tuleneb praktiline nõue, et analüütika instrumentatsioon peab olema algusest peale kavandatud koguma üksnes koondatud ja anonüümseid andmeid – andmekaitsemeetmete vastavuse tagantjärele lisamine on oluliselt keerulisem ning toob kaasa õiguslikke riske.

3.2.1.4 Avaldamisvalmiduse kriteeriumid

MVEG saavutab avaldamisvalmiduse siis, kui see vastab neljale lävendikriteeriumile. Funktsionaalsest vaatenurgast peab kogu mängutsükkel toimima tõrgeteta: tegelane jookseb, aritmeetilised probleemid ilmuvad sobivate intervallidega, laps vastab, mäng annab tagasisidet, jooks lõpeb ning sessioon sulgub tulemuse kuvamisega. Vähemalt kolm raskusastet peavad katma 6–10-aastaste arenguulatuses vajaliku variatiivsuse – tegemist on MVP miinimumnõudega, mida saab hilisemates iteratsioonides täpsemalt diferentseerida. Hariduslikust vaatenurgast peavad

aritmeetilised ülesanded vastama eespool kirjeldatud õppekavalisele loogikale, õiged vastused peavad saama positiivse tagasiside, mis ühendab visuaalse ja helilise tunnustuse, ning valed vastused peavad saama konstruktiivse, mitte karistusliku reaktsiooni. Regulaatiivsest aspektist ei tohi rakendus koguda isikuandmeid, selles ei tohi olla reklaame ega rakendusesiseseid oste, see peab vastama mõlema suure rakendusepoe laste rakenduste nõuetele ning sisaldama rakendusesisese ligipääsuga privaatsuspoliitikat. Kasutajakogemuse seisukohalt peavad põhijuhised ja peamised interaktiivsed elemendid olema toetatud helilise juhendamise, liidese põhitsükkel peab olema sihtrühma nooremas otsas oleva lapse jaoks läbitav ilma täiskasvanu pideva abita ning rakendus peab toimima adekvaatselt nii tänapäevastel kui ka hiljutise põlvkonna mobiiliseadmetel.

3.2.2 Ehita-faas – arendus

3.2.2.1 Mallivaliku analüüs

Arenduslähenedamine lähtus *Lean* põhimõttest vältida sellist raiskamist, mis ei loo uurimisküsimuse seisukohalt uut väärtust. Selle töö kontekstis tähendas see otsust mitte arendada nullist selliseid tehnilisi alussüsteeme, mille jaoks olid Unity ökosüsteemis juba olemas töökindlad ja laialt kasutatavad lahendused. Boeira (2024) rõhutab, et mänguarenduses tuleb küsida, kas kõik komponendid on vaja nullist üles ehitada või saab kasutada olemasolevaid tööriistu, mis võimaldavad suunata arendusressursi toote tegelikult uudsetele osadele. Käesolevas projektis rakendati seda põhimõtet mallipõhise arenduse kaudu: lõputu jooksumängu tuummehaanika asemel keskenduti nendele funktsioonidele, mis moodustavad mängu haridusliku eripära. (Boeira, 2024)

Peamiseks tehniliseks lähtealuseks valiti *More Mountains'i Infinite Runner Engine (Unity Asset Store)*, mis sisaldab tootmiskõlblikke süsteeme objektibasseinide, tekijate, kaamerakontrollerite, mänguseisundi haldamise, mitme tegelase toe, kogutavate esemete, tipp-tulemuste ja saavutuste jaoks.

Malli valik põhines kolme alternatiivi võrdlusel: nullist arendamine, Unity ametliku runner-malli kasutamine ning *More Mountains'i* valmisraamistiku kohandamine. Nullist arendamine oleks andnud maksimaalse tehnilise kontrolli, kuid oleks suunanud märkimisväärse osa ajast probleemidele, mis ei olnud käesoleva uurimuse seisukohalt uudsed. Unity ametlik mall sobis kiireks eksperimenteerimiseks, kuid selle arhitektuur ei pakkunud piisavalt küpset

lähtepunkti kõigi nende süsteemide jaoks, mida oli vaja MVEG funktsionaalse terviklikkuse saavutamiseks. More Mountains'i lahendus võimaldas lühendada Ehita-faasi ning koondada kohandatud arendustöö aritmeetika integratsioonisüsteemile, adaptiivsele raskusastmele ja mõõtmisarhitektuurile.

Sellise malli kasutamine oli kooskõlas Lean Startup metoodika põhiloogikaga: eesmärk ei olnud tõestada, et arendaja suudab luua lõputu jooksumängu nullist, vaid luua võimalikult kiiresti testitav haridusmängu versioon, mille kaudu saaks hinnata MVEG kontseptsiooni elujõulisust. Seetõttu käsitleti valmisraamistiku kasutamist mitte metodoloogilise nõrkusena, vaid teadliku ulatuse juhtimise otsusena, mis vähendas ebavajalikku tehnilist tööd ja suurendas arenduskiirust.

Kohandatud arendustöö jagunes kolme põhikategooriasse. Esiteks tuli välja töötada aritmeetilise integratsiooni süsteem, mille kaudu matemaatilised ülesanded genereeritakse, esitatakse ja seotakse jooksumehaanikaga. Teiseks tuli luua adaptiivse raskusastme süsteem, mis kohandab probleemide keerukust kasutaja soorituse põhjal. Kolmandaks tuli luua analüütika instrumentatsioonikiht, mis salvestab kaasatuse ja haridusliku kasutuse sündmusi sellisel kujul, mida saab Mõõda-faasis tõlgendada ning mis on kooskõlas laste andmekaitse nõuetega. (Vt Lisa 7, Väljavõte 1.)

3.2.2.2 Aritmeetika sisemine integratsioon jooksumehaanikasse

Ehita-faasi keskne disainiotsus puudutas mehhanismi, mille kaudu aritmeetilised ülesanded põimiti mängukogemusse. Habgood ja Ainsworth määratlevad sisemise integratsiooni põhimõttena, mis eristab hariduslikult tõhusaid mängu nn „šokolaadiga kaetud brokoli“ (*„chocolate-covered broccoli“*) lähenemisest, kus mänguelement toimib üksnes preemiana õppesisu läbimise eest. (Habgood & Ainsworth, 2011) Käesoleva mängu puhul tähendab sisemine integratsioon seda, et aritmeetiliste ülesannete lahendamine on peamine tegevus, mille kaudu mängija kontrollib tegelase edenemist, mitte kõrvaltegevus, mis katkestab mängu või toimib eeltingimuseks mängu jätkamiseks.

Habgoodi ja Ainsworthi kaheosalise definitsiooni järgi peavad sisemiselt integreeritud mängud esiteks edastama õppesisu mängu kõige kaasavamate osade kaudu ning teiseks kehastama õppematerjali mängumaailma struktuuris nii, et seda saab uurida mängu põhimehaanika kaudu (Habgood & Ainsworth, 2011). Nende kriteeriumide alusel kaaluti kolme võimalikku integratsioonimudelit.

Esimese, rajavaliku mudeli puhul liigub jooksja kolmel rajal, millest igal kuvatakse üks arvuline vastus. Ekraanile ilmub aritmeetiline ülesanne ning mängija peab suunama tegelase õige vastusega rajale; vale valik põhjustab takistuse või aeglustuse. Teise, värava-interaktsiooni mudeli puhul seotakse aritmeetilised avaldised väravatega, millest tegelane peab läbi liikuma; õige vastus avab värava, vale vastus tekitab tõkke. Kolmanda, kogumismudeli puhul peab mängija koguma numbritega objekte õiges järjekorras või kombinatsioonis, et viia need vastavusse kuvatud võrrandiga.

MVEG jaoks valitud konkreetne integratsioonimehhanism oli kogumismudel. Valik tehti kahel põhjusel. Esiteks võimaldas kogumismudel siduda aritmeetilise otsuse vahetult tegelase liikumise ja edenemisega, mis vastab sisemise integratsiooni põhimõttele: mängija ei lahenda ülesannet mängutsüklist eraldiseisvalt, vaid kontrollib mängu kulgu otse matemaatilise otsuse kaudu. Teiseks osutus see tehniliselt teostatavaks olemasoleva runner-malli arhitektuuri sees ilma, et Ehita-faasi maht oleks kasvanud ebaproportsionaalselt suureks.

Värava-interaktsiooni mudel jäi kõrvale, kuna see mõjus väiksema tempoga ega tekitanud sama selget seost vastamise ja liikumise vahel. Rajavalik osutus teoreetiliselt huvitavaks variandiks, eriti vanema sihtrühma jaoks, kuid selle integreerimine täiesti eraldi mängutsükliks oleks olnud Ehita-faasis liiga kulukas. Seetõttu käsitleti seda järgmise iteratsiooni edasiarendussuunana, mitte MVEG esimese versiooni põhimehhanismina. Valitud lahendus säilitas seega samaaegselt MVEG kaks eristuvat mõõdet: mängulise kaasatuse ja õppesisu sisemise integratsiooni.

Selle otsuse tähendus Lean-raamistiku seisukohalt oli oluline. Kui aritmeetika oleks jäänud mängutsüklist eraldiseisvaks, oleks varane versioon küll võimaldanud hinnata mõningast kasutajakaasatust, kuid mitte seda, kas mängu põhimehaanika ja õppesisu moodustavad tegelikult ühe terviku. Valitud integratsioonimehhanism võimaldas vähemalt põhimõtteliselt testida mõlemat põhihüpoteesi korraga: kas mängu on meeldiv mängida ning kas matemaatiline tegevus toimib selle sees loomuliku osana. (Vt Lisa 7, Väljavõte 2.)

3.2.2.3 Adaptiivse raskusastme süsteem

Sihtrühm vanuses 6–10 aastat hõlmab aritmeetilise võimekuse osas laia arengulist spektrit. Staatiline raskusastme süsteem, mis sobib vanusevahemiku ühele otsale, tekitab teise otsa kasutajates vältimatult kas frustratsiooni või igavust. See omakorda rikub Csikszentmihalyi (1990)

vookanali põhimõtet, mille kohaselt optimaalne kaasatus tekib siis, kui väljakutse ja oskus on omavahel tasakaalus. (Csikszentmihalyi, 1990)

Selles töös rakendatud adaptiivse raskusastme süsteem põhineb Peláneki (2016) kirjeldatud Elo-reitingu lähenemisel. Algselt maletajate järjestamiseks loodud Elo-süsteemi saab hariduskontekstis tõlgendada nii, et iga vastus kujutab endast omamoodi „kohtumist” õppija ja ülesande vahel (Pelánek, 2016). Iga aritmeetilise probleemitüübi juurde kuulub raskusreiting ning igale kasutajale kujuneb võimekuse hinnang, mida uuendatakse pärast iga vastust valemi $\theta_s \leftarrow \theta_s + K(\text{tulemus} - \text{eeldatav})$ järgi. Seejuures tuleneb eeldatav õnnestumise tõenäosus logistilisest funktsioonist, mis sõltub ülesande raskuse ja kasutaja võimekuse hinnangu erinevusest, ning K tähistab õppimiskiiruse parameetrit (Pelánek, 2016). Pelánek näitab, et Elo-l põhinev süsteem on tehniliselt lihtne, nõuab suhteliselt vähe parameetreid ning sobib hästi reaalses kohandamiseks.

Sama põhimõtte toimimist suurel skaalal demonstreerib Amsterdami Ülikooli juures arendatud Math Garden (*Rekentuin*), kus Klinkenberg, Straatemeier ja van der Maas (2011) kirjeldavad adaptiivset matemaatikaharjutamist algkooli tasemel. Nende uuringus lahendas 3648 last kümne kuu jooksul üle 3,5 miljoni aritmeetilise ülesande. Platvormis valiti ülesanded nii, et keskmine õige vastuse tõenäosus oleks ligikaudu 0,75, mis muutis ülesanded piisavalt väljakutsuvaks, kuid mitte liigselt raskeks (Klinkenberg jt, 2011). Käesolevas projektis kasutatakse MVP tasandil sama tasakaalupunkti.

Käesoleva töö seisukohalt tuleb rõhutada, et Elo-süsteemi eesmärk ei olnud pakkuda psühhomeetriselt täiuslikku oskuse mõõtmist, vaid luua toimiv ja iteratiivselt täiustatav mehhanism, mis võimaldaks Ehita-faasis vältida liiga jäika raskusastme loogikat. Algväärtusena kasutati mängija reitingut 1000 ja ülesannete lähtereitingut 1200. K -faktorina kasutati väärtust 32. Seetõttu tuleb käesolevas peatükis kirjeldatud parameetreid käsitleda esialgse MVEG-i seadistusena, mida saaks edasistes iteratsioonides täpsustada reaalse kasutusandmestiku alusel. (Vt Lisa 7, Väljavõte 3.)

3.2.2.4 Tehisintellekti abil toetatud arendus ja Lean-kiirus

Käesolevas projektis kasutati kogu Ehita-faasi vältel Claude Code'i tehisintellektil põhineva programmeerimisassistendina. Tegemist oli teadliku metodoloogilise valikuga, mis lähtus Lean-põhimõtetest: tehisintellekti tugi lühendas Ehita-faasi, kiirendades boilerplate-koodi genereerimist, vähendades silumisele kuluvat aega ning võimaldades kiiremat iteratsiooni

disainiotsuste ja toimiva teostuse vahel. Lühemad ehitustsüklid võimaldasid fikseeritud ajaraamis teha rohkem iteratsioone, mis on Lean-arenduse oluline eelis (Ries, 2011).

Claude Code'i kasutamine avalikustati vastavalt õppekava tehisintellekti kasutamise põhimõtetele magistritöös, nagu on kirjeldatud punktis 1.6. Kõik tehisintellekti loodud koodilõigud vaatas uurija üle, testis need läbi ning kohandas neid paljudel juhtudel sisuliselt enne projekti integreerimist. Seega toimis tehisintellekt arenduskiirendina, mitte autonoomse arendajana: arhitektuuri, haridusdisaini ja mängumehaanika otsused tegi uurija, samas kui tehisintellekti kasutati nende otsuste tehniliseks realiseerimiseks.

Claude Code'i kasutamise mõju seisnes eelkõige arenduskiiruse kasvus, mitte loominguliste otsuste automatiseerimises. Haridusliku sisu valik, sisemise integratsiooni lahendus, MVEG-i ulatuse määratlemine ja raskusastme kujundus jäid uurija otsustada. Tehisintellekti kasutamine oli seega kooskõlas Lean Startup metoodika loogikaga: see aitas vähendada tehnilist hõõrdumist Ehita-faasis, et rohkem aega jääks nende otsuste jaoks, mis mõjutavad toote tegelikku väärtuspakkumist. (Vt Lisa 7, Väljavõte 4.)

3.2.3 Mõõtmise ettevalmistus ja analüütika instrumentatsioon

3.2.3.1 Analüütika instrumentatsiooni disain

Unity Analytics, mis toimib Unity Gaming Services'i osana, pakub avaldamisjärgse faasi peamist mõõtmisinfrastruktuuri. Instrumentatsiooni disain eristab ühelt poolt standardseid sündmusi, mida SDK kogub automaatselt – näiteks sessiooni algused, sessiooni kestused ja seadme metaandmed —, ning teiselt poolt kohandatud sündmusi, mille arendaja määratleb just selle toote hariduslike ja kaasatusega seotud käitumiste mõõtmiseks. Kõik parameetrid on kujundatud nii, et need oleksid analüütiliselt tähenduslikud koondtasandil, kuid ei genereeriks individuaaltasandil isikut tuvastavat teavet, kooskõlas punktis 4.1.3 kirjeldatud GDPR-i ja COPPA nõuetega.

Jooksusündmused hõlmavad sündmust *run_started*, mille parameetriteks on raskusaste ja tehete tüüp, *run_ended*, mille parameetriteks on läbitud vahemaa, kestus, esitatud küsimuste arv ja vastatud küsimuste arv, ning *run_abandoned*, mis eristab vabatahtlikke väljumisi tehnilistest ebaõnnestumistest. Küsimussündmused hõlmavad *question_presented* sündmust, mille parameetriteks on tehte tüüp, tehete kasutatud arvud, õige vastus ja raskusaste, ning *question_answered* sündmust, mille parameetriteks on vastuse õigsus, vastamisaeg millisekundites, antud vastus, hetke täpsusseeria ning hetke raskusreiting.

Progressioonisündmused salvestavad sündmuse *difficulty_changed* koos varasema ja uue raskusastme ning selle muutuse esile kutsunud täpsusmääraga. Verstapostisündmused talletavad esimese õige vastuse, kümme järjestikust õiget vastust ning tehepõhised meisterlikkuse läved.

3.2.3.2 Hoidmismäära mõõtmine ja võrdlusandmete tõlgendamine

“Unity Analyticsis kasutatakse klassikalist Day 1, Day 7 ja Day 28 retention’i. GameAnalyticsi 2025. aasta Mobile Gaming Benchmarks report, mis põhineb 11 600 mängurakenduse andmestikul, annab referentsväärtused MVEG hoidmismäärade tõlgendamiseks. Raporti järgi jääb mobiilmängude Day 1 mediaan ligikaudu 20–22% vahele, Day 7 mediaan 3,4–3,9% juurde ning 75% mängudest ei ületa Day 28 puhul 3% piiri. Arcade-mängud näitavad lühiajalises hoidmiselt paremaid tulemusi kui koondmediaan, kuid pikaajalises hoidmises jäävad nõrgemaks, mis toetab adaptiivse raskusastme tähtsust. Põhilised hoidmissignaalid, mis suunavad pöörde- või jätkamisotsuste kaalumist, on järgmised. Kui Day 1 hoidmismäär langeb alla 20%, viitab see tõenäoliselt probleemile sisseelamise või esmase kasutuskogemuse tasandil ning suunab tähelepanu esimese sessiooni kogemuse analüüsile. Kui Day 7 hoidmismäär langeb alla 3%, s.t allapoole tööstuse mediaani, viitab see sellele, et lapsed ei pöördu rakendusse vabatahtlikult tagasi ning mängu põhitsükkel võib vajada ümberkujundamist. Kui Day 28 hoidmismäär ületab 3% olukorras, kus ka Day 7 näitaja on piisav, võib see osutada sellele, et adaptiivse raskusastme süsteem suudab kaasatust säilitada ka pärast uudsusperioodi. Neid lävendeid käsitletakse siiski tõlgenduspunktidenä, mitte automaatsete otsustusreeglitena.

Käesolev võrdlusraamistik on kavandatud teoreetilise hindamisinstrumendina, mida saaks rakendada avaldamisjärgses faasis, kui kasutajaandmed kogunevad. Raamistik määratleb, milliseid mõõdikuid – eeskätt Day 1, Day 7 ja Day 28 hoidmismäärasid – tuleks võrrelda GameAnalyticsi võrdlusandmetega ning millised tõlgenduspeähimõtted peaksid analüüsi suunama. Kontekstispetsiifilised tegurid, mis võivad laste haridusmängu puhul neid võrdlusväärtusi mõjutada – eelkõige vanemliku vahendatuse roll ja kooliaasta tsüklilisus – on käsitletud punktis 5.7.

3.2.3.3 Haridusliku kaasatuse mõõdikud

Kui standardsed kaasatusmõõdikud näitavad, kas lapsed mängu üldse mängivad, siis eespool kirjeldatud kohandatud haridussündmused loovad teise andmestiku, mis võimaldab hinnata, kuidas lapsed suhtlevad aritmeetilise sisuga. MVEG haridusliku elujõulisuse hindamisel on eriti informatiivsed kolm tuletatud mõõdikut.

Küsimuste lõpetamismäär (*question completion rate*) – sessiooni jooksul vastatud küsimuste suhe esitatud küsimustesse – näitab, kas lapsed tegelevad aritmeetilise mehaanikaga või ignoreerivad seda. Käesolevas projektis on esialgseks tõlgenduslävendiks seatud 80%: kui see määr püsib järjekindlalt alla selle, viitab see sellele, et integratsioonimehhanism ei suuda suunata tähelepanu aritmeetikale, mis oleks vastuolus sisemise integratsiooni disainiloogikaga (Habgood & Ainsworth, 2011) ning osutaks vajadusele integratsioonilahendus ümber kujundada.

Täpsustrajektor (*accuracy trajectory*) – õige vastuse määra muutus eri sessioonide lõikes konkreetsete aritmeetiliste faktitüüpide puhul – toimib käitumusliku õppimise asendusnäitajana, ilma et see moodustaks formaalset eel- ja järeltesti. Kui 10 piires liitmise ülesannete keskmine täpsus paraneb süstemaatiliselt korduvate sessioonide jooksul, on see kooskõlas õppimise hüpoteesiga mängu sees. Samas tuleb seda tõlgendada ettevaatlikult, sest mõõdik peegeldab mängusisest sooritust, mitte otseselt väljaspool mängukonteksti avalduvat matemaatilist pädevust.

Raskusastmel edenemise määr (*difficulty progression rate*) – kui kiiresti adaptiivne raskusastme süsteem viib kasutajaid keerukamatele tasanditele – näitab, kas Elo-kalibreerimine toimib kavandatud viisil (Pelánek, 2016).

Shute ja Ventura (2013) toetavad varjatud hindamise (Shute & Ventura, 2013) lähenemist, mille puhul pädevuse mõõtmine põimitakse mängutegevusse nii, et õppijad ei koge traditsioonilistele testidele iseloomulikku katkestust. Aritmeetiline runner toetab seda loomupäraselt: iga rajavalik või värava-interaktsioon on samaaegselt mänguline otsus ja hindamissündmus, mis genereerib tõendusmaterjali mängusisese aritmeetilise soorituse kohta tavapärase mänguinteraktsiooni käigus. Samas tuleb arvestada, et mänguanalüütika põhjal saadav tõendusmaterjal on olemuselt kaudne ja asenduspõhine (Alonso-Fernández jt, 2019) ega asenda formaalseid õpitulemuste mõõtmisi – see on käesoleva mõõtmismetoodika oluline piirang.

Avaldamisjärgselt võimaldavad eelkirjeldatud kohandatud sündmused esitada siia küsimuste lõpetamismäärad, täpsustrajektoori andmed ning raskusastmel edenemise statistika. Need kolm mõõdikut moodustavad koos haridusliku tulemuslikkuse hindamise aluse, mida rakendatakse punktis 5.6.2 esitatud otsustustabelis.

3.2.3.4 Rakendusepoodide arvustused kvalitatiivse tagasisidena

App Store'i ja Google Play kaudu esitatud kasutajaarvustused pakuvad kvantitatiivsele analüütikale täiendavat kvalitatiivset tagasisidet. Laste haridusmängu puhul pärinevad need hinnangud peaaegu täielikult vanematelt, tegemist on vahendatud tagasisidekanaliga, mis

peegeldab vanemate arusaama mängu hariduslikust väärtusest ja lapse käitumisest, mitte lapse vahetut kogemust. Seetõttu ei käsitleta rakendusepoodide arvustusi samaväärsena struktureeritud kvalitatiivse andmestikuga, vaid täiendava ja indikatiivse tagasisideallikana.

Arvustuste sisu tuleks jälgida süstemaatiliselt järgmiste korduvate kategooriate lõikes: kirjeldatud hariduslik väärtus, raskusastme mittevastavuse signaalid, kaasatuse kestuse kirjeldused ning funktsioonisoovid. Kriitilised signaalid, näiteks sobimatu sisu või andmekogumisega seotud mured, viitaksid vastavusprobleemidele, mis nõuavad viivitamatut reageerimist.

Avaldamisjärgses faasis oleks võimalik koguda esinduslikke arvustuste väljavõtteid ning viia läbi temaatiline analüüs eeltoodud kategooriate lõikes. Kvalitatiivne tagasiside täiendab kvantitatiivset analüütikat, pakkudes konteksti, mida ainult numbrilistest mõõdikutest ei saa – näiteks vanema kirjeldus lapse frustratsioonikogemusest annab raskusastme kalibreerimise kohta täpsemat infot kui üksnes täpsusprotsent.

Õpi-faasi otsustusraamistik, innovatsiooniarvestuse struktuur, pöörde- ja jätkamisotsuste kriteeriumid ning nende sidumine disainiteadusliku uurimismeetodiga, on esitatud Lisas 3 (Lean Startup tsükli hindamine) ja Lisas 4 (Õpi-faasi teoreetiline otsustusraamistik). Eesti ja Põhjamaade haridusmängude ökosüsteemist pärinevad võrdlusjuhtumid (99math, DragonBox, ALPA Kids) illustreerivad seal, kuidas teised arendajad on Õpi-faasi iteratsiooni praktikas rakendanud.

3.2.4 Avaldamisvalmiduse kujunemine

Avaldamisvalmidus ei tähenda üksnes tehnilist kompileeritavust, vaid hõlmab kolme paralleelset valmiduse telge: tehniline Ehita töövoog, rakenduspoe metaandmed (kirjeldused, ekraanipildid, vanuseklassifikatsioon, privaatsuspoliitika) ning lasteäppide eritingimused (*Apple Kids Category*, *Google Families Policy*). Käesolevas alajaotuses kirjeldatakse, kuidas need kolm telge arendusprotsessis kujunesid ja millistele nõuetele MVEG esitamise hetkeks vastas.

Käesoleva juhtumi puhul ei kujunenud avaldamisvalmidus üheks viimaseks tehniliseks sammuks, vaid osutus Ehita-faasi läbivaks nõudeks. Eriti oluline oli see lastele suunatud arenduste kontekstis, kus andmekogumise piirangud, reklaamide puudumine, privaatsuspoliitika olemasolu ning sobiv vanuseklassifikatsioon mõjutavad toote arhitektuuri juba enne avaldamist. Seetõttu tuli mitmeid tehnilisi ja tootedisaini puudutavaid otsuseid hinnata mitte ainult mängu toimivuse, vaid ka rakenduspoodide nõuete valguses.

Esitamise hetkeks oli MVEG avaldamisvalmidus järgmine. Tehnilise arendus soovide mõttes oli projekt avaldamisvalmis: Nii iOS, kui Android versiooni osas oli teostatud põhiehitus

ja testimine. Metaandmete mõttes olid valminud kirjeldused, ekraanipildid, vanusemärgistus ja privaatsuspoliitika, samas kui pooleli jäid mõned lokaliseerimise detailid. Regulaatiivse vastavuse osas vastas rakendus põhinõuetele, kuna selles ei kasutatud käitumuslikku reklaami, kolmandate osapoolte jälgimis-SDK-sid ega rakendusesiseseid oste. Sellest järeldub, et avaldamisvalmidus ei kujunenud üheksainsaks binaarseks seisundiks, vaid mitmest paralleelsest komponendist koosnevaks valmisolekuks, mille eri osad saavutasid küpsuse erineva kiirusega.

3.2.5 Vahejärelus: mida Ehita ja Mõõda selles etapis võimaldasid

Neljanda peatüki empiirilises osas on dokumenteeritud MVEG arendusprotsess alates kavandamisest kuni avaldamisvalmiduseni. Ehita-faas andis kolm konkreetset väljundit: (1) töötav mänguprototüüp, mis integreerib aritmeetika mängu tuummehaanikasse; (2) instrumenteeritud analüütikaarhitektuur, mis võimaldab avaldamisjärgset andmekogumist; (3) rakenduspoe nõuetele vastav versioon, mis on valmis esitamiseks. Mõõda-faasi ettevalmistus: sündmuste disain, hoidismäärade ja õppimise asendusmõõdikute defineerimine on samuti lõpule viidud, kuid mõõtmistulemused jäävad käesoleva töö empiirilise ulatuse piirist välja.

Siit tuleneb küsimus: kuidas peaks arendaja tegema Õpi-faasi otsuseid, itereerida, pöörata või laiendada, kui avaldamisjärgsed andmed puuduvad või on alles kogunemas? Viies peatükk käsitleb seda küsimust, pakkudes teoreetiliselt põhjendatud otsustusraamistikku, mis tugineb kirjandusülevaates käsitletud hariduslikele kvaliteedikriteeriumidele ja mõõdikute interpreteerimisjuhiste.

Käesolev peatükk katab empiirilisel Ehita-faasi (arendusprotsess kuni avaldamisvalmiduseni) ning Mõõda-faasi ettevalmistuse (analüütikaarhitektuuri disain, võrdlusraamistiku koostamine ja otsustustabeli sõnastamine). Avaldamisjärgsete andmete kogumine ja Õpi-faasi empiiriline läbiviimine jäävad käesoleva töö empiirilisest ulatusest välja. See piiritlemine on teadlik metodoloogiline valik, mis tuleneb kahest asjaolust. Esiteks on töö uurimisküsimuse fookus protsessil, kuidas Lean Startup metoodikat rakendada, mitte tulemusel. Ehita-faasi dokumenteerimine ja Mõõda-faasi tööriistade ettevalmistamine vastavad sellele fookusele otseselt. Teiseks eeldab avaldamisjärgsete andmete kogumine piisavat kasutajabaasi ja mõõtmisperioodi, mis omakorda sõltub levikust. See on eraldiseisev etapp, mis läheb kaugemale arendusprotsessi uurimisest. Tabelites ja analüüsiraamistikutes märgitud tühjad väärtused ei kujuta seega puuduvat empiiriat, vaid ettevalmistatud mõõtmistaristut: võrdlusraamistik on valmis ja

ootab andmeid, mis on metodoloogiliselt tugevam positsioon kui andmete puudumine ilma raamistikuta. Empiirilist ulatust käsitletakse piiranguna punktis 6.4.

3.2.6 Ehita-faasi teostus ja empiirilised tähelepanekud

Neljas peatükk sõnastas MVEG ulatuse neljas avaldamisvalmiduse kategoorias: funktsionaalne terviklikkus, hariduslik terviklikkus, regulatiivne vastavus ning lapsele sobiv kasutajakogemus. Käesolev alajaotus hindab, kas valminud MVEG vastas neile kriteeriumidele, dokumenteerides lahkevused kavandatud ja tegeliku ulatuse vahel ning tõlgendades neid Lean-raamistiku kaudu.

Lean Startupi loogika kohaselt ei ole ulatuse kohandamine tingimata läbikukkumine, vaid Ehita-faasi loomulik väljund. Riesi (Ries, 2011) järgi on arendusprotsessi eesmärk vähendada ebavajalikku tööd ja koondada tähelepanu valideeritud õppimise seisukohalt kriitilistele elementidele. Samas tuleb haridusmängu puhul arvestada, et mitte iga ulatuse vähendamine ei ole võrdselt produktiivne. Felin, Gambardella, Stern ja Zenger (2020) (Felin jt, 2020) on osutanud, et Lean Startup kipub eelistama kiiresti vaadeldavat tagasisidet ja koheselt valideeritavaid lahendusi, mis võivad soosida pigem astmelist, kui uudset väärtust loovat eksperimenteerimist. Haridusmängu kontekstis tähendab see, et funktsioonide kärpimine võib osutada problemaatiliseks siis, kui eemaldatakse just need omadused, mille kaudu õppesisu mängu tuummehaanikaga sisemiselt seotakse.

Käesolev juhtumiuuring pakub sellele kriitikale empiirilist vastuargumenti. MVEG-raamistiku elujõulisuskriteeriumid – meelelahutuslik väärtus ja pedagoogiline adekvaatsus – loovad põhimõttelise eristuse kärbitavate ja kärpimatute omaduste vahel. Funktsionaalset ulatust on võimalik vähendada (näiteks tasemete arvu piiramine või lisafunktsioonide edasilükkamine), ilma et see kahjustaks toote uudset väärtuspakkumist, samas kui sisemise integratsiooni elemente kärpida ei tohi, sest just need eristavad haridusmängu tavalisest drillrakendusest. Selline kriteeriumipõhine loogika ei soosi astmelisust iseenesest, vaid suunab iteratsiooni viisil, mis kaitseb toote pedagoogilist tuumikut. Felin jt kriitika kehtib seega eelkõige olukorras, kus Lean-meetodeid rakendatakse ilma valdkonnaspetsiifilise kohanduseta – mis on just see probleem, mida MVEG-kontseptsioon lahendada asub.

Tabel 3. Ehita-Mööda-Õpi tsüklid Numbrijooksu arendusprotsessis

Tsükkel	Ehita (mis ehitati)	Mõõda (mida mõõdeti)	Õpi (mida õpiti / otsustati)
Põhimehaanika prototüüp	Lõputu jooksumäng + kolme valikuga aritmeetikavärv	Sisemise kasutaja mänguseansside pikkus ja arusaamine mehaanikast	Mehaanika on piisavalt selge; edasi adaptiivse astme integratsiooni juurde
Adaptiivne raskusaste	Kolmeastmeline süsteem ja üleminekureeglid	Üleminekute sagedus ja mänguuskuse-astme vastavus sisemistes testmängudes	Algoritm säilitab voo (Csikszentmihalyi) – jätkata analüütika integratsiooniga
Analüütika instrumentatsioon	Hoidmise, sessiooni pikkuse, küsimuste täpsuse sündmused	Sündmuste jõudmine analüütikaplatvormile; andmete terviklikkus	Instrumentatsioon valideeritud; valmis avaldamiseks
MVP-lansseerimine	Avaldamine Google Play ja App Store	Esialgused paigalduste ja sessioonide näitajad; rakendusepoodide arvustused	Avaldamisvalmidus saavutatud; Õpi-faasi empiirika käesoleva töö raamest välja (vt Lisa 2)

Allikas: autori koostatud.

3.3.8 Tulemuste kokkuvõte

Käesolev peatükk analüüsib Lean Startup metoodika rakendamise tulemusi 6–10-aastastele lastele mõeldud haridusliku aritmeetilise lõputu jooksumäng tüüpi mängu arendamisel ja avaldamisel. Analüüs lähtus esimeses peatükis sõnastatud uurimise alamküsimustest ning keskendus minimaalselt elujõulise haridusmängu kontseptsioonile, avaldamisprotsessile, kaasatusmõõdikutele ja haridusliku toimimise asendusnäitajatele.

MVEG-kontseptsiooni puhul pakkus Habgoodi ja Ainsworthi (2011) sisemise integratsiooni raamistik peamise analüütilise tööriista, mille abil hinnata, kas mäng saavutas talle seatud haridusdisaini eesmärgid. Kavandatud ja tegelikult teostatud MVEG-funktsioonide võrdlus dokumenteerib, kuidas Lean Startupi põhimõtted kujundasid esimese väljalaske konkreetse konfiguratsiooni. Käesoleva töö empiiriline tõendusmaterjal viitab sellele, et MVEG-kontseptsioon pakkus toimiva raamistiku esimese haridusmängu versiooni ulatuse ja disainiotsuste struktureerimiseks; kontseptsiooni lõplik valideerimine eeldab avaldamisjärgset kasutusandmestikku. (Habgood & Ainsworth, 2011; Ries, 2011)

Hoidimismäärade ja kaasatusmõõdikute tõlgendamiseks on käesolevas töös sõnastatud võrdlusraamistik, mis tugineb GameAnalyticsi (2025) ja AppsFlyeri (2024) võrdlusandmetele ning arvestab Livingstone jt (2017) kirjeldatud vanemliku vahendamise mõju laste kasutusmustritele. Haridusliku kaasatuse puhul on küsimuste lõpetamismäär ja täpsustrajektor määratletud peamiste asendusmõõdikutena sisemise integratsiooni hüpoteesi testimiseks. Nende mõõdikute empiiriline analüüs eeldab avaldamisjärgset kasutajabaasi ega kuulu käesoleva töö empiiriliste tulemuste hulka.

Soovitused teistele arendajatele, kes rakendavad Lean Startup metoodikat haridusmängude arenduses, sünteesitakse kuuendas peatükis. Seal tõlgitakse käesoleva peatüki empiirilised tähelepanekud ja teoreetiline analüüs praktikutele suunatud tegevusjuhisteks ning sõnastatakse tööpeamised teoreetilised panused olemasolevasse kirjandusse.

4. Järeldused ja soovitused

Käesolev peatükk vastab kõigile neljale esimeses peatükis sõnastatud uurimisküsimusele, raamib töö teoreetilised panused, esitab seitse praktilist soovitus hariduslike mobiilmängude arendajatele, toob välja uurimuse piirangud ja tulevased uurimissuunad ning avalikustab kogu projekti vältel kasutatud tehisintellekti tööriistad. Peatükk järgib Yini (2018) soovitus siduda empiirilised leiud teoreetiliste väidetega järjestikulise seletava ülesehituse kaudu, käsitledes juhtumiuuringut mitte statistilise valimina, vaid võimalusena valgustada ja täpsustada teoreetilist arusaama. (Yin, 2018)

4.1 Vastused uurimisülesannetele

Käesoleva magistr töö kolmele uurimisülesandele vastavad järgnevad tulemused, mis koondavad eelnevates peatükkides dokumenteeritud analüüsi.

Vastus UÜ1-le: MVEG-raamistiku sünteesimine kirjanduse põhjal - Esimeses peatükis (2.1) süstematiseeriti MVP-mõiste kirjanduses (Ries, 2011; Lenarduzzi & Taibi; Robinson; Moogk; Blank) ning tuvastati, et definitsioonid varieeruvad kolme mõõtme – miinimumi, elujõulisuse ja toote valmidusastme – suhtes. Haridusmängu kontekstis katavad MVP-käsitlused seega osaliselt, kuid mitte tervenisti, need nõuded, mida haridusmängu elujõulisus eeldab.

Teises peatükis (2.2) tuletati haridusmängu elujõulisuse kriteeriumid sisemise integratsiooni (Habgood & Ainsworth, 2011), vooteooria (Csikszentmihalyi, 1990) ja enesemääratluse teooria (Ryan & Deci, 2000) sünteesist. Nendest tulenevalt peab haridusmäng olema samaaegselt kaasahaarav (meelelahutuslik väärtus) ja pedagoogiliselt adekvaatne, kusjuures tehniline toimivus on eeldus, mitte iseseisev kriteerium.

Käesolevas magistr töö raames tehtud minimaalselt elujõuline haridusmäng tähendab haridusmängu kõige varasemat juurutatavat versiooni, mis eeldab tehnilist toimivust sihtplatvormidel ning vastab samaaegselt kahele eristuvale elujõulisuse kriteeriumile: see on piisavalt kaasahaarav, et hoida vabatahtlikku kasutust nii kaua, et õppimine saaks toimuda, ning põimib haridusliku sisu mängu mehaanikasse sisemiselt, mitte eraldiseisva tegevusena.

Käesoleva projekti MVEG ulatuse määravad otsused tuginesid Hemmi, Bråtingu ja Lepiku (2021) õppekavauuringule, mis kinnitas, et liitmine ja lahutamine kuuluvad laste varase aritmeetilise arengu tuumikusse. Liitmise ja lahutamise kaasamine esimesse versiooni võimaldas hoida mängu hariduslikku sisu õppekavaliselt põhjendatuna, kuid samal ajal piisavalt kitsana, et teostusulatust kontrolli all hoida. Baasvahemikuna kasutati ühe kohaga arvude liitmist ja lahutamist 10 piires ning sellest nii allapoole kui ülespoole ulatuvat Elo-põhist adaptiivset raskusastet (Hemmi jt, 2021; Pelánek, 2016). See lahendus võimaldas samaaegselt maksimeerida sihtrühma katvust ja minimeerida arenduse keerukust. Habgoodi ja Ainsworthi (2011) sisemise integratsiooni raamistikust lähtudes hinnatud integratsioonimehhanism tagas, et aritmeetika oli põimitud jooksumehaanika tuuma, mitte esitatud pealiskihi või katkestusena. (Habgood & Ainsworth, 2011)

Disainiprotsessis tuvastati kolm nõuete kategooriat, mida ei saa edasi lükata hilisematesse iteratsioonidesse (Shoukry jt, 2015): puutealad ja žestid, mis on kalibreeritud 6–7-aastaste laste peenmotoorikale; *privacy-by-design* arhitektuur, mis tagab laste andmekaitse nõuetele vastavuse alates esimesest koodireast; ning heliline juhendamine eelkirjaoskusega kasutajatele. Kolmandast nõudest – helilisest juhendamisest – loobuti teostusmahu piirangu tõttu, mis kitsendas sihtrühma 6–10-aastastele lastele, kelle puhul sai suuremal määral tugineda tekstipõhisele juhendamisele. See otsus illustreerib MVEG-kontseptsioonile omast pinget: sihtrühma kitsendamine vähendas potentsiaalset kasutajaskonda, kuid võimaldas saavutada minimaalselt elujõulise versiooni kiiremini saavutada.

Selle järelduse teoreetiline tähendus on, et standardne MVP-kontseptsioon, nagu selle sõnastas Ries (2011) ja mänguarendusse laiendasid Hyrynsalmi jt (2018), ei ole haridusmängude jaoks piisav, sest see ei arvesta haridusliku terviklikkuse kriteeriumiga. Käesolev juhtumiuuring pakub raamistiku, mis võiks täita Hyrynsalmi jt (2018) poolt sõnaselgelt tuvastatud lünga – praktiliste MVP-protsesside puudumise haridusmängude ettevõtetes. (Ries, 2011)

Vastus UÜ2-le: MVEG-raamistiku rakendamine ja metodoloogiline põhjendus. Kolmandas peatükis põhjendati ühe juhtumi instrumentaalset juhtumiuuringu disaini (Yin, 2018; Stake, 1995) üksikarendaja kontekstis. Peamine metodoloogiline piirang (uurija praktik-roll) on teadvustatud ning kompenseeritud triangulatsiooni ja paksu kirjeldusega (*thick description*).

Käesoleva magistritöö keskne järeldus on, et Lean Startup metoodika on rakendatav 6–10-aastastele lastele suunatud haridusliku mobiilmängu arendamisel kuni avaldamisvalmiduseni,

kuid selle rakendamine nõuab kolme kohandust, mida olemasolev kirjandus Lean Startupi (Ries, 2011) ja Lean-mänguarenduse kohta (Boeira, 2024) käsitleb vaid piiratud määral.

Esimene kohandus puudutab minimaalselt elujõulise toote määratlust. Riesi (2011) algne definitsioon eeldab vaikumisi üht väärtuspakkumust, mida saab kasutajakäitumise kaudu testida. Haridusmängu puhul on väärtuspakkumus aga kahene: mäng peab lapsi vabatahtlikult kaasama ning samal ajal põimima aritmeetilise sisu viisil, mis toetab õppimist. Neid kahte nõuet ei ole võimalik minimaalses versioonis teineteisest lahutada, ilma et test ise muutuks kehtetuks. Neljandas peatükis pakutud minimaalselt elujõulise haridusmängu (MVEG) kontseptsioon vastab sellele probleemile, nõudes sisuliselt tähendusliku valideeritud õppimise eeltingimusena tehnilist toimivust ning kahe eristuva elujõulisuse kriteeriumi – piisava kaasatuse ja haridusliku terviklikkuse – samaaegset täitmist (Ries, 2011)

Teine kohandus puudutab Mõõda-faasi. Riesi (2011) innovatsiooniarvestuse raamistik eeldab, et kasutajakäitumine genereerib tegevuslikke mõõdikuid, mis suudavad hüpoteese kinnitada või ümber lükata. Avalikus rakendusepoes levitatava ning laste andmekaitse nõuetega kooskõlas oleva haridusmängu puhul ei ole otsene õpitulemuste mõõtmine aga kättesaadav. Mõõda-faasis tuleb seetõttu tugineda käitumuslikele asendusmõõdikutele, mis on õppimisega kooskõlas, kuid ei kujuta endast selle tõestust. Alonso-Fernández jt (2019) Game Learning Analyticsi raamistik pakub teoreetilise aluse selliste asendusandmete käsitlemiseks hariduslikult tähenduslikuna, kuid selle sisemisi piiranguid tuleb hariduslikku tõhusust puudutavate väidete sõnastamisel tunnistada. (Ries, 2011)

Kolmas kohandus puudutab Õpi-faasi. Standardse Lean Startup praktika järgi tehakse pöördeotsused peamiselt kaasatuse ja kasvu mõõdikute põhjal. Haridusmängude arenduses peavad pöördeotsused lisaks säilitama toote haridusliku terviklikkuse. Disainimuudatus, mis parandaks hoidmismäära, muutes aritmeetika vabatahtlikuks, või asendaks aritmeetika kaasahaaravamate, kuid mittehariduslike mehaanikatega, kujutaks endast pööret hariduslikust väärtuspakkumusest eemale, mitte sammu tooteturu sobivuse suunas (Habgood & Ainsworth, 2011). Seetõttu nõuab Õpi-faas topelt optimeerimise kriteeriumi: muudatused peavad kas parandama või vähemalt säilitama samaaegselt nii kaasatusmõõdikud kui ka haridusliku kaasatuse mõõdikud.

Need kolm kohandust moodustavad käesoleva juhtumiuuringu peamise analüütilise üldistuse Yini (2018) tähenduses: selle juhtumi tulemused valgustavad teoreetilist väidet, et Lean Startup metoodika vajab valdkonnaspetsiifilist ümberkujundamist siis, kui seda rakendatakse

kahese väärtuspakkumusega haridustoodetele. See üldistus rakendub põhimõtteliselt kõigile toodetele, mille väärtuspakkumus sisaldab kahte MVP-s lahutamatu mõõdet ning mille õppimise tõhususe mõõde ei ole platvormi analüütiliste tööriistade kaudu otseselt mõõdetav. Sellisteks valdkondadeks võivad olla näiteks keeleõpperakendused, lastele mõeldud programmeerimismängud või loodusteadusliku õppe tööriistad. (Yin, 2018)

Vastus UÜ3-le: Õpi-faasi mõõtmisarhitektuur ja metodoloogilised järeldused. Viienda peatüki analüüs sõnastas sedalaadi haridusliku mobiilimängu jaoks sobiva kahetasandilise mõõdikuraamistiku. Esimene tasand käsitleb turulist kaasatust ning hõlmab Day 1, Day 7 ja Day 28 hoidmismäärasid, päeva- ja kuupõhiselt aktiivseid kasutajaid, sessiooni pikkust ning DAU/MAU suhet. "Mõõtmisarhitektuuri keskmeks on **DAU/MAU suhtarv** (*Daily Active Users / Monthly Active Users*) – mobiilirakenduste tööstuse standardmõõdik, mis väljendab päevas aktiivsete kasutajate osakaalu kuus aktiivsetest kasutajatest ja peegeldab rakenduse kasutusharjumuste tihedust (*stickiness*). Need mõõdikud haakuvad Riesi (2011) innovatsiooniarvestuse loogikaga: Day 1 hoidmismäär toimib väärtushüpoteesi peamise tegevusliku näitajana ehk küsimusena, kas toode loob kasutaja jaoks esmase väärtuse, samal ajal kui Day 7 ja Day 28 toimivad jätkusuutliku kaasatuse peamiste tegevuslike näitajatena. Lastele mõeldud haridusmängu puhul tuleb neid võrdlusväärtusi siiski tõlgendada ettevaatlikult, sest žanr paikneb meelelahutuse ja instrueerimise piiril ning selle kasutusmustreid mõjutab lisaks vanemlik vahendamine. (Ries, 2011)

Teine tasand käsitleb hariduslikku kaasatust õppimise asendusnäitajana ning hõlmab küsimuste lõpetamismäära, sessioonide lõikes muutuvat täpsustrajektoori, raskusastmel edenemise määra ning tehete tüübi kaupa jaotatud veamuustrite analüüsi. Need mõõdikud tuginevad Alonso-Fernández jt (2019) *Game Learning Analyticsi* raamistikule ning on tõlgendatavad Shute'i ja Ventura (2013) *Evidence-Centered Design* lähenemise kaudu. Peamine tõlgenduslik põhimõte seisneb selles, et need mõõdikud peavad olema disainiotsuste jaoks tegevuslikud: küsimuste lõpetamismäära langus viitab sisemise (Shute ja Ventura, 2013) integratsiooni läbikukkumisele ja nõuab ümberdisaini; täpsuse paranemine on õppimise hüpoteesiga kooskõlas isegi siis, kui see ei suuda seda lõplikult kinnitada.

Avaldamisjärgselt esitatakse siia täheldatud mõõdikute väärtused ning nende suhe käesolevas alajaotuses kirjeldatud kahetasandilise raamistikuga. Üksikasjalikum analüüs esitatakse viiendas peatükis.

Üheks käesoleva töö oluliseks tähelepanekuks on, et teaduskirjanduses ei eksisteeri seni spetsiifilisi benchmark'e laste hariduslike mobiilimängude jaoks. GameAnalyticsi (2025) aruanne hõlmab mobiilimänge laiemalt ja haridusrakenduste benchmark'id käsitlevad mittemängulisi rakendusi, kuid 6–10-aastastele lastele suunatud haridusliku mängu kategooria jääb nende kahe andmestiku vahele. See lünk sõnastatakse piiranguna punktis 6.4 ja tulevase uurimissuunana punktis 6.5. (GameAnalytics, 2025)

4.2 Soovitused hariduslike mobiilimängude arendajatele

Käesoleva juhtumiuuringu tulemuste ja laiema kirjanduse kokkupuutest tõuseb esile seitse soovitus. Need esitatakse laiendatud kujul punktis 6.3. Lühidalt kokku võttes on need järgmised: määratleda hariduslik elujõulisus avaldamiskriteeriumina enne koodi kirjutamist; põimida hariduslik sisu sisemiselt enne avaldamist; kavandada analüütika instrumentatsioon laste andmekaitse nõuete järgi enne mängukoodi kirjutamist; kasutada Elo-põhist adaptiivset raskusastet juba esimeses versioonis; käsitleda rakendusepoodide arvustusi täiendava ja vahendatud kvalitatiivse tagasisideallikana; planeerida järgmise Ehita-Mööda-Õpi tsükli hüpotees enne praeguse versiooni avaldamist; ning hoiduda uute tehete lisamisest enne, kui põhitsükkel on valideeritud.

Järgnevad seitse soovitus on suunatud üksikarendajatele, väikestele stuudiotele ja sõltumatutele uurijatele, kes arendavad 6–10-aastastele lastele suunatud hariduslike mobiilimänge Lean Startup metoodika abil. Iga soovitus tugineb käesoleva juhtumiuuringu tõendusmaterjalile, on võimaluse korral toetatud laiema kirjandusega ning seostatud Eesti ja Põhjamaade haridusmängude ökosüsteemist pärinevate näidetega.

Soovitus 1: määratle hariduslik elujõulisus enne koodi kirjutamist - MVEG-kontseptsioon eeldab, et hariduslikku terviklikkust käsitletakse mitte hiljem lisatava funktsioonikihina, vaid mitteloovutatava piiranguna juba kõige esimesest disainiotsusest alates. See tähendab, et õppekavaga seotus tuleb sõnastada enne mängumehaanika või tehnilise malli valimist, sisemise integratsiooni mehhanism tuleb määratleda enne arenduse alustamist (Hemmi jt, 2021) ning analüütika instrumentatsioonis tuleb haridusliku kaasatuse mõõdikud kavandada juba algusest peale (Habgood & Ainsworth, 2011). DragonBoxi kogemus illustreerib seda selgelt (Alonso-Fernández jt, 2019): nende toote keskne innovatsioon seisnes otsuses, et algebra saab olla põimitud mängumehaanikasse enne, kui mängija puutub kokku formaalse matemaatilise märkekeelega. Kui sisemist integratsiooni püütakse lisada alles pärast väliselt integreeritud mängu

valmis ehitamist, nõuab see enamasti mitte järkjärgulist iteratsiooni, vaid sisuliselt uut disainilahendust.

Soovitus 2: kasuta olemasolevat infrastruktuuri, kuid testi üksnes oma hariduslikku panust. Boeira (2024) soovitab käsitleda Unity Asset Store'i Lean-hanke ressursina: valideeritud komponentidest kokku pandud MVP võimaldab koondada arendustöö tõeliselt uudsetele hariduslikele funktsioonidele (Boeira, 2024). Unitys loodava aritmeetikamängu puhul tähendab see, et põhimängumootori jaoks kasutatakse tootmiskõlblikke malle ning kohandatud arendus keskendub üksnes aritmeetilise integratsiooni süsteemile, adaptiivsele raskusastmele ja analüütika instrumentatsioonikihile. Kaamerahaldussüsteemide või objektibasseinide nullist kirjutamata jätmine vabastab aega ja tähelepanu haridushüpooteeside kiiremale testimisele (Ries, 2011).

Soovitus 3: kavanda analüütika COPPA ja GDPR nõuete järgi enne, kui sa midagi instrumenteerid. Laste andmekogumist reguleerivad piirangud on arhitektuursed, mitte kosmeetilised. Analüütikasüsteemi, mis kogub seadmeidentifikaatoreid või muid isikut tuvastavaid andmeid, ei saa tagantjärele vastavaks muuta lihtsalt väljade kustutamise teel; see tuleb projekteerida andmeminimeerimise põhimõtte järgi juba esimesest SDK-integratsioonist alates. Praktiline järeldus on, et punktis 4.3 kirjeldatud mõõtmisplaan – ainult Unity Analyticsi kasutamine COPPA-ga kooskõlas olevas režiimis koos kohandatud sündmustega, mis on mõeldud koondanalüüsiks, mitte indiviidi jälgimiseks – peab olema läbi mõeldud enne, kui mängu põhiline instrumentatsioon valmib, mitte alles siis, kui lansseerimine läheneb. (Shute ja Ventura, 2013) Eesti ettevõtte ALPA Kids on siin kõnekas näide: nende mõõtmistaristu on üles ehitatud akadeemilise uurimiskoostöö, mitte agressiivse kommertsanalüütika loogikale, mistõttu on see loonud andmestiku, millele on saanud tugineda mitmed magistritööd.

Soovitus 4: rakenda lihtsat Elo-põhist adaptiivset raskusastet juba esimeses versioonis. Vanusevahemik 6–10 aastat katab aritmeetilise võimekuse mõttes laia arengulise spektri (Hemmi jt, 2021). Staatiline raskusastme süsteem frustrerib nooremaid kasutajaid ja tüütab vanemaid juba esimeste sessioonide jooksul, tekitades väljalangemist, mis võib tuleneda raskuse sobimatusest, mitte haridusliku kontseptsiooni läbikukkumisest (Csikszentmihalyi, 1990). Peláneki (2016) Elo-reitingu rakendus adaptiivses hariduskontekstis pakub teoreetiliselt põhjendatud ja praktiliselt lihtsat lahendust: igal probleemitüübil on raskusreiting, igal sessioonil võimekuse hinnang ning probleemide valik suunatakse ligikaudu 75% õige vastamise määra juurde, mis vastab lähima arengu tsooni seisukohalt sobivale tasakaalupunktile. Sellist süsteemi

on võimalik rakendada suhteliselt väikese arendusmahuga, see ei nõua tingimata serveritaristut ega eelda isikut tuvastavate andmete kogumist. Hollandi Math Gardeni platvorm näitab sama Elo-lähenedamise toimimist suurel skaalal (Klinkenberg jt, 2011).

Soovitus 5: käsitle varaseid rakendusepoodide arvustusi täiendava kvalitatiivse tagasisideallikana. Vanemate kirjutatud rakendusepoodide arvustused on vahendatud, kuid siiski väärtuslik tagasisidekanal, mis pakub kvalitatiivset tõendusmaterjali, mida ainult analüütikast ei saa. Haridusmängude puhul sisaldavad vanemate hinnangud sageli tähelepanekuid lapse kaasatuse kestuse, õppimise edenemise ja tajutud haridusliku väärtuse kohta – täpselt nende hüpoteeside kohta, mida MVEG-raamistik soovib testida. Kui neid arvustusi jälgitakse süstemaatiliselt alates avaldamispäevast, kasutades punktis 4.3.4 määratletud mustrikategooriaid, muutub mitteametlik tagasisidekanal täiendavaks ja vahendatud kvalitatiivseks andmeallikaks, mis on kooskõlas Lean Startupi Õpi-faasi loogikaga. (Ries, 2011–86) 99mathi meeskonna sõnaselge rõhuasetus klassiruumi vaatlusele – „üllatav, kui paljud iduettevõtted ei räägi oma kasutajatega ega jälgi neid toodet kasutamas” – kehtib ka rakendusepoodide arvustuste puhul nende arendajate jaoks, kellel puudub otsene ligipääs klassiruumikontekstile (Takahashi, 2022).

Soovitus 6: määra järgmise Ehita-Mõõda-Õpi tsükli hüpotees enne praeguse versiooni avaldamist

Ries (2011) väidab, et iduettevõtte stardirada ei ole mitte järelejäänud kapital, vaid järelejäänud Ehita-Mõõda-Õpi tsüklite arv. Iga tsükel peaks algama selgesõnalise hüpoteesiga – ennustusega kasutajakäitumise kohta, mida järgmine versioon testib. (Ries, 2011) Kui eelmääratletud hüpoteesi ei ole, tekitavad avaldamisjärgsed andmed küll vaatlusi, kuid mitte valideeritud õppimist; arendaja näeb, mis juhtus, kuid ei saa seda usaldusväärselt konkreetsetele tooteotsustele omistada. Praktiline soovitus on hoida hüpoteeside backlog'i: (Shepherd & Gruber, 2021) prioriseeritud nimekirja falsifitseeritavatest kasutajakäitumise ennustustest, millest igaüks on seotud konkreetse disainiotsusega, mis saab selle kinnitada või ümber lükata. Eesti iduettevõtte 99math illustreerib seda tsükli-distsipliini ettevõtte skaalal: CEO Tõnis Kusmin kirjeldab meeskonna tööritmi kui „*super lean ... with quite fast shipping and learning cycles*”, kus iga klassiruumis kasutatava mitmikmängija toote iteratsiooni käsitletakse hüpoteesitena – „*we are learning so much every time we come back, we have a huge list of improvements*” – mitte laiuzele suunatud funktsioonitarnena. Oluline on (Takahashi, 2022), et 99math hoidis seda hüpoteesipõhist

rütmi ka pärast miljoni aktiivse kasutajani jõudmist, mis viitab sellele, et selline distsipliin võib skaleeruda ka üle kõige varasema iduettevõtte faasi.

Soovitus 7: hoidu uute tehete lisamisest enne, kui põhitsükkel on valideeritud. Mänguarenduses on ulatuse laiendamise surve püsiv. Vanemad võivad soovida korrutamist, vanematele lastele võivad põhitehted tunduda liiga lihtsad ning surve lisada kõik neli aritmeetilist tehet enne põhise kaasatuse ja õppimisega seotud hüpoteeside valideerimist võib kujuneda väga tugevaks. Käesoleva töö ulatuseotsus – MVEG piiritlemine liitmise ja lahutamise – peegeldab Lean Startupi põhimõtet, mille kohaselt peaks iga iteratsioon keskenduma piiratud arvule selgelt sõnastatud hüpoteesidele. Ulatuse laiendamine enne põhikontseptsiooni valideerimist mitmekordistab võimalikke seletusi igale täheldatud tulemusele ning muudab seeläbi valideeritud õppimise raskemaks (Ries, 2011). Hirsh-Pasek jt (2015) järeldus, et suur osa kommertslikest haridusrakendustest ei vasta tõenduspõhise disaini kriteeriumidele, kinnitab, et laiuse eelistamine sügavusele on levinud ja kulukas probleem. Seetõttu võib distsipliin hoiduda uute tehete lisamisest enne, kui liitmise ja lahutamise põhitsükkel on valideeritud, kujuneda haridusmängu arenduses oluliseks konkurentsieeliseks.

4.3 Uurimuse piirangud

Käesoleval uurimisel on piirangud, mida tuleb tulemuste tõlgendamisel arvesse võtta. Neid raamib Lincoln ja Guba (1985) usaldusvääruse käsitlus mitte kui uurimiskavandi vigu, vaid kui tingimusi, mille piirides esitatud tõendusmaterjal töö väiteid toetab (Lincoln ja Guba, 1985).

Esimene piirang puudutab ühe juhtumi disaini ja statistilist üldistatavust. Nagu Yin (2018) märgib, on juhtumiuuringu sobiv hindamisstandard analüütiline, mitte statistiline üldistus (Yin, 2018). Käesolevas töös välja pakutud MVEG-kontseptsioon ja kolm Ehita-Mõõda-Õpi tsükli kohandust tuginevad ühe arendaja kogemusele ühe aritmeetikamängu ja ühe turukonteksti puhul. Ehkki analüütiline üldistamine teoreetilistele väidetele on nii legitiimne kui ka eesmärgipärane (Flyvbjerg, 2006), ei ole õigustatud teha väiteid nende tingimuste sageduse või universaalsuse kohta teistes kontekstides ilma mitme juhtumi replikatsioonita.

Teine piirang puudutab praktik-uuriija kahest rollist koosnevat positsiooni. Sama isik, kes mängu ehitab, analüüsis ka selle arendusprotsessi, mis loob kinnituskallutatuse võimaluse. Seda riski leevendab kolmandas peatükis kirjeldatud andmestruktuur: järeldusi käsitletakse tugevana üksnes siis, kui neid kinnitavad vähemalt kaks sõltumatut andmeallikat, ning arenduspäevikus dokumenteeritakse ümberlukkavat tõendusmaterjali sama rangelt kui kinnitavat. Schöni (1983)

reflektiivse praktika raamistik pakub teoreetilise aluse käsitleda seda rolli mitte uurimust „saastava” tegurina, vaid eristuva teadmise allikana tingimusel, et seda saadab süstemaatiline refleksiivsus, mida arenduspäevik kogu töö vältel dokumenteerib (Schön, 1983).

Kolmas piirang tuleneb käitumuslike asendusmõõdikute kasutamisest õpitulemuste otsese mõõtmise asemel. Eel- ja järelmõõtmiste, kontrollrühmade ning formaalse õpitulemuste hindamise puudumine tähendab, et väited haridusliku tõhususe kohta tuleb paratamatult sõnastada kui „koosõlas tõendusmaterjaliga”, mitte kui „tõendusmaterjaliga tõestatud”. Alonso-Fernández jt (2019) tunnistavad seda piirangut Game Learning Analyticsi valdkonna struktuurse tingimusena. Asjakohane vastus ei ole seda piirangut varjata, vaid täpsustada rangelt, mida tõendusmaterjal toetab ja mida mitte: käitumuslik andmestik võib olla konkreetsete õppimishüpooteesidega koosõlas või nendega vastuolus, kuid ei kujuta endast nende lõplikku tõestust ega ümberlükkamist.

Neljas piirang tuleneb otsese laste vaatlemise puudumisest. Linåker jt (2025) peavad kvalitatiivset vaatlusandmestikku avaldamiseelse eksperimenteerimise keskseks allikaks mängude puhul (Linåker jt, 2025), ning Habgood ja Ainsworth (2011) kogusid oma kõige määravama tõendusmaterjali struktureeritud lastega toimunud sessioonide kaudu (Habgood & Ainsworth, 2011). Käesolevas uurimuses piiras otsese lastega vaatluse võimalust üksikarendaja magistritöö eetiline ja praktiline raamistik. Vanemate rakendusepoodide arvustused võiksid pakkuda tulevikus osalist asendust, kuid ei saa asendada otsest käitumuslikku vaatlust mängimise hetkel.

Kuues, käesoleva töö ümbertöötamisest tulenev piirang puudutab empiirilist ulatust: uurimus katab Ehita-Mõõda-Õpi tsükli empiirilisel Ehita-faasi (arendusprotsess kuni avaldamisvalmiduseni) ja Mõõda-faasi ettevalmistuse (analüütikaarhitektuuri disain), kuid ei sisalda avaldamisjärgset andmekogumist ega Õpi-faasi empiirilist läbiviimist. Õpi-faasi otsustusraamistik (punkt 5.6) on sõnastatud teoreetilis-praktilise panusena, mitte empiirilisel valideeritud tulemusena. See tähendab, et otsustustabeli nelja stsenaariumi praktilise rakendatavuse hindamine jääb tulevaste uurimuste ülesandeks.

4.4 Tulevased uurimissuunad

Eespool kirjeldatud piirangud koos teises peatükis tuvastatud teoreetiliste lünkadega loovad uurimisagenda, mis koondub kuue prioriteedi ümber. Esimene ja kõige vahetum suund tuleneb käesoleva töö empiirilise ulatuse piirangutest: Mõõda- ja Õpi-faasi empiiriline läbiviimine. Kui avaldamisjärgsed andmed kogunevad, saab punktis 5.6 sõnastatud otsustustabelit testida

reaalsete mõõdikute vastu, hinnates nii selle praktilist rakendatavust kui ka nelja stsenaariumi eristusvõimet. Ülejäänud suunad on järgmised.

Esimene prioriteet on MVEG-kontseptsiooni valideerimine mitme juhtumi kaudu. Kõige pakilisem vajadus on replitseerida MVEG-raamistikku mitmes haridusmängu arendusprojekti, kasutades Yini (2018) replikatsiooniloogikat (Yin, 2018). Nelja kuni kuue juhtumi hõlmav uurimus, mis kataks erinevaid haridusvaldkondi, vanuserühmi ja mängužanre, võimaldaks testida, kas MVEG-i eeltingimus ja kaks eristuvat mõõdet on universaalsed haridusmängude arenduse jaoks või spetsiifilised aritmeetilise lõputu jooksumäng'i kontekstile. Eisenhardt (1989) soovitab tugevaks teorialoomiseks nelja kuni kümnet juhtumit (Eisenhardt, 1989). Maksimaalse teoreetilise kontrasti järgi valitud juhud võimaldaksid sellist replikatsiooni, mis viiks MVEG-mõiste kontseptuaalsest eelkäijast teoreetilise konstrukti staatuseni.

Teine prioriteet on luua spetsiaalselt laste haridusmängude jaoks hoidmismäärade võrdlusväärtused. Süsteemne uurimus, mis keskenduks hariduslike mobiilmängude hoidmismääradele ja kaasatusmustritele laiemas vanuserühmas kui käesolev töö näiteks 4–12-aastaste laste puhul, aitaks täita punktis 6.1.3 kirjeldatud lünga. Nende võrdlusväärtuste puudumine sunnib praegu arendajaid võrdlema end kas üldiste mängude võrdlusväärtuste või üldiste haridusrakenduste võrdlusväärtustega, millest kumbki ei arvesta vanemliku vahendamise, struktureeritud ekraaniaja ega vanusevahemiku arengulise varieeruvuse tekitatud eripärasid. Sellise andmestiku loomine eeldaks mitme haridusmängu ettevõtte osalust, kes oleksid valmis jagama anonüümset analüütikaandmestikku –konsortsiumimudelit, mis sarnaneb GameAnalyticsi võrdlusaruande tootmise loogikaga.

Kolmas prioriteet on randomiseeritud kontrolluuringud, mis hindavad MVEG-põhiselt kujundatud mängude õpitulemusi. Käesolevas töös dokumenteeritud käitumuslikud asendumõõdikud loovad tingimused, mis on õppimisega kooskõlas, kuid ei mõõda õppimist otseselt. Järgmine samm oleks randomiseeritud kontrollkatse, milles lapsed jaotatakse MVEG-põhiselt kujundatud mängu, standardse edutainment-rakenduse ja sekkumiseta kontrolltingimuse vahel ning mille raames viiakse läbi eel- ja järelmõõtmine aritmeetilise pädevuse hindamiseks. Outhwaite jt (2019) randomiseeritud kontrollkatse meetodika pakub selleks sobiva mudeli (Outhwaite jt, 2019) ning selline uuring annaks kõige otsesema empiirilise kinnituse käesoleva töö kesksetele haridusdisaini väidetele.

Neljas prioriteet on tehisintellekti abil toetatud arenduse uurimine Lean Startup tsüklis. Käesolev magistr töö kasutas Claude Code'i kogu Ehita-faasi vältel AI-põhise koodiabilahendusena ning käsitles seda Lean-tööriistana, mis aitab Ehita-faasi kokku suruda (Ries, 2011). Seni puudub empiiriline uurimus selle kohta, kuidas AI-kooditugi mõjutab valideeritud õppimise kvaliteeti Lean Startup tsüklites täpsemalt, kas AI-tugi võimaldab fikseeritud aja jooksul rohkem lõpule viidud Ehita-Mõõda-Õpi tsükleid või vähem, ning kas hüpoteeside sõnastamise kvaliteet muutub, kui koodi genereerimine kiireneb. Võrdlev uurimus, mis analüüsiks tehisintellekti toega ja ilma tehisintellekti toeta arendusmeeskondi võrreldavates haridusmänguprojektides, täidaks selle lünga ja panustaks alles kujunevasse AI-toega arendusmetodoloogias kirjandusse.

4.5 Lõppmärkused

Käesolev magistr töö lähtus küsimusest, millele akadeemiline kirjandus ei olnud varem vastanud: kuidas toimib Lean Startup meetodika siis, kui seda rakendatakse lastele mõeldud haridusliku mobiilimängu arendusele, ning mida sellest rakendusest õppida on võimalik? Vastus ei ole ei see, et Lean Startup toimib selles kontekstis otsejooneliselt, ega see, et see ebaõnnestub; pigem on vastus see, et see toimib, kuid nõuab kohandusi, mida olemasolev teooria ei ennusta ning mille praktik peab ise avastama ja dokumenteerima.

Sellest protsessist esile kerkinud minimaalselt elujõulise haridusmängu kontseptsioon on töö kõige olulisem panus. See lahendab tegeliku pinget Lean Startupi minimaalse ulatuse surve (Ries, 2011) ja haridusmängu disaini sisulise piisavuse nõude vahel (Habgood & Ainsworth, 2011), määratledes elujõulisuse ümber nii, et hariduslik terviklikkus muutub tehnilise toimivuse ja piisava kaasatuse kõrval mitteloovutatavaks tingimuseks. Seda kontseptsiooni esitatakse Gioia jt (2013) mõttes kontseptuaalse eelkäijana teoreetiliselt põhjendatud ja empiiriliselt illustreeritud lähtepunktina edasiseks uurimistööks, mitte lõpliku konstruktiona (Gioia jt, 2013), tunnistades sõnaselgelt, et selle valideerimine mitmes juhtumis on kõige pakilisem punkt uurimisagenda sees, mille see töö ise genereerib (Siggelkow, 2007).

Eesti ja Põhjamaade haridustehnoloogia ökosüsteem pakub sellele tööle sobivat konteksti. Sellised ettevõtted nagu 99math, ALPA Kids ja DragonBox on näidanud, et ka väike turg võib luua globaalselt mõjukaid haridusmängulisi tooteid just seda tüüpi lean-, iteratiivse ja kasutajakeskse arenduse kaudu, mida käesolev magistr töö uurib. Tallinna Ülikooli digitaalsete õpimängude õppekava, Tallinna Tehnikaülikooli mänguarenduse tööde ning Tartu Ülikooli

akadeemiline taristu loob institutsionaalse aluse edasiseks uurimistööks, mis saab seda kontseptuaalset panust edasi arendada. Käesolev töö pakub end panusena mõlemasse traditsiooni, nii haridusmängude arenduse akadeemilisse uurimisse kui ka Lean Startup metoodika praktilisse rakendamisse loominguliste toodete puhul – lootuses, et see muudab järgmise lastele mõeldud haridusmängu veidi tõenäolisemalt selliseks, mis mitte ainult ei meelelahuta, vaid ka õpetab.

Kokkuvõte

Laste hariduslike mobiilmängude turg on viimase kümnendi jooksul plahvatuslikult laienenud, ent empiirilised uuringud näitavad, et see kasv ei ole toonud kaasa vastavat haridusliku kvaliteedi paranemist. Enamik pakutavaid rakendusi ei lähtu tõenduspõhisest õpdisainist ning vastutustundliku haridusmängu loomine on jäänud spetsialiseerunud arendajate kätte. Samaaegselt on mobiilmängude tehniline arendamine muutunud kättesaadavamaks: vabade mootorite, valmisvarade (*assets*) ja analüütikatööriistade tõttu suudavad üksikarendajad rakendada sama metoodikat, mida kasutavad suured stuudiod. Need kaks arengut: nõudlus kvaliteetsemate haridusmängude järele ning lean-tüüpi arendusmetoodikate levik loovad võimaluse tuua Lean Startup metoodika haridusmängude maailma, kus see ei ole siiani süstemaatiliselt rakendust leidnud. Avaldatud kirjandus ei paku ühtegi uurimust, mis ühendaks Lean Startup metoodika, haridusmängude disainiprintsiibid ja dokumenteeritud juhtumiuuringu üheks terviklikuks raamistikuks.

Käesoleva magistr töö eesmärk oli määratleda ja rakendada minimaalselt elujõulise haridusmängu (*Minimum Viable Educational Game, MVEG*) kontseptsioon, mis ühendab Lean Startup iteratiivse õppimise loogika haridusmängude elujõulisuse kriteeriumidega, ning dokumenteerida selle rakendamine üksikarendaja kontekstis loodud 2D endless-runner tüüpi aritmeetikamängu Numbrijooks arendusprotsessis. Eesmärgi saavutamiseks püstitati kolm uurimisülesannet: MVEG-raamistiku sünteesimine kirjanduse põhjal (UÜ1), raamistiku rakendamise dokumenteerimine koos metodoloogilise põhjendusega (UÜ2) ning Õpi-faasi mõõtmisarhitektuuri kavandamine koos metodoloogiliste järeldustega (UÜ3).

Teoreetilises osas süstematiseeriti MVP-mõiste käsitlused kirjanduses ja näidati, et Ries'i algset „minimaalse pingutuse“ definitsiooni on autorid erinevalt tõlgendanud ning see killustumine on haridusmängu kontekstis sisuline probleem. Mängu minimaalsus ei saa tähendada ainult tehnilist nappust, sest haridusliku väärtuse tekkimine eeldab piisavat mehhaanilist sügavust, tagasiside selgust ja õpisisu sobivust sihtrühmaga. Tuletati haridusmängu elujõulisuse kriteeriumid, mille aluseks on kolm täiendavat teoreetilist liini: Habgoodi ja Ainsworthi sisemise integratsiooni põhimõte (õpisisu peab olema põimitud mängu mehhaanikasse), Sweetseri ja Wyethi GameFlow vooteooria (mäng peab võimaldama tasakaalustatud väljakutset, selget tagasisidet ja keskendumist) ning Deci ja Ryani enesemääramise teooria kolm põhivajadust (autonoomia, kompetents ja seotus). Nende kolme raamistiku sünteesist konstrueeriti MVEG-

raamistik, mis defineerib haridusmängu elujõulisust kahel paralleelsel teljel – toote (kasutaja naudib mängu piisavalt, et pöörduda selle juurde tagasi) ja hariduslikul (mäng õpetab dokumenteeritavalt oma sihtvaldkonnas). MVEG ei asenda MVP-d, vaid paneb selle haridusmängu konteksti, lisades hariduslikud elujõulisuse kriteeriumid tootealastele.

Empiiriline osa põhines ühe juhtumi instrumentaalsel juhtumiuuringu disainil, kus uuritavaks juhtumiks oli Numbrijooksu avaldamiseelne arendustsükkel. Valik põhineb argumendil, et Lean Startupi süsteemset rakendamist üksikarendaja loodud haridusmängus ei ole varem dokumenteeritud. Andmekogumine toimus kolme paralleelse voo kaudu: kogu projekti vältel peetav struktureeritud arenduspäevik, tehnilised artefaktid (koodibaasi muudatused, analüütikaseadistused, prototüüpide versioonid) ning kavandatud mõõtmisarhitektuuri spetsifikatsioon. Andmete analüüs tugines temaatilisele kodeerimisele ja mustrite sobitamisele teoreetilise raamistikuga, võttes selgesõnaliselt arvesse uurija-arendaja kaksikrolli põhjustatud refleksiivsuse nõuded. Ühe juhtumi välise valiidsuse piirangud, uurija-arendaja subjektiivsus ning mängu avaldamiseelne seis kaalutleti juba disainiotsustes ja tuuakse tulemuste tõlgendamisel selgelt esile.

Juhtumiuuringu Ehita- ja Mõõda-faas dokumenteeris MVEG-raamistiku rakendamise kolme konkreetse arendusotsuse kaudu: aritmeetikaga integreeritud lõputu jooksumängu (*endless-runner*) mehhaanika valik õpisisu mängumehhaanikasse põimimise põhimõttel, adaptiivse raskusastme süsteemi projekteerimine kompetentsivajaduse toetamiseks ning mõõtmisarhitektuuri kavandamine Day 1, Day 7 ja Day 28 hoidmismäärade, sessiooni pikkuse, DAU/MAU suhte ning haridusliku kaasatuse mõõdikute (küsimuste lõpetamise määr, vastuste täpsus) jälgimiseks. Arendus tugines *Unity asset store'i* alusmallidele (*More Mountains' Corgi Engine*) infrastruktuurina, mis võimaldas keskenduda haridusliku sisu integreerimisele, mitte alustehnoloogia loomisele –valik, mis omakorda muutis „minimaalsuse“ tähendust võrreldes klassikalise MVP-ga.

Õpi-faasi osas esitas töö eraldi teoreetilise otsustusraamistiku. Kuna töö empiiriline ulatus oli piiritletud avaldamisvalmidusega, ei kogutud tegelikke kasutajate andmeid – kavandati mõõtmisarhitektuur, mille põhjal avaldamisjärgselt otsustatakse pöörde-või-jätkamise (*pivot-or-persevere*). Töö panustab siin kahel viisil: esiteks esitati otsustustabel, mis seob hoidmismäärade ja haridusliku kaasatuse mõõdikute kombinatsioonid nelja stsenaariumiga: jätkamine, toote pööre, hariduslik pööre, projekti lõpetamine (*persevere, product pivot, educational pivot, kill*).

Kokkuvõttes näitab magistritöö, et Lean Startup metoodika on haridusmängude kontekstis rakendatav, kui selle tuumloogikat täiendatakse hariduslike elujõulisuse kriteeriumide, hariduslike moodsuste ja konteksti arvestava Õpi-faasi otsustusraamistikuga. MVEG-raamistik pakub üksikarendajatest uurijatele, haridustehnoloogia ettevõtjatele ja haridusmängude disaineritele kontseptuaalse ja metoodilise lähtekoha, mille abil luua haridusmänge, mis ei ole pelgalt kaasahaaravad, vaid ka mõõdetavalt tõhusad laste õppimise toetamisel.

Viidatud allikad

1. Alonso-Fernández, C., Calvo-Morata, A., Freire, M., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjón, B. (2019). Applications of data science to game learning analytics data: A systematic literature review. *Computers & Education*, 141, Article 103612. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103612>
2. Atika. (2025). *Kirjandusülevaade 15 uurimusest 2021–2025*.
3. Barba Guamán, L. R., Neira, E. L., & González Eras, A. A. (2019). MateBrun: Serious game as a strategy to teach basic arithmetic operations for six-year-old children. *Proceedings of the IX Latin American Conference on Human-Computer Interaction* (lk 330–339).
4. Bilokon, O. jt (2023). Teaching game development using Unity game engine. *Frontiers in Education*, 8, Article 1148017.
5. Boeira, J. N. R. (2017). *Lean game development: Apply lean frameworks to the process of game development* (1. tr). Berkeley, CA: Apress.
6. Boeira, J. N. R. (2024). *Lean game development: Apply lean frameworks to the process of game development* (2. tr). Berkeley, CA: Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9843-5>
7. Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2
8. Business of Apps. (kuupäev puudub). *Education app market data*. Loetud aadressil <https://www.businessofapps.com/data/education-app-market/>
9. Chang, H. (2008). *Autoethnography as method*. New York, NY: Routledge.
10. Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177–198.
11. Collins, A. (1992). Toward a design science of education. E. Scanlon & T. O'Shea (toim), *New Directions in Educational Technology* (NATO ASI Series, 96. kd, lk 15–22). Springer-Verlag.
12. Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York, NY: Harper & Row.
13. DataHorizon Research. (2023). *Children educational game market: Global market size, share, growth, trends, statistics analysis report, by region, and segment forecasts 2025–*

- 2033 (Raport nr 46691). Loetud aadressil <https://datahorizonresearch.com/toc/children-educational-game-market-46691>
14. Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
<https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
 15. e-Estonia. (2023). *ALPA Kids*. Loetud aadressil <https://e-estonia.com/solutions/alpa-kids/>
 16. EdTechReview. (2020, jaanuar). *Estonian EdTech startup 99math raises \$500k*. EdTechReview.
 17. EdTechReview. (2021, august). *Estonia-based EdTech 99math raises \$1M*. EdTechReview.
 18. Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>
 19. Ellis, C., Adams, T. E., & Bochner, A. P. (2011). Autoethnography: An overview. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 12(1).
 20. Felin, T., Gambardella, A., Stern, S., & Zenger, T. (2020). Lean startup and the business model: Experimentation revisited. *Long Range Planning*, 53(4), Article 101889.
<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.06.002>
 21. Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219–245.
 22. GameAnalytics. (2025). *2025 mobile gaming benchmarks*. Loetud aadressil <https://www.gameanalytics.com/reports/2025-mobile-gaming-benchmarks>
 23. Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1), 15–31.
 24. Habgood, M. P. J., & Ainsworth, S. E. (2011). Motivating children to learn effectively: Exploring the value of intrinsic integration in educational games. *The Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 169–206.
 25. Hemmi, K., Bråting, K., & Lepik, M. (2021). Curricular approaches to algebra in Estonia, Finland and Sweden: A comparative study. *Mathematical Thinking and Learning*, 23(1), 49–71.
 26. Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in "educational" apps: Lessons from the science of learning.

- Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3–34.
<https://doi.org/10.1177/1529100615569721>
27. Hyrynsalmi, S., Klotins, E., Unterkalmsteiner, M., Gorschek, T., Tripathi, N., Pompermaier, L. B., & Prikładnicki, R. (2018). What is a minimum viable (video) game? Towards a research agenda. *Lecture Notes in Computer Science*, 11195, 217–231.
28. Information Commissioner’s Office. (2020). *Age appropriate design: A code of practice for online services*. Wilmslow, UK: ICO.
29. Järvalt, T. (2025). *Digitaalne õppemäng I kooliastme õpilastele klassikaliste mõistatuste lahendamisoskuse arendamiseks* [Magistritöö, Tartu Ülikool, Haridusteaduste Instituut].
<https://hdl.handle.net/10062/106915>
30. Klinkenberg, S., Straatemeier, M., & van der Maas, H. L. J. (2011). Computer adaptive practice of maths ability using a new item response model for on the fly ability and difficulty estimation. *Computers & Education*, 57(2), 1813–1824.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.02.003>
31. Koobas, L. (2025). *Laste kaasatus ja lahendusviisid digitaalses ja traditsioonilistes õppemängudes* [Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool]. <https://dspace.ut.ee/items/477c2774-b83b-4165-96cd-f832d564e987>
32. Lenarduzzi, V., & Taibi, D. (2016). MVP explained: A systematic mapping study on the definitions of minimal viable product. *Proceedings of the 42nd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* (lk 112–119). Limassol: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/SEAA.2016.56>
33. Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: SAGE Publications.
34. Linåker, J., Bjarnason, E., & Fagerholm, F. (2025). Pre-release experimentation in indie game development: An interview survey. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 539, 293–308. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85849-9_24
35. Livingstone, S., Ólafsson, K., Helsper, E. J., Lupiañez-Villanueva, F., Veltri, G. A., & Folkvord, F. (2017). Maximizing opportunities and minimizing risks for children online: The role of digital skills in emerging strategies of parental mediation. *Journal of Communication*, 67(1), 82–105. <https://doi.org/10.1111/jcom.12277>

36. Liu, F. (2018). Design for kids based on their stage of physical development. *Nielsen Norman Group*. <https://www.nngroup.com/articles/children-ux-physical-development/>
37. Maurya, A. (2012). *Running lean: Iterate from plan A to a plan that works* (2. tr). Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
38. Merton, R. K. (1968). *Social theory and social structure* (laiendatud tr). New York, NY: The Free Press.
39. Meyer, M., Zosh, J. M., McLaren, C., Robb, M., McCafferty, H., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., & Radesky, J. (2021). How educational are "educational" apps for young children? App store content analysis using the four pillars of learning framework. *Journal of Children and Media*, 15(4), 526–548.
40. Moon, J. A. (2006). *Learning journals: A handbook for reflective practice and professional development* (2. tr). London: Routledge.
41. Niemiec, C. P., & Ryan, R. M. (2009). Autonomy, competence, and relatedness in the classroom: Applying self-determination theory to educational practice. *Theory and Research in Education*, 7(2), 133–144. <https://doi.org/10.1177/1477878509104318>
42. Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
43. Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps: A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 284–298.
44. Papoušek, J., Pelánek, R., & Stanislav, V. (2014). *Adaptive practice of facts in domains with varied prior knowledge*.
45. Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77.
46. Pelánek, R. (2016). Applications of the Elo rating system in adaptive educational systems. *Computers & Education*, 98, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.017>
47. Petrillo, F., Pimenta, M., Trindade, F., & Dietrich, C. (2009). What went wrong? A survey of problems in game development. *ACM Computers in Entertainment*, 7(1), Article 13, 1–22. <https://doi.org/10.1145/1486508.1486521>

48. Politowski, C., Petrillo, F., Ullmann, G. C., & Guéhéneuc, Y.-G. (2021). Game industry problems: An extensive analysis of the gray literature. *Information and Software Technology*, 134, Article 106538. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106538>
49. Rancic Moogk, D. (2012). Minimum viable product and the importance of experimentation in technology startups. *Technology Innovation Management Review*, 2(3), 23–26. <https://timreview.ca/article/535>
50. Resnik, D. B., & Hosseini, M. (2025). Disclosing AI use in scientific research. *Accountability in Research*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/08989621.2025.2481949>
51. Ries, E. (2009, 3. august). *Minimum viable product: A guide* [ajaveebipostitus]. Startup Lessons Learned. Loetud aadressil <http://www.startuplessonslearned.com/2009/08/minimum-viable-product-guide.html>
52. Ries, E. (2011). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. New York, NY: Crown Business.
53. Robinson, F. (2001). *A proven methodology to maximize return on risk*.
54. Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 14, 131–164. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8>
55. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
56. Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games: A self-determination theory approach. *Motivation and Emotion*, 30(4), 344–360. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9051-8>
57. Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York, NY: Basic Books.
58. Shepherd, D. A., & Gruber, M. (2021). The lean startup framework: Closing the academic–practitioner divide. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 45(5), 967–998. <https://doi.org/10.1177/1042258719899415>
59. Shoukry, L., Sturm, C., & Galal-Edeen, G. H. (2015). Pre-MEGa: A proposed framework for the design and evaluation of preschoolers' mobile educational games. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 313, 385–400.

60. Shute, V. J., & Ventura, M. (2013). *Stealth assessment: Measuring and supporting learning in video games*. Cambridge, MA: MIT Press.
61. Siggelkow, N. (2007). Persuasion with case studies. *Academy of Management Journal*, 50(1), 20–24. <https://doi.org/10.5465/amj.2007.24160882>
62. SlashData. (2024). *60% of game developers use game engines* [ajaveebipostitus]. SlashData Blog.
63. Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
64. Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. *ACM Computers in Entertainment*, 3(3), Article 3A. <https://doi.org/10.1145/1077246.1077253>
65. Takahashi, D. (2022, 16. märts). Unity report: Number of games made with Unity grew 93% in 2021. *VentureBeat*. <https://venturebeat.com/games/unity-report-number-of-games-made-with-unity-grew-93-in-2021/>
66. TechCrunch. (2019, 8. mai). *Educational gaming platform Kahoot acquires math app maker DragonBox for \$18M*. TechCrunch.
67. Tokac, U., Novak, E., & Thompson, C. G. (2019). Effects of game-based learning on students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 407–420.
68. Unity Technologies. (2024). *Unity plans & pricing*. Loetud aadressil <https://unity.com/products/pricing>
69. Unity Technologies. (2025). *Unity pricing updates*. <https://unity.com/products/pricing-updates>
70. VentureBeat. (2022, juuli). *99math raises \$2.1M to make teaching and learning math fun*. VentureBeat/GamesBeat.
71. Videnovik, M., Vold, T., König, L., Madevska Bogdanova, A., & Trajkovik, V. (2023). Game-based learning in computer science education: A scoping literature review. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 54.
72. Xie, T., Zimmermann, T., & van Deursen, A. (2013). Introduction to the special issue on mining software repositories. *Empirical Software Engineering*, 18, 1043–1046. <https://doi.org/10.1007/s10664-013-9273-9>

73. Yaman, S., Mikkonen, T., & Suomela, R. (2018). Continuous experimentation in mobile game development. *Proceedings of the 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* (1k 345–352). Prague: IEEE.
74. Yaremenko, H. (2023). *The uncertainties of digital learning games use in teaching young children (by the immersion method): The case of ALPA Kids* [Magistritöö, Tartu Ülikool, Haridusteaduste Instituut]. <https://dspace.ut.ee/>
75. Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6. tr). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

LISAD

Lisa 1. Unity kui haridusmängu arendusplatvorm

Unity Technologies'i mängumootor on kujunenud üheks enim kasutatavaks platvormiks mobiilsete ja hariduslike mängude arendamisel (SlashData, 2024). SlashData (2024) kohaselt kasutab Unity't peamise mootorina 38% mänguarendajatest; mobiilmängude vallas on positsioon veelgi tugevam (Unity Technologies, 2025). Serious games'i sektoris kinnitavad võrdlevad analüüsid Unity domineerimist 2D mobiilsete lahenduste vallas.

Käesoleva projekti puhul rääkisid Unity kasuks kolm praktilist tegurit. Esiteks platvormiülene juurutamine: ühest koodibaasist saab avaldada nii iOS-is kui Androidis, mis on strateegiliselt oluline, sest peamised sihtplatvormid hõlmavad mõlemat mobiilset operatsioonisüsteemi. Teiseks C# programmeerimiskeel ja Unity Asset Store'i ökosüsteem, mis pakuvad madalamat sisenemisbarjääri ja ligipääsu valmiskomponentidele –sprite'idele, animatsioonidele, kasutajaliidese elementidele ja terviklikele projektimallidele. (Boeira, 2024) Kolmandaks Unity Personal tasuta litsents üksikisikutele, kelle aastakäive ei ületa 200 000 dollarit. (Unity Technologies, 2024)

Lean-metoodika seisukohalt on olulised Unity sisseehitatud analüütika- ja eksperimenteerimisvahendid. Unity Analytics võimaldab jälgida päeva- ja kuupõhiseid aktiivseid kasutajaid, sessioonide arvu ja hoidmiskõveraid ning koguda kohandatud sündmusi mänguspetsiifiliste käitumiste mõõtmiseks. Unity Remote Config võimaldab muuta mängu parameetreid ilma uut versiooni levitamata, mis toetab avaldamisjärgset eksperimenteerimist. Need võimekused haakuvad otseselt Riesi innovatsiooniarvestuse raamistikuga. (Ries, 2011)

Mitmed uuringud kinnitavad Unity sobivust haridusmängude platvormina. Barba Guamá (Guamán jt, 2019), Neira ja González Eras ehtasid Unity mootoril MateBrun'i –liitmist ja lahutamist õpetava tõsimängu kuueaastastele lastele. Bilokon jt (2023) leidsid, et ligikaudu 90% osalenud õpilastest pidas Unity platvormil loodud mängupõhist õppimisviisi kasulikuks. Atika (2025) kirjandusülevaade leidis, et Unity oli enim kasutatud arendusplatvorm algkooli haridusmängude hulgas. (Atika, 2025) (Bilokon jt, 2023)

Käesoleva projekti seisukohalt on eriti oluline kvaliteetsete mängumallide olemasolu Unity Asset Store'is. Näiteks pakub *Infinite Runner Engine (More Mountains)* valmis arhitektuuri lõputu jooksumäng mängude jaoks. Valmis mallide kasutamine MVP arenduse alusena on kooskõlas

Lean-mõtlemise põhimõtetega: taaskasutades valideeritud komponente saab arendustöö koondada toote uudsetele aspektidele. Boeira soovib seda lähenemist otsesõnu (Boeira, 2024, lk 192) (Boeira, 2024, lk 187–192).

Lisa 2. Õpi-faasi mõõtmisarhitektuur ja kavandatud tulemused

Hoidismäära tulemused ja võrdlusandmed

Hoidismäärade analüüs eeldab avaldamisjärgset kasutajaandmestikku, mida Unity Analytics on instrumenteeritud koguma. Analüüsi aluseks võetava kasutajabaasi suurus sõltub paigalduste arvust, mille põhjal hoidmiskohordid arvutatakse.

Lastele suunatud haridusmängu hoidismäärade tõlgendamine eeldab nende paigutamist kahe eraldi võrdlusraamistiku taustale: üldine mobiilmängude võrdlusgrupp ning haridusrakenduste võrdlusgrupp. Üldine mobiilmängude võrdlus peegeldab valdavalt täiskasvanutele suunatud meelelahutusmänge, mis erinevad laste hariduslikust tootest mitmes olulisel mõõtmel. Vanemate poolt reguleeritud ekraaniaeg võib näiteks tekitada sessioonilõppe, mis ei pruugi peegeldada lapse huvi kadumist toote vastu. Livingstone jt (2017) kirjeldavad kolme vanemliku vahendamise strateegiat – aktiivne vahendamine, piirav vahendamine ja võimaldav vahendamine, mis mõjutavad otseselt neid kasutusmustreid, mida mobiilianalüütika salvestab. Eriti piirav vahendamine loob sessioonisagedusele ja sessiooni pikkusele ülempiiri, mida mängudisaini sekkumised üksinda ei saa ületada. Seetõttu võib hoidismäärasid käsitleda pigem lapse huvi konservatiivse hinnanguna kui kaasatuse kvaliteedi otsese mõõdikuna.

Haridusrakenduste võrdlusgrupp pakub selles mõttes sobivamat tausta. Alchemeri/Apptentive'i (2021) aruanne, mis tugines 1000 rakenduse ja üle miljardi paigalduse andmestikule, näitas, et haridusrakenduste 90-päeva hoidismäär oli 27% ning aastane hoidismäär 4%, mis mõlemad jäid oluliselt alla üldise rakendusturu keskmise. Need näitajad viitavad sellele, et haridusrakenduste kategooriat iseloomustab üldiselt nõrgem pikaajaline kasutajasidusus kui meelelahutusrakendusi.

Tabel 5.1 esitab võrdlusraamistiku, mille suhtes avaldamisjärgseid hoidismäärasid hinnatakse. Veerus „Käesolev uurimus” olevad väärtused on jäetud tühjaks, sest nende täitmine eeldab avaldamisjärgset andmestikku. Mobiilmängude võrdlusväärtused pärinevad GameAnalyticsi 2025. aasta aruandest, mis tugineb 11 600 mobiilmängu ja 1,48 miljardi kuise aktiivse kasutaja andmestikule (jaanuar–detsember 2024). Haridusrakenduste võrdlusväärtused

pärinevad AppsFlyeri (2024) kvartalipõhiselt uuendatavast võrdlusandmestikust. (AppsFlyer, 2024)

Lisa 2 Tabel 1. Võrdlusraamistik hoidmismäärade ja kaasatusmõõdikute hindamiseks

Mõõdik	Käesolev uurimus	GA mediaan 2025	GA ülemine kvartiil	Haridusrakendused
D1 hoidmismäär	–	~20–22% ¹	26–28%	~14–15% ²
D7 hoidmismäär	–	3,4–3,9%	7–8%	~3–4% ²
D28 hoidmismäär	–	~1–1,5% ³	≥3% ⁴	~2% ²
Keskmine sessiooni pikkus	–	3–5 min ⁵	8–9 min	N/A
DAU/MAU suhe	–	—	20–30%	~10–15% ²

Allikas: autori koostatud *GameAnalytics* (2025) ja *AppsFlyer* (2024) põhjal.

Allikad: *GameAnalytics* (2025); *AppsFlyer* (2024); *Alchemer/Apptentive* (2021). (*Apptentive*, 2021) (*AppsFlyer*, 2024) (*GameAnalytics*, 2025, lk 7–10)

Sessiooni pikkuse ja DAU/MAU suhte analüüs

Avaldamisjärgselt on kavandatud analüüsida sessiooni pikkuse jaotust ning DAU/MAU (*Daily Active Users / Monthly Active Users*) suhet avaldamisjärgses faasis. Analüüsi eesmärk oleks hinnata, kas sessioonipikkused jäävad 6–10-aastaste laste puhul eeldatavasse 5–15 minuti vahemikku. Eraldi uuritakse, kas esineb tõendeid sessioonide katkemise kohta sarnastel ajapunktidel, mis viitaksid pigem vanemate seatud ajapiirangule kui lapse enda initsiatiivil tekkinud (*Livingstone jt*, 2017) loobumisele. Samuti hinnatakse, kas DAU/MAU suhe viitab harjumuspärasele kasutusmustrile, mis on kooskõlas haridusliku kasutusrutiini kujunemisega, mitte üksnes episoodilise meelelahutusliku kasutusega.

Neljandas peatükis kirjeldatud haridusliku kaasatuse kohandatud sündmused – eelkõige *question_presented* ja *question_answered* sündmuste paar – annavad käitumusliku andmestiku, mille alusel viiakse läbi õppimise asendusanalüüs. *Alonso-Fernández jt* (2019) näitavad oma *Game Learning Analytics*'i süstemaatilises ülevaates, et mängudest kogutud interaktsiooniandmed hõlmavad peamiselt lõpetamisaegu, üldisi tegevusi ja tulemusi ning et neid andmetüüpe on võimalik rakendada õppimise hindamiseks, mängusisese käitumise uurimiseks ja mängudisaini valideerimiseks. Käesolevas töös kasutatakse sarnast lähenemist, keskendudes kolmele mõõtmistasandile: lõpetamismõõdikud, täpsusmõõdikud ja ajalised mõõdikud.

Küsimuste lõpetamismäär – kogu sessioonide lõikes vastatud küsimuste suhe esitatud küsimustesse – on peamine näitaja selle kohta, kas aritmeetiline integratsioonimehhanism suutis kasutajad kavandatud viisil kaasata. Järjekindlalt üle 80% püsiv määr toetab sisemise

integratsiooni hüpoteesi, sest viitab sellele, et aritmeetika toimis mängu põhimehaanikana, mitte ei jäänud kasutajate poolt ignoreerituks või väldituks (Habgood & Ainsworth, 2011, lk 173). Kui see määr langeb alla selle läve, osutab see sellele, et integratsioonimehhanism ei suuna tähelepanu hariduslikule sisule – see on haridusmängu jaoks kõige fundamentaalsem läbikukkumise vorm ning nõuaks kohest integratsioonilahenduse ümberkujundamist sõltumata ülejäänud kaasatus- või hoidmismõõdikutest.

Avaldamisjärgselt esitatakse siia küsimuste lõpetamismäärad, jaotatuna tehte tüübi, raskusastme ja sessiooninumbri järgi. Kavandatud analüüs keskendub sellele, kas lõpetamismäär muutub varajaste sessioonide (esimesed kaks mängukorda) ja hilisemate sessioonide (viis või enam mängukorda) vahel. Vähenemine aja jooksul võib viidata kas harjumuse kadumisele või liigsele raskuskoormusele; kasv viitab süvenevale kaasatusele.

Sessioonide lõikes muutuv täpsustrajektor pakub käesolevas andmestikus kõige otseemat õppimise käitumuslikku asendusnäitajat. Õigete vastuste osakaalu kasv järjestikuste sessioonide jooksul on kooskõlas aritmeetilise oskuse arenemisega harjutamise tulemusena. Shute ja Ventura (2013) näitavad, et domeenispetsiifilise täpsuse süstemaatiline paranemine mängukogemuse käigus on teoreetiliselt usaldusväärne õppimise indikaator, eeldusel et täpsusmõõdik seotakse selgelt määratletud pädevuskonstruktsiooniga. Käesoleva mängu puhul määratletakse pädevuskonstruktsioon kui suutlikkus hallata konkreetseid mängus esitatud aritmeetilisi tehteid – esialgsel avaldamisel liitmine 10 piires ning kõrgemate raskusastmete korral keerukamad faktid. (Shute & Ventura, 2013)

Täpsustrajektoori analüüs – õigete vastuste osakaalu muutus sessioonide lõikes tehete tüüpide ja raskusastmete kaupa – on kavandatud Mõõda-faasi keskseks haridusliku toimimise näitajaks. Selle analüüsi teostamine eeldab avaldamisjärgset kasutajabaasi ning jääb käesoleva töö empiirilisest ulatusest välja. Teoreetilise ennustuse kohaselt peaks süstemaatiline täpsuse paranemine olema kooskõlas aritmeetilise harjutamise mõjuga, kuigi mängusisene sooritus ei tõesta otseselt väljaspool mängukonteksti avalduvat pädevuse kasvu.

Adaptiivse raskusastme süsteemi toimimine

Neljandas peatükis kirjeldatud Elo-põhine adaptiivse raskusastme süsteem genereerib iseenda kohta analüütilist tõendusmaterjali. Raskusastmel edenemise määr – kiirus, millega süsteem viib üksikkasutajaid järgmistele raskusastmetele – näitab, kas kalibreerimine toimib kavandatud viisil. Pelánek (2016) kirjeldab hariduslikke rakendusi, kus Elo-süsteemi

sihtväärtusena kasutatakse ligikaudu 75% õigete vastuste määra (Papoušek jt, 2014, lk 8–9) – empiirilist tasakaalupunkti, mis vastab lähima arengu tsooni põhimõttele. Käesolev mäng kasutab sama sihtväärtust.

Raskusastmel edenemise analüüs – kiirus, millega Elo-süsteem viib kasutajaid keerukamatele tasanditele, ning võimalike süstemaatiliste valekalibreerimiste tuvastamine – on kavandatud Mõõda-faasi instrumendiks Elo-kalibreerimise toimivuse hindamiseks. See analüüs eeldab avaldamisjärgset andmestikku ning jääb käesoleva töö empiirilisest ulatusest välja. Arenduse käigus valitud konservatiivne K-faktor tagab esialgse stabiilsuse, kuid selle sobivuse lõplik hindamine eeldab tegelike kasutajakohorte.

Haridusliku kaasatuse analüüsi piirangud

Käesolevas peatükis esitatud haridusliku kaasatuse andmed kujutavad endast õppimise käitumuslikku asendustõendusmaterjali, mitte õpitulemuste otsesest mõõtmist. Seda eristust tuleb kogu analüüsi vältel väljendada selgelt ja järjekindlalt. Kolmandas peatükis kirjeldatud piirangud kehtivad siin täiel määral: ilma mängust sõltumatult läbi viidud eel- ja järelmõõtmisteta ei saa täpsuse paranemist lõplikult omistada õppimisele, mitte lihtsalt mängukeskkonnasisesele harjumisele; mängusisene sooritus ei pruugi kanduda üle välistesse aritmeetilistesse olukordadesse (Habgood & Ainsworth, 2011); ning kasutajavalim koosneb enesevalikuliselt neist lastest, kes rakenduse paigaldasid ja seda kasutasid, välistades süsteemselt kogu sihtpopulatsiooni.

Alonso-Fernández jt (2019) märgivad, et Game Learning Analytics'i tõendusmaterjal on tüüpiliselt „kaudne ja asenduspõhine“, mitte õppimist otseselt mõõtev. Seetõttu tuleb kogu selles peatükis järgida tõlgendusreeglit, mille kohaselt käitumuslik andmestik on kas kooskõlas või mitte kooskõlas konkreetsete õppimise hüpoteesidega – mitte et see neid lõplikult tõestaks või ümber lükkaks. Selline raamistik sobitub Riesi (2011) innovatsiooniarvestuse käsitlusega: andmed annavad iteratiivsete disainiotsuste tegemiseks suunavat tõendusmaterjali, mitte kontrollkatsega võrreldavat epistemoloogilist kindlust (Ries, 2011) (Ries, 2011, lk 113–114).

Lisa 3. Lean Startup tsükli hindamine

Neljas peatükk pakkus välja kuus kriteeriumi, mille abil eristada tegelikku Ehita-Mõõda-Õpi iteratsiooni juhuslikest tootemuudatustest. Nendeks olid selgelt sõnastatud hüpoteesid enne ehitamist, eelnevalt määratletud edu- ja ebaõnnestumise kriteeriumid, tegevuslike mõõdikute kasutamine näivmõõdikute asemel, dokumenteeritud pöörde- või-jätkamise otsused, õppimisest

lähtuv käitumuslik muutus ning jälgitavad tagasisideahelad, mis seovad kasutajaandmed disainiotsustega. Käesolev alajaotus rakendab neid kriteeriume tegelikule arendusloole.

Esimese kriteeriumi, selgelt sõnastatud hüpoteeside olemasolu enne ehitamist, puhul on tõendus suhteliselt tugev. Projekti keskne hüpotees oli, et 6–10-aastased lapsed kaasatakse aritmeetilisse harjutamisse tõhusamalt siis, kui matemaatiline otsus on seotud vahetult lõputu jooksumäng'i põhimehaanikaga, mitte eraldiseisva viktoriinivormiga. See hüpotees ei jäänud abstraktseks taustaeelduseks, vaid suunas otseselt MVEG ulatuse määratlemist, integratsioonimehhanismi valikut ning analüütika instrumenteerimist. Samuti ilmnis Ehita-faasis kitsam hüpotees, et sama mehhanism ei pruugi sobida võrdselt kogu 6–10-aastase vanusevahemiku jaoks, mistõttu tuli arvestada sihtrühma arengulise varieeruvusega. Seega võib öelda, et arendus ei alanud lihtsalt „mängu tegemisest“, vaid kontrollitavate oletuste sõnastamisest.

Teise kriteeriumi, eelnevalt määratletud edu- ja ebaõnnestumise kriteeriumide, puhul on tõendus osaline. Ehita-faasis sõnastati küll MVEG jaoks põhimõttelised edukuse tingimused: tehniline toimivus eeltingimusena ning kaks eristuvat mõõdet, mänguline kaasatus ja õppesisu sisemine integratsioon. Samuti määratleti mõõtmisarhitektuuris küsimuste lõpetamismäär, täpsustrajektor, sessioonipikkus ja hoidmismäärad kui hilisemad tõlgendusmõõdikud. Siiski ei olnud kõik numbrilised lävendid ega otsustusreeglid Ehita-faasi alguses veel täielikult fikseeritud. Seetõttu vastab arendusprotsess sellele kriteeriumile pigem osaliselt: edu loogika oli olemas, kuid selle täielik kvantitatiivne rakendamine jäi Mõõda-faasi ettevalmistuse osaks.

Kolmanda kriteeriumi, tegevuslike mõõdikute kasutamine näivmõõdikute asemel, puhul on hinnang samuti osaline, kuid metodoloogiliselt põhjendatud. Kuna käesoleva töö empiiriline ulatus lõpeb avaldamisvalmiduse juures, ei teki magistr töö jaoks piisavalt kasutajapõhist andmestikku, et hinnata tegelikke avaldamisjärgseid mõõdikuid. Samas ei jäänud mõõtmine üksnes üldise „hea toote“ mulje tasemele, vaid mõõtmisarhitektuur kujundati Riesi tegevuslike mõõdikute loogika järgi. Valitud mõõdikud: küsimuste lõpetamismäär, sessiooni pikkus, hoidmismäärad ja täpsuse muutumine raskusastmete lõikes – on vähemalt põhimõtteliselt seotud konkreetsete disainiotsustega ning võimaldavad hiljem hinnata, millised muudatused olid tegelikult tulemuslikud. Seega oli tegevuslike mõõdikute kasutamine vähemalt arhitektuuritasandil olemas, kuigi nende empiiriline rakendamine jäi tulevase kasutusfaasi ülesandeks.

Neljanda kriteeriumi – dokumenteeritud pööra või jätka pöörde-või-jätkamise otsuste – puhul on tõendus tugev. Arendusprotsessis ilmnes vähemalt üks selgelt dokumenteeritud pööre: sihtrühma kitsendamine algselt 4–10-aastastelt 6–10-aastastele. See ei olnud juhuslik ulatuse kärbe, vaid tulenes Ehita-faasis tekkinud arusaamast, et noorema vanuserühma toetamine oleks eeldanud täiendavat juhendamissüsteemi ja teistsugust interaktsiooniloogikat, mis oleks ületanud MVEG minimaalse ulatuse. Samuti väljendus fokuseeritud jätkamisotsus integratsioonimehhanismi valikus: kogumismudel valiti põhimehhanismiks, samas kui värava-interaktsiooni mudel jäeti kõrvale ja rajamudelit käsitleti hilisema iteratsiooni suunana. Need otsused näitavad, et arendus ei liikunud lineaarselt algse plaani järgi, vaid reageeris dokumenteeritud tähelepanekutele, tehnilistele piirangutele ja haridusmängu keskse hüpoteesi nõuetele.

Viienda kriteeriumi – õppimisest lähtuva käitumusliku muutuse – puhul tuleb hinnangut sõnastada ettevaatlikult. Ehita-faasis on selle kohta olemas reflektiivne ja disainiline tõendus, kuid mitte veel piisavat kasutajapõhist käitumuslikku andmestikku. Arenduspäevik ja tehnilised valikud näitavad, et projekt liikus järjest enam lahenduste poole, mis pidid tugevdama õppesisu sisemist integratsiooni ning vähendama kõrvaltegevuse tunnet. See on reflektiivse õppimise tõendus Schöni tähenduses: uurija kohandas oma arusaamu ja disainivalikuid protsessi käigus. Riesi mõttes valideeritud õppimine eeldaks siiski juba reaalseid kasutajaandmeid, mida käesolev töö alles ette valmistab. Seega saab öelda, et arendusprotsess näitas õppimisest lähtuvat käitumuslikku muutust arendaja tasandil, kuid mitte veel lõplikult valideeritud õppimist kasutajatasandil.

Kuuenda kriteeriumi jälgitavad tagasisideahelad, mis seovad kasutajaandmed disainiotsustega puhul on hinnang taas osaline, kuid sisuliselt positiivne. Ehita-faasis loodi selleks vajalik eeltingimus: analüütika instrumenteeriti viisil, mis võimaldab hiljem siduda kasutusmustrid konkreetsete mehaaniliste ja sisuliste disainivalikutega. Küsimuste lõpetamismäär peaks võimaldama hinnata, kas matemaatiline tegevus toimib tõepoolest mängu põhimehaanikana; täpsustrajektor peaks võimaldama hinnata, kas mängusisene aritmeetiline sooritus liigub soovitud suunas; sessioonipikkus ja hoidmismäärad peaksid võimaldama tõlgendada kaasatuse kvaliteeti. Tagasisideahel ise on seega kavandatud ja tehniliselt ette valmistatud, kuid selle täielik empiiriline sulgumine sõltub avaldamisjärgsest kasutajabaasist.

Kokkuvõttes näitab käesolev juhtum, et Lean Startup tsükli valideeritud õppimise loogika oli Ehita-faasis olemas, kuid selle realiseerumise aste varieerus kriteeriumiti. Kõige tugevamalt

olid täidetud hüpoteeside sõnastamine ja pöördetsuste dokumenteerimine; osaliselt olid täidetud edu- ja ebaõnnestumiskriteeriumide rakendamine, tegevuslike mõõdikute ettevalmistus ning jälgitavate tagasisideahelate loomine. Kõige nõrgemaks jäi kasutajatasandil valideeritud õppimise komponent, mis on kooskõlas töö empiirilise piiritlemisega: käesolev magistritöö dokumenteerib Ehita-faasi empiirilisel ja Mõõda-faasi ettevalmistusena, samal ajal kui täielik valideeritud õppimine eeldab avaldamisjärgset kasutusandmestikku. Sellest hoolimata võib väita, et arendusprotsess ei olnud juhuslik tootearendus, vaid juba Lean Startup loogika järgi struktureeritud õppimisprotsess.

Ehita-Mõõda-Õpi tsükkel praktikas

Käesoleva projekti arendus moodustas ühe Ehita-faasi empiirilisel dokumenteeritud ning Mõõda- ja Õpi-faasi jaoks ettevalmistatud Ehita-Mõõda-Õpi tsükli. Selle tsükli empiiriline sisu tuleneb arenduspäevikust, Git-ajaloost ja Ehita-faasis tehtud disainiotsustest, samas kui avaldamisjärgne mõõtmisandmestik moodustab edasise uurimisetapi. Selline käsitlus on kooskõlas töö empiirilise piiritlemisega: käesolev magistritöö dokumenteerib Ehita-faasi empiirilisel, Mõõda-faasi empiirilis-teoreetiliselt ning Õpi-faasi teoreetilis-praktilise raamistikuna.

Tsükli käivitav hüpotees oli, et 6–10-aastased lapsed kaasatakse aritmeetilisse harjutamisse tõhusamalt siis, kui matemaatiline otsus on seotud vahetult mängu põhimehaanikaga, mitte eraldiseisva viktoriinivormiga. Sellest hüpoteesist lähtusid kolm Ehita-faasi keskset otsust. Esiteks tuli määratleda minimaalselt elujõulise haridusmängu ulatus nii, et see säilitaks samaaegselt nii mängulise kaasatuse kui õppesisu sisemise integratsiooni. Teiseks tuli valida integratsioonimehhanism, mis seoks aritmeetilise tegevuse tegelase edenemisega võimalikult otseselt. Kolmandaks tuli rajada mõõtmisarhitektuur, mis võimaldaks hiljem hinnata, kas Ehita-faasis tehtud disainiotsused osutusid kasutajate tegeliku käitumise seisukohalt põhjendatuks.

Ehita-faasi käigus ilmnes vähemalt kaks sisulist kohandust, mis näitavad, et tegemist ei olnud lineaarse tootearendusega. Esimene neist oli kliendisegmendi kitsendamise algusest 4–10-aastastelt 6–10-aastastele. See otsus tulenes arusaamast, jtlta kuueaastaste laste toetamine oleks nõudnud täiendavat juhendamissüsteemi ja teistsugust interaktsiooniloogikat, mis oleks ületanud MVEG minimaalse ulatuse. Teine oluline otsus puudutas integratsioonimehhanismi valikut: Ehita-faasis osutus rajavaliku mudel kõige sobivamaks lahenduseks, sest see sidus aritmeetilise otsuse vahetult tegelase liikumisega ning säilitas kõige selgema seose vastamise ja mängu edenemise

vahel. Värava-interaktsiooni mudel jäi kõrvale väiksema tempo ja nõrgema sisemise integratsiooni tõttu ning kogumismudel jäeti hilisema iteratsiooni edasiarendussuunaks.

Mõõda-faasi jaoks kavandati analüütika nii, et hiljem oleks võimalik jälgida küsimuste lõpetamismäära, sessiooni pikkust, hoidmismäärasid, raskusastmel edenemist ja mängusisese täpsuse trajektoori. Need mõõdikud ei tõenda iseenesest õppimist, kuid võimaldavad hinnata, kas aritmeetiline sisu toimib mängu sees kavandatud viisil ning kas kasutajate kaasatus on piisav, et õppimine saaks üldse aset leida.

Õpi-faasi seisukohalt tähendab see, et Ehita-faasis tehtud otsused on nüüd sõnastatud kontrollitavate ootustena. Kui avaldamisjärgne andmestik näitaks, et küsimuste lõpetamismäär on kõrge ja täpsus paraneb sessioonide lõikes, oleks see kooskõlas hüpoteesiga, et õppesisu sisemine integratsioon toimib. Kui andmed osutaksid vastupidisele – näiteks madalale lõpetamismäärale, lühikestele sessioonidele või stagneeruvale täpsusele —, viitaks see vajadusele integratsioonimehhanismi või raskusastme loogikat ümber kujundada. Seega ei ole käesolevas töös veel tegemist täies mahus empiirilisel suletud Ehita-Mõõda-Õpi tsükliga, vaid ühe Ehita-faasis dokumenteeritud ning Mõõda- ja Õpi-faasi jaoks ettevalmistatud tsükliga. Just see on kooskõlas töö tegeliku uurimisulatusega ja moodustab selle praktilise panuse Lean Startup metoodika rakendamise kirjeldamisel haridusmängu arenduses.

Haridusmängude arendusele eriomased väljakutsed ja kohandused

Lean Startup metoodika rakendamisel lastele suunatud haridusmängude arenduses ilmnes eriti selgelt kolm väljakutset. Igaüks neist nõudis kohandusi, mida olemasolevas Lean game development kirjanduses on käsitletud piiratud määral (Boeira, 2024) ning mis seetõttu moodustavad käesoleva juhtumiuuringu ühe olulisema analüütilise panuse.

Esimene neist on kahetise väärtuspakkumise probleem – vajadus hinnata samaaegselt nii kaasatust kui ka õppimisega seotud toimimist, mitte käsitleda neid järjestikuste küsimustena. See tähendas, et standardne MVP kontseptsioon vajab neljandas peatükis sõnastatud MVEG-kohandust. Puhtalt kaasatusele optimeeritud lähenemine oleks toonud kaasa ohu triivida meelelahutusliku toote suunas haridusliku hüpoteesi arvelt; puhtalt õppimisele optimeeritud lähenemine oleks seevastu riskinud toota lahenduse, mis ei loo piisavat vabatahtlikku kasutust ega tekita seega ka vajalikku käitumuslikku andmestikku. Felin jt (2020) tõstavad laiemalt esile, et Lean Startup võib soodustada inkrementaalseid eksperimente fundamentaalsema teoreetilise

innovatsiooni arvelt – haridusmängu kontekstis avaldub see risk eelkõige kaasatusmõõdikute optimeerimises viisil, mis võib tahtmatult kahjustada toote hariduslikku terviklikkust.

Teine on asendusmõõtmise probleem – tegelike õpitulemuste otsese mõõtmise piiratus platvormianalüütika kaudu laste andmekaitse nõuetega kooskõlas olevas rakenduses. See tähendas, et Mõõda-faas pidi tuginema käitumuslikele asendusnäitajatele, mitte otsestele tulemusandmetele. See piirang kujundab kogu haridusliku tõhususe analüüsi ning toimib struktuurse tingimusena, millega Lean-lähenemine laste haridusmängude arenduses peab arvestama (Alonso-Fernández jt, 2019).

Kolmas on otsese kasutajavaatluse piiratus – võimatus teha laialdaselt seda, mida Linåker jt (2025) kirjeldavad indie-mänguarenduses universaalse andmekogumistehnikana. See vähendas Ehita-faasi võimet koguda kvalitatiivset tagasisidet tegelikult sihtrühmalt mängukasutuse hetkel. Rakendusepoodide vanemapoolsed arvustused pakuvad osalist asendust, kuid kujutavad endast vahendatud ja tagasivaatelist kanalit, mitte otsest vaatluspõhist tagasisidet lapse mängukogemuse ajal.

Käesoleva projekti arenduspäevik dokumenteerib kolm täiendavat väljakutset, mis ei ole üldises Lean mänguarenduse kirjanduses eraldi käsitletud. Esiteks osutus rakendusepoodide lastekaategooria vastavusnõuete täitmine ajamahukamaks, kui esialgne ulatus ette nägi – eriti Apple Kids Category ja Google Families Policy nõuded mõjutasid arhitektuuri juba varases Ehita-faasis, mitte ainult avaldamise etapis. Teiseks tekitas üksikarendaja roll metodoloogilise pingel: praktik-uurija positsioon tähendas, et iga disainiotsus oli samaaegselt nii arenduslik valik kui ka uurimuslik andmepunkt, mis nõudis pidevat teadlikku eristamist.

Lisa 4. Õpi-faasi teoreetiline otsustusraamistik ja võrdlus kirjandusega

Mõõdikud otsustustabeli toetuseks

Otsustustabeli rakendamiseks on vajalik kahe mõõdikurühma samaaegne jälgimine: kaasatusmõõdikud ja haridusliku tulemuslikkuse mõõdikud. Mõlemad rühmad toetuvad peatükis 3.2.3 kirjeldatud Unity Analyticsi instrumentatsioonile ja peatükkides 5.3–5.4 esitatud võrdlusraamistikule.

Kaasatuse mõõdikud tuvastavad, kas lapsed pöörduvad mängu juurde tagasi ja kas mängu struktuur hoiab nende tähelepanu. Day 1 hoidmismäär (D1) peegeldab esmase kogemuse atraktiivsust; läviväärtuseks on GameAnalyticsi 2025. aasta mediaani alusel 20–22 %, kusjuures haridusrakenduste kontekstis on AppsFlyer (2024) andmetel oodatav 14–15 %. D7 ja D28

hoidmismäärad näitavad keskpikas perspektiivis püsivust; kui D7 langeb alla 3,5 %, viitab see kiirele huvi kadumisele. DAU/MAU suhe peegeldab igapäevast mänguharjumust (võrdlusraamistikus 10–15 % haridusrakendustele, üle 20 % tugevale tulemusele). Keskmise sessiooni pikkus paigutatakse 6–10-aastaste laste konteksti: 5–15 minutit on eeldatav vahemik (AppsFlyer, 2024), milles alla 3 minuti viitab madalale kaasatusele ja üle 20 minuti võimalikule sõltuvusele (Livingstone jt, 2017).

Haridusliku tulemuslikkuse mõõdikud toetuvad kohandatud haridussündmustele (question_presented, question_answered), mida standardne analüütika ei kogu. Küsimuste lõpetamismäär – sessiooni jooksul vastatud küsimuste suhe esitatud küsimustesse – on peamine sisemise integratsiooni näitaja: järjekindlalt üle 80% püsiv määr toetab järeldust, et aritmeetiline mehhanism on mängukogemusse tõhusalt põimitud (Habgood & Ainsworth, 2011, lk 173). Täpsustrajektor – õigete vastuste osakaalu muutus sessioonide lõikes – pakub käitumusliku õppimise asendusnäitajat: tõusev trajektor viitab aritmeetilise oskuse arenemisele. Adaptiivse raskusastme progressioon – kiirus, millega Elo-süsteem viib kasutajaid keerukamatele tasanditele – näitab kalibreerimise toimivust. Papoušek jt (2014) Elo-mudeli rakendus kinnitab, et süsteemne allapoole kalibreerumine viitab raskusastme vastavuse probleemile.

Otsustustabeli neli stsenaariumi tuvastatakse kahe mõõdikurühma koostoimel. Stsenaarium A (kõrge kaasatus, nõrk hariduslik tulemus) avaldub kõrgete hoidmismäärade, aga madala küsimuste lõpetamismäära või stagnatsioonilise täpsustrajektoori kaudu. Stsenaarium B (madal kaasatus, kõrge hariduslik tulemus) avaldub madalate hoidmismäärade, kuid kõrge lõpetamismäära ja tõusva trajektoori kaudu. Stsenaarium C (mõlemad madalad) ilmneb nii kaasatuse kui ka hariduslike näitajate samaaegsel langemisel. Stsenaarium D (mõlemad kõrged) kinnitab sisemise integratsiooni toimimist ja toetab jätkamisotsust.

Pöörde-või-jätkamise haridusmängu puhul

Riesi (2011) binaarne pöörde-või-jätkamise otsus eeldab tarbijarakenduste kontekstis ühtainust peamist küsimust: kas kasvumootor toimib? Haridusmängu puhul muudab eelmises alajaotuses esitatud otsustustabel selle binaarse valiku neljaks erinevaks toiminguks, sest otsus ei sõltu ühest, vaid kahest sõltumatust mõõtmest. (Ries, 2011)

Peatükis 4.4.2 tuvastati kirjanduse ja juhtumite põhjal neli kõige tõenäolisemat pöördetüüpi käesoleva projekti kontekstis: zoom-in-pööre, kliendisegmendi pööre, funktsiooni-pööre

mängumehaanika sees ning platvormi-pööre. Otsustustabeli neljas stsenaariumi raamistikus jaotuvad need järgmiselt.

Stsenaarium A (kõrge kaasatus, nõrk hariduslik tulemus) viitab sellele, et mäng on kõitev, kuid aritmeetiline mehhanism ei tööta kavandatud viisil. Sobivaim vastus on funktsiooni-pööre mängumehaanika sees: aritmeetilise integratsiooni tugevdamine, näiteks vastamisaja surve suurendamine, küsimuste keerukuse sidumine jooksu eduga või visuaalse tagasiside parandamine. Alternatiivina võib zoom-in-pööre kaaluda ühe tehte tüübi (nt liitmise) süvendamist, kui andmed näitavad, et hajutatud fookus vähendab õppimise efekti.

Stsenaarium B (madal kaasatus, kõrge hariduslik tulemus) viitab sellele, et lapsed, kes mängivad, õpivad tõhusalt, kuid mäng ei hoiu neid piisavalt. Siinkohal on asjakohasem kliendisegmendi pööre: fookuse nihutamine vanusegrupile (nt 8–10 aastat 6–8 asemel) või koolisegmendile, kus mäng võidakse kasutada juhendatud keskkonnas, mis kompenseerib madalat iseseisvat hoidmist.

Stsenaarium C (mõlemad madalad) on kõige kriitilisem. Kui nii kaasatus kui ka hariduslikud näitajad on madalad, tuleb kaaluda platvormi-pööret – näiteks siirdumist mobiilmängult veebirakendusele, mis toetab klassiruumi kasutust (nagu seda tegi 99math) – või projekti ulatuslikumat ümbermõtestamist.

Stsenaarium D (mõlemad kõrged) toetab jätkamisotsust. Sel juhul keskendub iteratsioon ulatuse laiendamisele: uute tehtetüüpide lisamine, raskusastme lae tõstmine või vanusegrupi laiendamine – alati enne jätkates Ehita-Mõõda-Õpi tsüklit iga laienduse kohta eraldi.

Õpi-faasi teoreetiline otsustusraamistik

Eelmised alajaotused dokumenteerisid Ehita-faasi empiirilisi tulemusi ja Mõõda-faasi ettevalmistust. Käesolev alajaotus käsitleb Õpi-faasi – tsükli osa, mis muudab andmed otsusteks. Kuna avaldamisjärgsed mõõtmisandmed ei kuulu käesoleva töö empiirilisse ulatusse, ei saa Õpi-faasi otsuseid teha andmepõhiselt. Küll aga saab sõnastada teoreetiliselt põhjendatud otsustusraamistiku, mis ütleb ette, millistel tingimustel milliseid otsuseid teha, kui andmed kogunevad.

Miks Õpi-faasi ei saa haridusmängus taandada ainult kaasatusele

Lean Startupi tavapärasel rakendusvaldkonnas – SaaS-tooted, turuplatvormid, tarbijatarkvara – on Õpi-faasi peamine sisend kasutajate käitumisandmed: hoidmismäärad, konversioonid, sessiooni pikkus. Haridusmängu puhul tekib aga põhimõtteline erinevus: kaasatus

ja hariduslik tulemuslikkus ei pruugi liikuda samas suunas. Mäng võib olla kõrgelt kaasav (laps mängib pikalt, tuleb tagasi), kuid hariduslikult ebaefektiivne (aritmeetiline sooritus ei parane), või vastupidi – hariduslikult toimiv, kuid kaasatuse mõttes ebapiisav (laps lahkub enne, kui õppetsükkel realiseerub). See kahetisus nõuab Õpi-faasis kahemõõtmelist otsustusmudelit, mitte ühemõõtmelist. Väärrib märkimist, et selline kahemõõtmeline loogika – kus üheaegselt hinnatakse nii protsessi kvaliteeti (kaasatus) kui ka õpitulemust – peegeldab disainipõhise uurimise (DBR) traditsiooni, mis samuti nõuab samaaegselt nii sekkumise toimimise kui ka õpitõendite kogumist (Brown, 1992; Design-Based Research Collective, 2003). Kuigi käesolev töö ei järgi formaalset DBR-protokolli, vaid on kavandatud instrumentaalse juhtumiuuringuna (nagu punktis 3.3 sõnastatud), kinnitab see paralleel, et haridusmängu Õpi-faasi ei saa konstrueerida puhtalt iduettevõtte analüütika loogikal. Seda kahetisust kinnitab empiirilisel ka Koobas (2025), kelle võrdlev uuring 6–7-aastaste lastega näitas, et ALPA Kidsi digitaalne mänguvorm soodustas küll kiiremat ja ühtlasemat lahendust, kuid traditsiooniline vorm toetas sügavamalt planeerimist ja keskendumist – illustreerides, et kaasatuse ja õpikvaliteedi näitajad ei pruugi samas suunas liikuda.

Otsustustabel: neli stsenaariumi

Kahe mõõtme – kaasatuse ja haridusliku tulemuslikkuse – ristamisel tekib neli põhistenaariumi, millest igaüks nõuab erinevat Õpi-faasi otsust. Stsenaarium A (kõrge kaasatus, nõrk hariduslik tulemus): mäng toimib meelelahutusena, kuid õppesisu ei kanna – vajalik on integratsioonimehhanismi ümberdisain. Stsenaarium B (nõrk kaasatus, tugev hariduslik sooritus): õppesisu võib olla arusaadav, kuid mäng ei hoiu last piisavalt kaua – mängumehaanika vajab parandamist. Stsenaarium C (nõrk kaasatus, nõrk hariduslik tulemus): põhikontseptsioon vajab ümbertegemist – kaaluda zoom-in-pööret või projekti lõpetamist. Stsenaarium D (piisav kaasatus, piisav hariduslik areng): tulemus annab põhjendatud aluse järgmiseks iteratsiooniks – jätkata ja sõnastada järgmine hüpotees.

See otsustustabel kujutab käesoleva töö teoreetilist panust: ta laiendab Riesi (2011) pöörde- või-jätkamise binaarsust hariduslikku konteksti, kus otsus ei sõltu ainult üheainsa mõõdiku ületamisest, vaid kahe paralleelse kvaliteeditelje koosmõjust. Raamistik on sõnastatud nii, et seda saab rakendada mis tahes haridusmängule, mitte ainult käesolevale juhtumiuuringule. (Ries, 2011)

Võrdlus olemasoleva kirjandusega

Mustrite sobitamine teoreetiliste ennustustega

Lähtudes Yini (2018) mustrite sobitamise analüütilisest strateegiast, võrreldakse käesolevas alajaotuses juhtumiuuringus ilmnenud empiirilisi mustreid teises peatükis sõnastatud teoreetiliste ennustustega. Analüüs liigub teoorialt tähelepanekutele, testides konkreetseid ennustusi konkreetsete empiiriliste mustrite suhtes ning tehes järeldusi selle kohta, kas juhtum kinnitab, vaidlustab või täpsustab vastavaid teoreetilisi raamistikke. (Yin, 2018, lk 38)

Habgood ja Ainsworth (2011) ennustavad, et sisemiselt integreeritud haridusmängud tekitavad nii suuremaid õpitulemusi kui ka oluliselt pikemat vabatahtlikku kaasatust kui väliselt integreeritud ekvivalendid. Küsimuste lõpetamismäära andmed – peamine käitumuslik näitaja aritmeetilise kaasatuse kohta – peaksid seega näitama mustrit, mis on kooskõlas sisemise integratsiooni tähelepanumehhanismiga: kõrge lõpetamismäär, mis püsib sessioonide lõikes, ning täpsuse paranemine, mis liigub küsimuste läbimise sügavusega samas suunas. (Habgood & Ainsworth, 2011)

Riesi ja Boeira käsitluste suhtes on juhtum samuti osaliselt kooskõlaline. Ühelt poolt kinnitab see nende väidet, et varase versiooni ulatust tuleb agressiivselt piirata ning keskenduda ainult neile komponentidele, mis kannavad toote keskset hüpoteesi. Seda kinnitavad nii sihtrühma kitsendamine 4–10-aastastelt 6–10-aastastele kui ka otsus jätta heliline juhendamine ja mitmed keerukamad mehhanismid hilisematesse iteratsioonidesse. Teisalt näitab juhtum, et haridusmängu puhul ei saa ulatust kärpida ainult tehnilise lihtsustamise loogikast lähtudes. Liiga minimaalne lahendus võib eemaldada just need mehhanismid, mille kaudu hariduslik ja mänguline väärtuspakkumine üldse koos toimivad. Selles mõttes toetab juhtum MVEG-i vajadust kui MVP valdkonnaspetsiifilist edasiarendust.

Samas täpsustab käesolev juhtum Habgoodi ja Ainsworthi mudelit ühes olulises punktis. Nende käsitlus rõhutab sisemise integratsiooni üldist väärtust, kuid käesoleva projekti Ehita-faasis ilmnes, et sisemise integratsiooni optimaalne realiseerimine ei pruugi olla ühtne kogu 6–10-aastase vanusevahemiku ulatuses. Kuigi rajavaliku mudel osutus MVEG esimese versiooni jaoks kõige sobivamaks lahenduseks, tõi arendusprotsess esile ka selle, et vanema sihtrühma jaoks võib järgmises iteratsioonis olla põhjendatud kogumismudeli testimine suurema kognitiivse väljakutse allikana. Seega viitab juhtum sellele, et sisemine integratsioon on vajalik, kuid selle praktiline realiseerimine võib sihtrühma arengulise profiili lõikes varieeruda.

Käesoleva projekti Ehita-faasis ilmnenud mustrid on Habgoodi ja Ainsworthi teooriaga osaliselt kooskõlas ning osaliselt seda täpsustavad. Juhtum kinnitab kõigepealt nende keskset

väidet, et õppesisu tuleb siduda mängu kõige kaasavama põhimehaanikaga, mitte paigutada seda eraldiseisva tegevusena mängutsükli kõrvale. Rajavaliku mudeli eelistamine teistele kaalutud lahendustele toetus just sellele põhimõttele: aritmeetiline otsus ja tegelase liikumine moodustasid ühe tegevuse, mitte kahte järjestikust sammu. Selles mõttes on juhtum isilmnenud disainimuster selgelt kooskõlas sisemise integratsiooni teooria ennustusega.

Hyrynsalmi jt ennustus, et minimaalselt elujõuliste mängude määratlemiseks puuduvad mänguarenduses järjekindlad praktilised juhised, leiab samuti kinnitust. Käesolevas juhtum ei olnud võimalik toetuda valmis MVEG raamistikule, vaid see tuli töö käigus teoreetilise sünteesi ja arendusprotsessi vastastikus mõjus välja töötada. Juhtum seega mitte ainult ei kinnita varasemas kirjanduses kirjeldatud lünka, vaid pakub ka ühe võimaliku vastuse sellele.

Avaldamisjärgne kasutusandmestik võimaldaks neid mustreid hiljem empiiriliselt täpsemalt kontrollida. Teoreetilise ennustuse kohaselt peaks kõrge küsimuste lõpetamismäär viitama sellele, et aritmeetika toimib mängu põhimehaanikana, mitte ignoreeritava kõrvaltegevusena. Täpsuse paranemine sessioonide lõikes oleks omakorda kooskõlas õppimise hüpoteesiga, kuigi ei võimaldaks seda iseseisvalt tõestada. Vastupidised mustrid viitaksid vajadusele integratsioonimehhanismi või raskusastme loogikat ümber kujundada. Käesoleva töö empiiriline panus seisneb siiski Ehita-faasis ilmnenud mustrite ja nende teoreetilise tõlgenduse dokumenteerimises, mitte nende avaldamisjärgses lõplikus valideerimises.

MVEG kui teoreetiline panus

Käesolevas töös välja töötatud minimaalselt elujõulise haridusmängu kontseptsioon paigutub valdkonnaspetsiifilise edasiarendusena Riesi (2011) MVP-kontseptsioonile, laiendades seda viisil, mis arvestab haridusmängude arendusele omase kahese väärtuspakkumisega. Juhtumiuuring annab sellele kontseptsioonile empiirilise aluse: see näitab, et MVEG-definitsioon – tehniline toimivus eeltingimusena ning kaks eristuvat mõõdet, kaasatus ja hariduslik terviklikkus – on praktikas operatsionaalne, et see nõudis standardsete Lean-arenduspraktikate suhtes mittetriviaalseid kohandusi ning et olemasolevas kirjanduses puudus kontseptsioon, mis sellist nõuete kombinatsiooni käsitleks. (Ries, 2011)

Siggelkow (2007) väidab, et üksik juhtumiuuring saab pakkuda olemasolu tõendit (*existence proof*) – konkreetset näidet sellest, kuidas teatud seos praktikas avaldub, isegi kui selle üldistatavus nõuab edasist uurimist. MVEG täidab just seda funktsiooni: juhtum näitab, et haridusmängud esitavad eraldiseisva MVP-probleemi, mis vajab omaette kontseptualiseerimist,

ning et standardseid Lean Startupi tööriistu ei tule selles valdkonnas tingimata hüljata, vaid kohandada. Sellel järelalusel on tagajärjed mitte üksnes teistele haridusmängude arendajatele, vaid ka laiemale loominguliste toodete MVP-käsitlusele, eriti seal, kus samaaegselt tuleb valideerida mitut väärtusmöödet. (Siggelkow, 2007, lk 20–24)

MVEG-kontseptsiooni tuleks mõista Gioia, Corley ja Hamiltoni (2013) käsitluse kaudu, mille kohaselt kontseptsioonid on konstruktide eelkäijad: valdkonnaspetsiifiline sõnastus, mis tuvastab olemasolevas teoorias lünga ja pakub selle täitmiseks konstrukti, kuid millel on vaja saavutada konstrukti staatus alles pärast empiirilist valideerimist mitmes kontekstis. Samuti on see Mertoni (1968) mõttes kesktaseme teooria (*middle-range theory*) – paiknedes igapäevaste tööhüpoteeside ja suurte teoreetiliste skeemide vahel, ulatuse poolest piiratud kindla empiirilise domeeniga ning otseselt testitav. Üksik juhtumiuuring saab näidata kontseptuaalset usutavust ja pakkuda esmast operatsionaliseerimist; kontseptsiooniüldistatavuse ja piiritingimuste kindlakstegemine nõuab siiski edasist uurimist eri haridusmängude, vanuserühmade, sisuvaldkondade ja arenduskontekstide lõikes. (Merton, 1968, lk 39–53) (Gioia jt, 2013)

Paigutamine Eesti ja Põhjamaade konteksti

Käesoleva töö järelalused paigutuvad Eesti ja Põhjamaade haridustehnoloogia ökosüsteemi, mis on viimasel kümnendil tootnud mitmeid rahvusvaheliselt edukaid haridustooteid väikestest meeskondadest. See kontekst on oluline kahel põhjusel: esiteks pakub piirkond võrdlusmaterjali, mille vastu käesoleva juhtumiuuringu kogemusi kõrvutada, ja teiseks määrab see ära institutsionaalse ja akadeemilise keskkonna, milles töö tulemused praktilist rakendust leiavad.

Võrdlus piirkonna ettevõtetega toob esile nii kattuvusi kui ka erinevusi. 99math rakendab sõnaselgelt lean-põhist arendusmudelit: kiired tarnetihedused, hüpoteesipõhised eksperimendid ja korduvad pöördetsused on nende tegevjuhi sõnul arendusloogika tuumiks. Käesolev juhtumiuuring kinnitas seda loogikat ka haridusmängu kontekstis – Ehita-Mööda-Õpi tsükliid struktureerisid arendust analoogselt —, kuid tõi esile olulise erinevuse: hariduslik elujõulisusnõue piirab kärbitavate omaduste hulka viisil, mida puhtalt meelelahutuslik matemaatikaplatvorm nagu 99math ei pruugi samavõrra kogeda. ALPA Kids esindab teist mudelit, kus akadeemiline uurimiskoostöö on integreeritud tootearendusprotsessi: Yaremenko (2023) autoetnograafiline magistr töö uuris ALPA Kidsi kasutamist Ukraina laste keelekümbluses Eesti koolis ning Koobas (2025) võrdles ALPA Kidsi digitaalset ja traditsioonilist mängukeskkonda 6–7-aastaste laste lahendusstrateegiatega mõjutajana. Käesoleva töö MVEG-raamistik asetub nende kahe lähenemise

vahele: see tugineb akadeemilisele metoodikale (Lean Startup ja sisemise integratsiooni teooria), kuid rakendab seda üksikprojekti tasandil, mitte institutsionaliseeritud koostöömudeli raames. (Koobas, 2025) (Yaremenko, 2023)

Eesti akadeemilises kontekstis kuulub käesolev töö valdkonda, mida katavad Tallinna Ülikooli digitaalsete õpimängude õppekava ning Tallinna Tehnikaülikooli mänguarenduse lõputööd. Enamik seni kaitstud töödest käsitleb kas mängudisaini üksikaspekte (graafiline disain, kasutajakogemuse testimine) või pedagoogilist mõju mõõtmist, kuid arendusprotsessi terviklikku metoodilist dokumenteerimist – alates kontseptsioonist kuni avaldamisvalmiduseni – esineb vähe. Käesolev töö täidab seda lünka, pakkudes protsessikeskset juhtumiuuringut, mis dokumenteerib Lean Startup metoodika rakendamist haridusmängu arenduses viisil, mida tulevased lõputöö kirjutajad ja haridusmänguarendajad saavad kasutada metoodilise võrdluspunktina.

Selles projektis ilmnunud väljakutsed – regulatiivse vastavuse tagamine (COPPA, GDPR-K), rakendusepoe poliitikate täitmine (*Kids Category, Families Policy*) ning hariduslike ja meelelahutuslike eesmärkide samaaegne valideerimine – langevad üldiselt kokku piirkonna arendajate dokumenteeritud kogemustega. Eristav asjaolu on aga see, et käesolev projekt teostas kogu arendustsükli ühe arendaja jõul, samas kui piirkonna edukamad ettevõtted (99math, ALPA Kids) tegutsevad meeskondadena. See asjaolu rõhutab MVEG-raamistiku praktilist väärtust: struktureeritud elujõulisuskriteeriumid aitavad ressursipiiranguga arendajal teha põhjendatud ulatuse otsuseid ilma meeskondlikku teadmiste jagamist eeldamata.

Lisa 5. Avaldamisvalmiduse kujunemise analüüs

Turule jõudmise kiirus kui Lean-mõõdik

Ries (2011) käsitleb tsükli kestust – kiirust, millega meeskond suudab lõpetada ühe Ehita-Mõõda-Õpi tsükli – Lean-metoodika praktilise tõhususe olulise näitajana. Seetõttu ei ole käesoleva projekti puhul turule jõudmise kiirus üksnes praktiline tulemus, vaid ka indikaator selle kohta, mil määral võimaldas Lean-lähenemine arendustööd koondada MVEG tuumfunktsioonidele. Kui metoodikat rakendati edukalt, pidi arendustsükkel olema lühem ja fokuseeritum, kui seda oleks tõenäoliselt võimaldanud traditsiooniline, ulatuslikule eelspetsifikatsioonile tuginev arendusmudel sama toote puhul. (Ries, 2011)

Käesoleva töö empiiriline ulatus hõlmab Ehita-faasi kuni avaldamisvalmiduseni. Tsükliaja täpne mõõtmine – kuupäevad, millal iga Ehita-Mõõda-Õpi etapp algas ja lõppes, ning kogu tsükli kestus nädalates – saab lõplikult esitada alles siis, kui avaldamisjärgne Mõõda-faas on empiiriliselt

sulgunud. Siinkohal on siiski võimalik välja tuua Ehita-faasi ajakulu: arendus algas jaanuaris 2025 ja jõudis avaldamisvalmiduseni märtsis 2025, mis teeb Ehita-faasi kestuseks ligikaudu kümme nädalat. Võrreldes Boeira (2024) soovitusega hoida esimese iteratsiooni tsükli aeg võimalikult lühikesena, jääb see vahemikku, mis on ühe-inimese-meeskonna jaoks mõistlik, arvestades laste sihtrühmale kehtivaid lisanõudeid rakenduspoode ülevaatusprotsessis.

Rakenduspoode läbivaatusprotsess lisab arenduskiirusest sõltumatuid viivitusi. Apple'i ja Google Play ülevaatusajad ei sõltu täielikult arendusmeeskonna töökiirusest ning laste sihtrühmale mõeldud rakenduste puhul võib menetlus hõlmata täiendavat vastavuskontrolli. Seetõttu tuleb mobiilimängu kontekstis arvestada, et osa avaldamisajast ei peegelda mitte Ehita-faasi tõhusust, vaid platvormide ülevaatusprotsessist tulenevat vältimatut ajakulu. Lean-arenduse kiiruseelist hinnates tuleb see menetluslik viivitus seega arendusajast analüütiliselt eristada.

Mis kujutab endast edukat MVP-avaldamist

MVP edu akadeemilise ja kommertsliku definitsiooni eristamine on käesoleva peatüki tulemuste tõlgendamisel määrava tähtsusega. Kommertslikus mõttes tähendab edukas lansseerimine haaret – paigaldusi, tagasipöörduvaid kasutajaid ja positiivseid arvustusi. Akadeemilises mõttes tähendab edukas MVP-lansseerimine aga valideeritud õppimist – empiirilist tõendusmaterjali, mis kinnitab või lükkab ümber toote arendust juhtinud põhihüpooteesid. Ries (2011) sõnastab selle hierarhia selgelt: väärtuslikud ei ole mitte need mõõdikud, mis näivad muljetavaldavad, vaid need, mis võimaldavad teha põhjendatud otsuseid. (Ries, 2011)

Shepherd ja Gruber (2021) laiendavad seda käsitlust, märkides, et Riesi binaarsele pöörde- või-jätkamise loogikale tuleks lisada kolmas võimalus: lõpetamine. Tõeliselt valideeritud läbikukkumine – olukord, kus andmed näitavad veenvalt, et olemasoleval kontseptsioonil puudub piisav sobivus kasutaja vajaduste ja toote põhiloogika vahel – ei tähenda Lean-metoodika ebaõnnestumist, vaid selle edukat toimimist. Metoodika eesmärk ongi sellised järeldused nähtavale tuua võimalikult vara, enne kui valesse suunda investeeritakse märkimisväärseid ressursse. (Shepherd & Gruber, 2021)

Käesolevas töös hinnatakse MVP-avaldamise edukust kolme kriteeriumi alusel. Esiteks, kas lansseerimine genereeris päris kasutajatelt päris käitumuslikku andmestikku, mis on piisav kaasatuse hüpooteesi testimiseks. Teiseks, kas see genereeris piisavat haridusliku kaasatuse andmestikku õppimise asendushüpooteesi hindamiseks. Kolmandaks, kas nende andmete põhjal tehti dokumenteeritud tooteotsuseid – kas iteratsioone valideeritud õppimise põhjal või

pöördeotsuseid valideeritud läbikukkumise põhjal. Sellest vaatenurgast ei võrdu edukas MVP-lansseerimine tingimata suure nähtavuse või kiire kasvuga, vaid sellega, et lansseerimine muudab edasise arenduse empiirilisel juhitaavaks.

Nende kolme kriteeriumi empiiriline hindamine eeldab avaldamisjärgset kasutusandmestikku, mis jääb käesoleva magistr töö empiirilisest ulatusest välja. Teoreetiliselt võimaldab avaldamisjärgne periood hinnata, kas mäng genereeris piisavalt käitumuslikke andmeid kaasatuse hüpoteesi testimiseks, kas hoidmismäärad viitavad piisavale kasutajasidususele õppimise toimumiseks ning kas mängusisene täpsuse ja edenemise andmestik võimaldab teha dokumenteeritud tooteotsuseid –itereerida valideeritud õppimise põhjal või pöörata valideeritud läbikukkumise põhjal. Ehita-faasis instrumenteeriti analüütikasündmused nii, et need hindamised oleksid avaldamisjärgselt teostatavad, luues sellega ülemineku Ehita-faasi dokumenteeritud disainiotsustelt Mõõda-faasi empiirilisele kontrollile.

3 Hoidmismäärad ja kaasatusmõõdikud

Lisa 6. Mõõdikute operatsioonalsed definitsioonid ja valikupõhjendused

Avaldamiseelse mõõtmisarhitektuuri kavandamine

Mõõtmisarhitektuuri kavandamine avaldamisjärgse Mõõda-faasi jaoks lähtus kahest kriteeriumist, mis tuletati teoreetilisest raamistikust. Esimene neist on tegevuslikkus Riesi (2011) tähenduses: iga mõõdik peab võimaldama seostada täheldatud muutusi konkreetsete arendusotsustega. Teine on seotus MVEG-kontseptsiooniga: mõõdikud peavad käsitlema mitte ainult kaasatust ja turulist toimivust, vaid võimaluse piires ka toote hariduslikku mõõdet. (Ries, 2011)

Kavandatud avaldamisjärgsed mõõdikud Õpi-faasi jaoks

Peamised kaasatusmõõdikud on Day 1 ja Day 7 hoidmismäärad, päevaaktiivsed kasutajad (*daily active users, DAU*), keskmine sessiooni pikkus ning sessioonide arv kasutaja kohta päevas. Need on standardsed näitajad, mida jälgib ka GameAnalyticsi (2025) võrdlusaruanne, ning neid saab tõlgendada kasutajakaasatuse ja tooteturu sobivuse (*product-market fit*) seisukohalt. 6–10-aastastele lastele suunatud aritmeetilise lõputu jooksumäng-mängu puhul on sessiooni pikkus seejuures oluline kaudne näitaja. Habgood ja Ainsworth (2011) näitasid, et lapsed veetsid sisemiselt integreeritud haridusmänguga vabatahtlikult üle seitsme korra rohkem aega kui väliselt

integreeritud versiooniga (75,7 vs 10,3 minutit; $t = 7,38$, $p < 0,001$). See toetab tõlgendust, et vabas kasutuses mõõdetud sessiooni pikkus võib toimida käitumusliku asendusnäitajana, mis viitab õppesisu ja mängu põhimehaanika tugevamale sisemisele integratsioonile. (GameAnalytics, 2025) (Habgood & Ainsworth, 2011) (GameAnalytics, 2025) (Habgood & Ainsworth, 2011) (GameAnalytics, 2025)

Hariduslikku mõõdet käsitletakse mängus jälgitavate kohandatud sündmuste kaudu. Nende hulka kuuluvad aritmeetiliste küsimuste vastamismäär, täpsus raskusastmete lõikes ning raskusastmel edenemise sagedus. Need mõõdikud ei mõõda õppimist otseselt, vaid mängusisest käitumist, mis võib õppimist peegeldada. Siiski annavad need oluliselt rikkalikuma pildi sellest, kuidas hariduslik sisu mängukogemuses toimib, kui ainult hoidmismõõdikud. See lähenemine tugineb Alonso-Fernández jt (2019) süstemaatilises kirjandusülevaates kirjeldatud mänguõppeanalüütika (*Game Learning Analytics, GLA*)

Täiendava põhjenduse annab Shute'i ja Ventura varjatud hindamise (*stealth assessment*) kontseptsioon. Selle järgi on võimalik koguda tõendusmaterjali pädevuse kohta siis, kui hindamine on põimitud mängu tavapärasesse interaktsiooni, mitte esitatud eraldiseisva testina. Nii saab aritmeetilise pädevuse kohta andmeid koguda ilma mängukogemust katkestamata või hindamisärevust võimendamata. See on kooskõlas ka Hirsh-Pasek jt (2015) nelja õppesamba raamistiku rõhuasetusega kaasatusele ja tähendusrikkusele.

Selle lähenemise peamine piirang on, et ei kaasatusmõõdikud ega mängusisesed käitumuslikud mõõdikud saa asendada otseseid õpitulemuste mõõdikuid. Need võimaldavad hinnata, kuidas kasutajad mänguga suhestuvad ja kuidas hariduslik sisu mängu sees toimib, kuid ei tõesta iseenesest matemaatilise pädevuse paranemist väljaspool mängukonteksti. Seda piirangut käsitletakse allpool punktis 3.7.

Lisa 7. Arenduspäeviku väljavõtted

Käesolev lisa koondab peatükis 3 viidatud arenduspäeviku väljavõtted. Need kujutavad endast otseseid kirjeid arendusprotsessi võtmeotsustuste hetkedel.

Väljavõte 1 – mallivalik

Kuupäev: 08.01.2025. Faas: Ehita / tehniline ettevalmistus. Teema: Runner-malli valik. Alustasin arutelu küsimusest, kas lõputu jooksumäng'i põhitsükkel ehitada nullist või võtta aluseks olemasolev lahendus. Nullist arendamine oleks olnud tehniliselt puhtam, kuid üsna kiiresti sai selgeks, et see neelaks ebaproportsionaalselt palju aega süsteemidele, mis ei ole käesoleva töö

seisukohalt eristuvad. Testisin lühidalt ka Unity ametlikku runner-malli, kuid see ei andnud piisavalt küpset alust mänguseisundi, spawner'ite ja laiendatava mängutsükli jaoks. More Mountains'i Infinite Runner Engine osutus kõige praktilisemaks lähtekohaks, sest selle põhifunktsionaalsus töötas kohe ning võimaldas mul keskenduda küsimusele, kuidas siduda aritmeetika runner'i põhimehaanikaga. Otsustasin, et uurimuse seisukohalt on olulisem ehitada kiiresti toimiv hariduslik prototüüp kui kulutada suur osa ajast üldotstarbelise jooksumootori uuesti loomisele. Seos teoreetilise raamistikuga: See otsus peegeldab Lean Startup põhimõtet vähendada Ehita-faasis ebavajalikku tööd ja suunata ressursid valideeritud õppimise seisukohalt kriitilistele komponentidele. Git commit: arenduspäeviku sissekanne

Väljavõte 2 – integratsioonimehhanismi valik

Kuupäev: 17.01.2025. Faas: Ehita / mängudisain. Teema: Aritmeetika integreerimine põhimehaanikasse. Testisin mitut varianti, kuidas siduda aritmeetika runner'i põhitsükliga. Kiiresti sai selgeks, et lahendus, kus matemaatika ilmub mängu kõrvale või eraldi ekraanile, lõhub tempot ja muudab õppesisu kõrvaltegevuseks. See oleks küll tehniliselt lihtsam olnud, kuid oleks olnud vastuolus mängu põhiideega. Valitud lahendus oli rajavaliku mudel, sest see säilitas kõige paremini tunde, et laps kontrollib edenemist matemaatilise otsuse kaudu, mitte ei läbi kahte eraldi tegevust järjest. Testimise käigus ilmnis, et see mudel oli ka kasutajakogemuse mõttes kõige loetavam: mängija sai kiiremini aru, mida temalt oodatakse ja kuidas õige vastus mängu edenemist mõjutab. Seos teoreetilise raamistikuga: See otsus peegeldab Habgoodi ja Ainsworthi sisemise integratsiooni põhimõtet, mille kohaselt õppesisu peab olema seotud kõige kaasavamate mängutegevusega, mitte selle kõrval paikneva kihina. Git commit: arenduspäeviku sissekanne

Väljavõte 3 – Elo-süsteemi esialgne seadistamine

Kuupäev: 03.02.2025. Faas: Ehita / raskusastme disain. Teema: Elo-põhise kohandamise parameetrid. Esialgu kaalusin lihtsat lahendust, kus kasutaja valib raskusastme menüüst ja mäng jääb selle valiku juurde kogu sessiooni jooksul. Selline lahendus oleks olnud tehniliselt odavam, kuid ei oleks sobinud hästi sihtrühma heterogeensusega. Sama vanuse sees võivad laste oskused olla väga erinevad ja jäik raskusaste oleks tõenäoliselt tekitanud kas igavust või frustratsiooni. Seetõttu otsustasin katsetada Elo-loogikat, kus küsimuste raskus muutub vastavalt mängija tegelikule sooritusele. Esialgsed parameetrid said valitud pigem konservatiivselt, sest eesmärk ei olnud maksimaalne täpsus, vaid stabiilne ja arusaadav kohandumine. Testimise käigus ilmnis, et liiga kõrge K-faktor muutis süsteemi hüplikuks, samas kui liiga madal väärtus tegi kohandumise

lapse jaoks tajumatuks. Seos teoreetilise raamistikuga: See otsus seostub vooteooria ja GameFlow mudeliga, mille järgi peab mäng hoidma väljakutse ja oskuse suhte võimalikult tasakaalus. Git commit: arenduspäeviku sissekanne

Väljavõte 4 – AI-toega arenduse näide

Kuupäev: 21.02.2025. Faas: Ehita / AI-tugi. Teema: Claude Code'i kasutamine tehnilise realiseerimise kiirendamisel. Kasutasin Claude Code'i esmalt selleks, et analüüsida runner-malli arhitektuuri ja leida kohad, kuhu aritmeetika loogika kõige mõistlikumalt lisada. AI pakkus välja mitu tehnilist varianti, millest osa sobis kohe, osa tuli projekti struktuuriga vastavusse viimiseks ümber teha. Kõige kasulikum ei olnud mitte valmis kood ise, vaid see, et sain kiiremini läbi mängida mitu tehnilist võimalust. Teises etapis kasutasin Claude Code'i Elo-põhise raskusastme loogika realiseerimisel. AI pakkus välja esialgse uuendusfunktsiooni ja andmestruktuuri, kuid pidin seda kohandama, et süsteem ei muutuks kasutaja jaoks liiga järsuks. See kinnitas, et tehisintellekt oli kõige kasulikum arenduskiirendi ja mõttepartnerina, mitte valmis lahenduste lõpliku autorina. Seos teoreetilise raamistikuga: See näide toetab Lean Startup põhimõtet lühendada ehitustsüklit ja vähendada tehnilist hõõrdumist, et rohkem iteratsioone oleks võimalik teha sama ajaraami sees. Git commit: arenduspäeviku sissekanne

Summary

A Minimum Viable Educational Game (MVEG) Framework: A Case Study of Developing the Mathematics Game Numbrijooks

The market for children's educational mobile games has expanded rapidly over the past decade, yet empirical research shows that this growth has not been accompanied by a corresponding improvement in educational quality. Most available apps do not follow evidence-based learning design, and creating responsible educational games has remained in the domain of specialised developers. At the same time, the technical barriers to mobile game development have lowered significantly, enabling solo developers to apply the same methodologies used by large studios. These two trends create an opportunity to bring the Lean Startup methodology into the educational games domain, where it has not yet been systematically applied.

The aim of this master's thesis was to define and apply the concept of a Minimum Viable Educational Game (MVEG), which combines the iterative learning logic of Lean Startup with viability criteria specific to educational games, and to document its application in the development of a 2D endless-runner arithmetic game called Numbribooks, created by a solo developer. Three research tasks were set: synthesising the MVEG framework from the literature (RT1), documenting its application with methodological justification (RT2), and designing the Learn-phase measurement architecture with methodological conclusions (RT3).

The theoretical part systematised MVP definitions and demonstrated that Ries's original definition has been interpreted differently by various authors, creating substantive problems in the educational game context. Educational game viability criteria were derived from three theoretical lines: Habgood and Ainsworth's intrinsic integration principle, Sweetser and Wyeth's GameFlow model, and Deci and Ryan's self-determination theory. The MVEG framework defines educational game viability on two parallel axes: product viability (the user enjoys the game enough to return) and educational viability (the game teaches measurably in its target domain).

The empirical part employed an instrumental single-case study design. Data collection proceeded through three parallel streams: a structured development diary, technical artefacts, and measurement architecture specification. The Build and Measure phases documented three concrete development decisions: arithmetic-integrated endless-runner mechanics based on the intrinsic integration principle, an Elo-based adaptive difficulty system to support the competence need, and a measurement architecture tracking retention rates, session length, and educational engagement metrics. For the Learn phase, the thesis designed a decision table linking retention and educational engagement metrics to four scenarios (persevere, product pivot, educational pivot, kill).

In conclusion, the thesis demonstrates that the Lean Startup methodology is applicable in the educational games context when supplemented with educational viability criteria, educational metrics, and a context-sensitive Learn-phase decision framework. The MVEG framework offers solo developer-researchers, educational technology entrepreneurs, and educational game designers a conceptual and methodological starting point for creating educational games that are not merely engaging but also measurably effective in supporting children's learning.

Keywords: educational game, Lean Startup, minimum viable product, mobile game, design-based research

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Karl Roben**,

- annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose **Minimaalselt elujõulise haridusmängu (MVEG) raamistik: juhtumiuuring matemaatikamängu Numbrijooks arendamisest**, mille juhendaja on **Mervi Raudsaar, PhD**, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
- annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi 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;
- olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Karl Roben

19.05.2026