

Liitreaalsuse kasutatavus ehitusvaldkonnas

Töö nr 4-14/54

Töö teostaja andmed:

Asutus: Tallinna Tehnikakõrgkool
Registrikood: 70003773
Aadress: Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn
Telefon: +372 6664500
E-post: tktk@tktk.ee
Veebiaadress: www.ttkk.ee
Vastutav täitja: Martti Kiisa (telefon: 6664540, e-post: martti.kiisa@tktk.ee)
Aruande koostajad: Martti Kiisa (telefon: 6664540, e-post: martti.kiisa@tktk.ee)
Karin Lellep (telefon: 6664541, e-post: karin.lellep@tktk.ee)
Egert-Ronald Parts (telefon: 6664509, e-post: egert@tktk.ee)
Henri Kompus (e-post: henrikompus@gmail.com)

Tellijä andmed:

Ettevõte: Riigi Kinnisvara AS
Registrikood: 10788733
Aadress: Lelle 24, 11318 Tallinn
Telefon: +372 6063400
E-post: info@rkas.ee
Veebiaadress: www.rkas.ee
Kontaktisik: Margus Sarmet (telefon: 6063732, e-post: margus.sarmet@rkas.ee)

15.07.2016

SISUKORD

Sissejuhatus.....	3
1. Terminid ja lühendid	4
2. Ülevaade	5
2.1. Liitreaalsuse kasutusvõimalused ja piirangud	5
2.1.1. Kavandamise faas	5
2.1.2. Ehitamise faas	5
2.1.3. Haldamise faas	6
2.1.4. Tehnoloogilised takistused	6
2.1.5. Inimfaktor	7
2.2. Liitreaalsuse olemus	7
2.3. Liitreaalsuse ajalugu	11
2.4. Liitreaalsuse tekitamise põhimõte	14
2.5. Kirjanduse ülevaade.....	16
3. Nutiseadmed	18
4. Positsioneerimine.....	23
4.1. Mudeli positsioneerimine	23
4.1.1. Markeripõhine jälgimismeetod (<i>marker-based tracking</i>)	24
4.1.2. Tunnusepõhine jälgimismeetod (<i>markerless tracking, feature tracking</i>)	27
4.1.3. Mudelipõhine jälgimismeetod (<i>model-based tracking</i>)	28
4.1.4. Sensoripõhine jälgimismeetod (<i>sensor-based tracking</i>)	28
4.1.5. Kombineeritud jälgimismeetod (<i>hybrid-tracking</i>)	28
4.2. Nutiseadme positsioneerimine.....	29
4.2.1. Katse – nutiseadmete asukoha määramise täpsus	29
5. Rakendused	32
5.1. Vaadeldud rakenduste kirjeldused	32
5.2. Rakenduste hindamine	41
5.2.1. Rakenduste hindamise alused	41
5.2.2. Tulemused	44
5.3. Täiendaval testimisel kasutatud mudelid	47
5.3.1. Mudelite kirjeldus.....	47
5.3.2. Mudeli ettevalmistamine liitreaalsuse rakendusse viimiseks	48
5.3.3. Mudeli üleslaadimine rakendusse Augment	49
5.3.4. Mudeli üleslaadimine rakendusse Urbasee	51
5.3.5. Mudeli üleslaadimine rakendusse ARMedia Player	51
5.4. Sensoripõhise jälgimismeetodiga rakenduste täpsem testimine	52
5.5. Markeripõhiste rakenduste testimine	55
6. Järeldused ja kokkuvõte	57
Kasutatud kirjandus	62
Lisa 1 – Kasutatud seadmete spetsifikatsioonid	65
Lisa 2 – Rakenduste hindamise tulemused	66
Lisa 3 – Peamised modelleerimistarkvarades kasutatavad formaadid	68

SISSEJUHATUS

Alates aastast 2008 on Riigi Kinnisvara AS aktiivselt tegelenud ehitusinformatsiooni modelleerimise (BIM) tehnoloogia juurutamisega. Hetkel on ehitustegevuse osapooltest panustanud BIM tehnoloogia juurutamisesse eelkõige projekterijad, kuid probleemina tuuakse välja nii tellija kui ka ehitaja vähest huvi BIM tehnoloogia vastu. Probleemi ühe lahendusena pakub uurimismeeskond välja liitreaalsuse kasutuselevõtmise ehitusinformatsiooni tõhusamaks kasutamiseks nii ehitusplatsi- kui kontoritingimustes.

Käesoleva töö eesmärgiks on selgitada liitreaalsuse (*augmented reality*) kasutusvõimalusi ehitusvaldkonnas tuginedes olemasolevatele liitreaalsuse lahendustele. Üldine eesmärk on liitreaalsuse võimalusi kasutades suurendada ehitusinfo modelleerimise (*BIM*) kasutajate hulka.

Liitreaalsuses täiendatakse reaalselt keskkonda virtuaalse informatsiooniga, kus eksisteerivad koos nii füüsilised kui ka digitaalsed objektid¹. Viimaste aastate tehnoloogiline areng (nutiseadmete võimekuse kasv, täiendavate sensorite lisandumine jne) on võimaldanud liitreaalsust tuua tavakasutajani. Liitreaalsust oleks võimalik kasutada kogu ehitise elukaare jooksul, muutes erinevad protsessid (projekteerimine, ehitamine, haldamine jne) oluliselt efektiivsemaks.

Liitreaalsus leiab tänapäeval kasutust väga erinevates valdkondades, näiteks meelelahutus, meedia, logistika, haridus, turism, militaarsektor, meditsiin jne. Võib arvata, et liitreaalsuse lahendusi on kõige rohkem kasutuses sõjatööstuses, kuid enamus projekte on salastatud. Mõned lahendused on jõudnud ka avalikkuseni, näitena võib tuua kiivri külge paigaldatavad kuvarid, mis edastavad sõdurile erinevate andurite poolt kogutud informatsiooni. Haridusvaldkonnas on välja töötatud hulgaliselt liitreaalsuses kasutatavaid õpiobjekte, mis aitavad läbi visualiseerimise omandada uusi teadmisi. Ehitusvaldkonnas on osutunud suurimaks probleemiks mobiilsete nutiseadmete väiksem võimekus võrreldes personaal- ja sülearvutitega, kuna ehitusinfo modelleerimise protsessis valmivad mudelid on väga infomahukad. Vaatamata sellele on juba praegu kasutusel rakendused, mis võimaldavad lihtsamatel juhtudel liitreaalsust ehituses kasutada.

Uuringus antakse ülevaade kirjandusest ja kasutusvaldkondadest ning tutvustatakse liitreaalsuse toimimise põhimõtet. Töös vaadeldakse mudeli ja nutiseadme positioneerimise meetodeid (markeripõhine, tunnusepõhine, mudelipõhine, sensoripõhine ja kombineeritud jälgimine), erinevaid rakendusi ning viiakse läbi praktilisi katseid, et selgitada välja nende kasutatavus ehitusvaldkonnas. Testimisel on keskendutud nutiseadmetele mõeldud rakendustele, mis töötavad iOS ja Android operatsioonisüsteemidel, kuna need on ühed kõige enam levinumad platvormid ning neile on loodud enim liitreaalsuse rakendusi. Liitreaalsuse rakendustest on vaid vähesed tasuta ning taustauuring näitas, et nende funktsionaalsus ei ületa oluliselt tasuta rakenduste omi – seetõttu otsustati uuringus keskenduda tasuta rakendustele, mis on kõigile kättesaadavad. Rakenduste funktsionaalsuse ja toimivuse hindamiseks koostatakse hindamiskriteeriumite kogum, mis iseloomustaks praktikas hästitoimivat ja ehitusvaldkonnas kasutatavat rakendust. Eraldi pööratakse tähelepanu rakendustele, kus kasutaja saab vaadelda enda poolt loodud mudelit. Kokkuvõttes esitatakse soovitusi ja lahendusi liitreaalsuse rakendamiseks.

Uuringu autorid on Martti Kiisa, Egert-Ronald Parts, Karin Lellep ja Henri Kompus. Töö käigus valmis ka Henri Kompuse lõputöö „Liit- ja virtuaalreaalsuse rakendatavus ehitusvaldkonna näitel“.

¹ Mõnede käsitluste järgi sisaldab liitreaalsus ka meelte kaudu saadavat infot (heli, lõhn, maitse), mida siinkohal pikemalt ei käsitleta.

1. TERMINID JA LÜHENDID

BIM (*building information model, building information modelling, building information management*)

Ehitusinformatsiooni mudel, modelleerimine, juhtimine

GNSS (*global navigation satellite system*)

Ülemaailmne satelliitnavigatsioonisüsteem

Jälgimine (*tracking*)

Raalnägemises kasutatav meetod, milles arvutatakse reaajas kaamera suhtelist asendit (asukohta ja orientatsiooni) mingi punkti suhtes

Liitreaalsus (*augmented reality, AR*)

Realse keskkonna ja virtuaalse keskkonna kombineerimine, kujutades endast virtuaalse informatsiooniga rikastatud reaalset keskkonda

Liitvirtuaalsus (*augmented virtuality, AV*)

Olukord, kus virtuaalsesse keskkonda on lisatud realse keskkonna elemente

Marker (*marker*)

Tähis või pilt, mida arvutisüsteem suudab tuvastada kasutades pilditöötlust, mustrite tuvastamist ja raalnägemise tehnikaid

Pistak (*plugin*)

Tarkvaralaiend, mis täiendab programmi kasutusvõimalusi

Rakendus (*application*)

Mobiilseadmetele mõeldud tarkvara, mille levitamist hallatakse enamjaolt operatsioonisüsteemide alusel (nt iOSil App Store, Androidil Google Play jne)

Renderdama ehk viimistlema (*render*)

Andmeid kasutajale esitatavasse vormi teisendama

Segunenud reaalsus (*mixed reality, MR*)

Üldkirjeldus olukorrale, kus reaalset keskkonda on rikastatud virtuaalse keskkonnaga või vastupidi

SLAM (*simultaneous localization and mapping*)

Samaaegne lokaliseerimine ja kaardistamine on protsess, mille käigus seade kaardistab tundmatut keskkonda ja samaaegselt määrab enda asendi selle suhtes

Tehisreaalsus ehk virtuaalreaalsus (*virtual reality, VR*)

Arvutiga genereeritav tehiskeskond

Paljud terminid on kirjeldatud põhjalikumalt aruandes ning siinkohal neid eraldi välja toodud ei ole.

2. ÜLEVAADE

2.1. Liitreaalsuse kasutusvõimalused ja piirangud²

Liitreaalsus on arenev tehnoloogia, mis on viimastel aastatel äratanud suurt huvi paljudes valdkondades, kaasa arvatud ehitussektoris. Selle tehnoloogia jätkuva arengu ja lahenduste täienemisel on oodata, et liitreaalsusest saab BIM-i kasutusvõimalusi mitmekülgsest laiendav lahendus. Käesolev peatükk on jaotatud osadeks, mis käsitlevad selle kasutusvõimalusi ehitise kavandamise, rajamise ja kasutamise etappides. Lisaks on välja toodud põhjused, mis hetkel piiravad liitreaalsuse kasutuselevõttu ehitussektoris – nendeks on peamiselt tehnoloogiast ja inimfaktorist tingitud probleemid.

2.1.1. Kavandamise faas

Liitreaalsus võimaldab visualiseerida kavandatud objekti (nt hoone) ettenähtud asukohas ja tegelikus suuruses. Objekti täpne paigutus ja mõõtkava lihtsustavad kasutajatel visualiseeritud lahenduse mõistmist ja hindamist. Seeläbi on kavandatud mudel osapooltele üheselt mõistetav ja lihtsustab osapoolte (projekteerimismeeskonna liikmed, tellija ja projekteerija) vaheline suhtlus. Liitreaalsuse kasutamine hoone kavandamise protsessis suurendab ehitist ümbritseva keskkonna arvestamist hoone kavandamisel.

Tuleviku liitreaalsuse rakendused võimaldavad teostada vastuolude kontrolli virtuaalsete elementide ja päris keskkonnas olevate objektide vahel. Lisaks saab hoone kavandamise protsessis kasutada liitreaalsuses 4D lahendusi (3D geomeetria ja aeg), mis võimaldavad tegelikus keskkonnas olevale objektile lisada simulatsioone (näiteks päeavalgussimulatsioon, energiasimulatsioon jms).

2.1.2. Ehitamise faas

Ehitusinfo mudelite kasutamisel liitreaalsuses on kolm peamist kasutusviisi: visualiseerimaks seda, mida ei ole veel ehitatud; kuvamaks seda, mis on peidetud (nt konstruktsiooni sees olevad kommunikatsioonid); ja kujutamaks seda, mida ei ole võimalik näha (nt krundi piir, ruumi kubatuur). Ehitusinfo mudeli andmeid saab siduda tegeliku ehitusplatsiga. See võimaldab läbi liitreaalsuse kuvada ehituse käigus mudeli/projekti informatsiooni otse ehitusplatsile. Seeläbi saab võrrelda, millised osad on valmis ehitatud ja mida tuleb järgnevalt ehitada (4D informatsiooni ja tegeliku olukorra sidumine). See abistab ehitusplatsil ehitusjärelevalve teostamist ja lihtsustab ehitise valmimise jälgimist. BIM koos liitreaalsusega võimaldab täpselt määrata näiteks ehitise elementide paigaldamise asukohta, aitab määrata materjalide, varustuse ja seadmete asukohta ehitusplatsil ning võimaldab kuvada kasutatud elementide omadusi ja parameetreid. Elemendi paigaldamisel on monterijal võimalik liitreaalsuse abil kuvada elemendile täiendavat informatsiooni ja juhiseid selle monteerimiseks. Liitreaalsust saab kasutada ehitusplatsil enda asukoha määramiseks ja navigeerimiseks. Navigeerimisel arvestab süsteem ehitamise hetkeolukorda ja kavandab liikumise teekonna vastavalt hetkeolukorrale.

² Käesolevas peatükis on refereeritud uurimistööd „Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction, and Post-Completion” [50].

2.1.3. Haldamise faas

Liitreaalsust saab kasutada valminud ehitise tehnosüsteemide hindamiseks ja kontrollimiseks. Sidudes hoone haldusmudeli informatsiooni ja liitreaalsuse võimalused on võimalik määrata hoone konstruktsioonides olevate kommunikatsioonide asukohti ilma konstruktsioone avamata. Lisaks võimaldab haldusmudeli täiendav informatsioon kuvada, millal on tarvis teostada süsteemidele hooldustöid ja vahetada välja komponente. Liitreaalsusega edastatav täiendav informatsioon võimaldab ka vähese kogemusega kasutajatel teostada näiteks keerukamaid tehnosüsteemide hooldustöid. Täiendav informatsioon kuvatakse vastavale süsteemiosale ja kasutaja juhendatakse samm-sammult läbi hoolduse teostamise etappide.

2.1.4. Tehnoloogilised takistused

Kuvar

Liitreaalsusseadmete kuvarid peavad olema sobivad ettenähtud töö tegemiseks vastavas keskkonnas. Enamik tänapäeval kasutatavatest liitreaalsuse rakendustest kasutavad ekraanipõhiseid kuvareid (nutitelefonid, tahvelarvutid). Nende kasutamine välitingimustes päikesepaistelise ilmaga on raskendatud, sest läikiv ekraan peegeldab tagasi valgust ja seetõttu on need sobilikumad kasutamiseks sisetingimustes. Lisaks, kui rakendused nõuavad suurt täpsust, pikka kestvust ja realistlikku pilti, siis on määravateks teguriteks nutiseadme aku kestvus, ekraani suurus ja pildi kvaliteet.

Ekraanipõhised kuvarid on sobilikud kasutamiseks ehitise kavandamise ja haldamise faasis, kuid hoone ehitamise faasis on pigem tarvis, et kasutaja käed oleksid vabad. Sellisel juhul oleks võimalik kasutada nutiprille. Nende kasutamist mõjutavad aku kestvus, kaal, liitreaalsust kuvava ekraani suurus ja kaabelühenduste olemasolu. Seadme poolt kuvatava pildi kvaliteet avaldab otsest mõju kasutuskogemusele. Liitreaalsust kuvava ekraani kaugus silmast võib põhjustada pikaajalisel kasutamisel silmade väsimust. Tulevased erialaseks kasutuseks mõeldud nutiprillid peavad lahendama probleemid, mis mõjutavad kasutajate tervist ja turvalisust, nutiseadme töökindlust ettenähtud keskkonnas ja nende kandmise sotsiaalset mõju.

Jälgimine

Hoone ehituse ja haldamise faasis peab liitreaalsuse jälgimissüsteem toimima kogu ehitise ulatuses ja samas tagama piisava täpsuse. Mitmekorruseliste hoonete puhul peab jälgimissüsteem toetama kõrguse muutumise registreerimist ja suutma arvestada nutiseadme kasutaja pikkusega kuvades virtuaalseid objekte. Tänapäevased jälgimissüsteemid ei ole veel piisavalt arenenud, et suudaksid tagada piisava täpsuse ja vajaliku töökindluse erinevates olukordades. GNSS poolt tagatav positsioneerimise täpsus jääb vahemikku 5-20 m – selle täpsust mõjutavad nt ilmastikutingimused ja ümbritsev keskkond (nt kõrged hooned, puud jne). Lisaks töötab GNSS peamiselt välitingimustes. Sisetingimustes kasutatakse liitreaalsuse tekitamiseks valdavalt markereid. Markerite puudusteks on, et ajapikku võivad nad oma kujult deformeeruda, ehitustööd võivad need ära varjata ning nende tuvastamine jälgimissüsteemi poolt sõltub keskkonna valgustingimustest ja kaamera vaateväljast. Tulevikus lahendab need probleemid ilmselt kombineeritud jälgimismeetodite kasutamine.

Failiformaat ja andmetöötlus

Virtuaalsete mudelite valmistamine on liitreaalsuse jaoks problemaatiline, sest BIM protsessis kasutatavad tarkvarad valmistavad mudeleid mitmes erinevas formaadis (vt [lisa 3](#)), kuid liitreaalsuse

tarkvaras on neist võimalik kasutada väheseid. Mudeli sobilikule formaadile viimisel võib esineda informatsiooni kadu ja sobiliku formaadi korral vajab mudel üldiselt täiendavat optimeerimist ja seadistamist.

Liitreaalsuse kasutatavuse lihtsustamiseks tuleks kasutusele võtta failiformaat (nagu BIM tarkvarade puhul on .ifc), mis võimaldab kadudeta informatsiooni edastamist (BIM tarkvarast liitreaalsuse rakendustesse ja vastupidi). Sobiliku formaadi väljatöötamisel on liitreaalsuse kasutatavusel järgmiseks kitsaskohaks nutiseade, mis on veel piiratud võimekusega. Enamikele tänapäeval müügis olevatest nutiseadmetest on realistlike liitreaalsuse stseenide loomine (tegeliku keskkonna varjestamine, valgustingimused, varjud jne) üle jõu käiv.

2.1.5. Inimfaktor

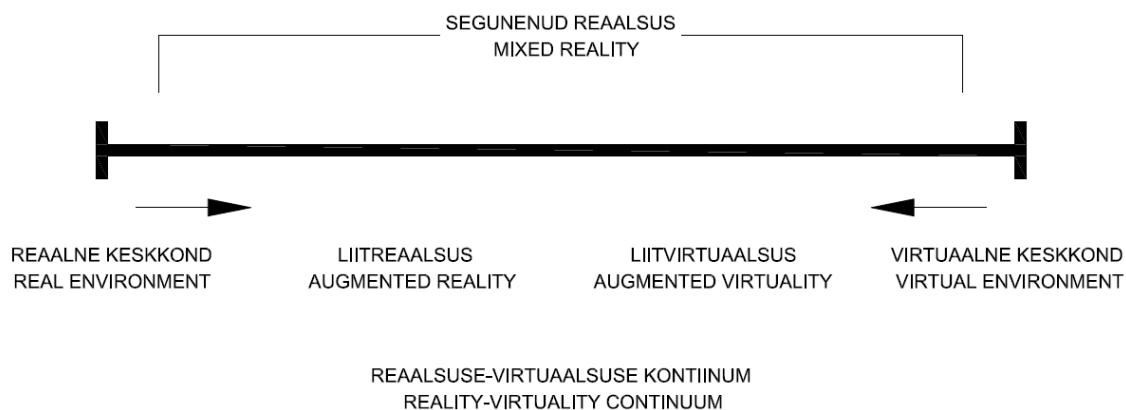
Liitreaalsuse lahenduste kasutuselevõtu soodustamiseks peavad rakendused olema piisavalt kasutajasõbralikud, et neid saaks kasutada ilma täiendava juhendamiseta. Lisaks on liitreaalsussüsteemi lahutamatuks osaks kaamera, millel võib olla märgatav mõju vaatevälja jäävale inimesele ning mis tekitab inimeses stressi ja muuta tema käitumist.

Liitreaalsuse rakendused, mille eesmärk on suurendada tööohutust ehitusplatsil (näiteks tuues esile ehitusplatsil olevad ohutsoonid), ei tohi tekitada olukorda, kus kasutaja tugineb ohtude märkamiseks ainult rakenduse poolt esitatud informatsioonile.

2.2. Liitreaalsuse olemus

Esmakordselt võttis termini **liitreaalsus** kasutusele 1992. a **Tom Caudell** [1]. Ta pidas selle all silmas lennukompaniile Boeing väljatöötatud peaskantavat seadet (**joonis 7**), mis abistas töölisi juhtmekimpude paigaldamisel lennukitesse.

1994. a kirjeldas **Paul Milgram** reaalsuse-virtuaalsuse kontiinumit [2] [3], mida mõnedes allikates on nimetatud ka segunenud reaalsuse kontiinumiks. See kujutab endas kogumit, mille äärmusteks on reaalne ja virtuaalne keskkond (**joonis 1**). Nende kahe äärmuse vahele jääb segunenud reaalsus, mis jaguneb liitreaalsuseks ja liitvirtuaalsuseks. Teisisõnu ühendab segunenud reaalsus omavahel reaalse ja virtuaalse maailma, millega on tekitatud uus keskkond, kus eksisteerivad koos nii füüsilised kui ka digitaalsed objektid.



Joonis 1. Paul Milgrami reaalsuse-virtuaalsuse kontiinum [2]

Reaalses keskkonnas (*real environment*, lüh. *RE*) puuduvad igasugused virtuaalse keskkonna komponendid ja tunnused.

Virtuaalne keskkond (*virtual environment*, lüh. *VE*) ehk **tehisreaalsus** või **virtuaalreaalsus** (*virtual reality*, lüh. *VR*) seisneb selles, et arvuti abil genereeritakse tehiskeskkond, mis ei ole seotud reaalse keskkonnaga.

Segunenud reaalsus (*mixed reality*, lüh. *MR*) on üldkirjeldus olukorrale, kus reaalsel keskkonda on rikastatud virtuaalse keskkonnaga või vastupidi. Segunenud reaalsus kujutab endast kõikvõimalikke reaalsuse ja virtuaalsuse kombinatsioone.

Liitreaalsus (*augmented reality*, lüh. *AR*), mida nimetatakse ka **rikastatud** või **laiendatud reaalsuseks**, on reaalse keskkonna ja virtuaalse keskkonna kombineerimine, kujutades endast virtuaalse informatsiooniga rikastatud reaalsel keskkonda. Teisisõnu on liitreaalsus tehnoloogia, mis võimaldab arvuti abil loodud virtuaalseid objekte ja informatsiooni (3D mudel, pilt, video, animatsioon, heli jne) reaalajas üle kanda reaalsesse keskkonda [4] [5].

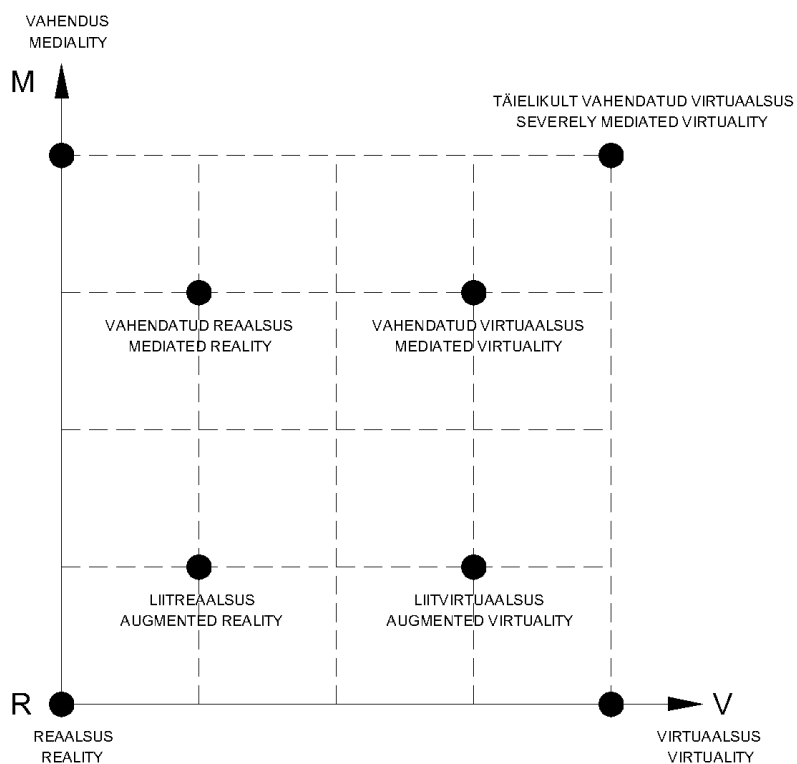
Liitvirtuaalsuse (*augmented virtuality*, lüh. *AV*) korral lisatakse virtuaalsesse keskkonda reaalse keskkonna elemente (nt virtuaalsesse keskkonda lisatakse reaalajas videopilt).

1997. a tutvustas **Ronald Azuma** esimest põhjalikumalt uurimistööd liitreaalsusest [4]. Töös kirjeldas ta liitreaalsuse kolme siimaani kasutatavat tähtsat tunnus:

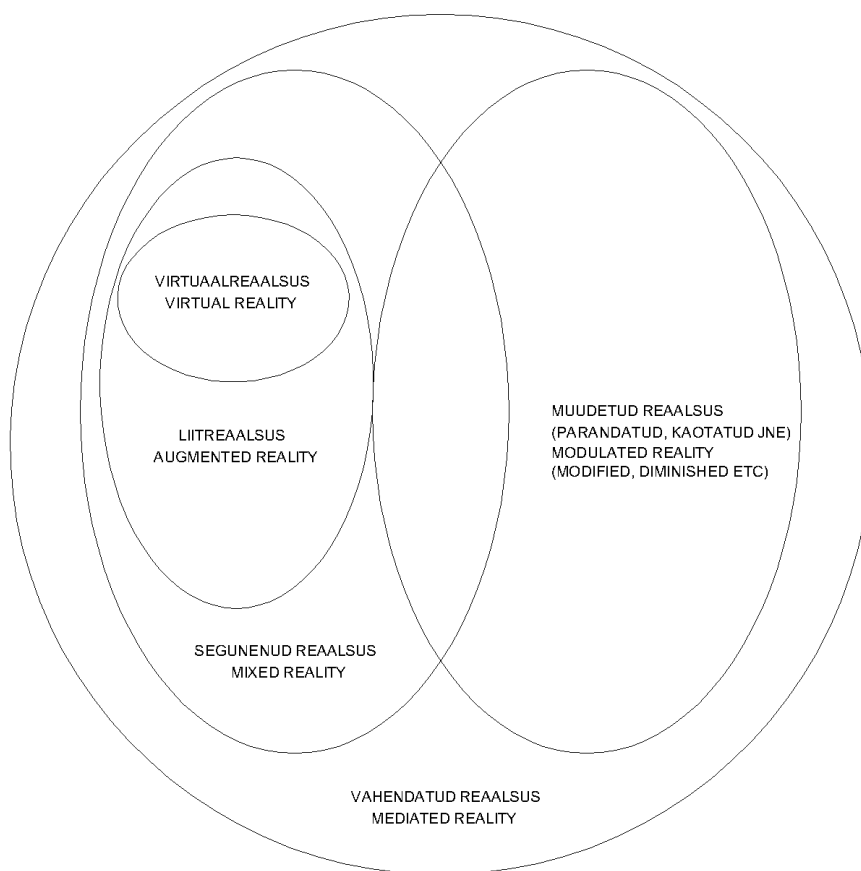
- see kombineerib reaalsuse ja virtuaalsuse;
- see on reaalajas interaktiivne;
- see on kolmemõõtmeline.

2002. a täiendas **Steve Mann** reaalsuse-virtuaalsuse kontiinumit, lisades sellele teise telje täiendavate nn manipulatsioonivormide kirjeldamiseks [6] (**joonis 2**) – kui seni käsitleti segunenud reaalsusena pigem objektide lisamist, siis nüüd vaadeldi ka nende muutmist, eemaldamist ning peitmist. See kahemõõtmeline reaalsuse-virtuaalsuse-vahendamise kontiinum defineerib uute mõistetena ka vahendatud reaalsuse ja vahendatud virtuaalsuse.

Vahendatud reaalsus (*mediated reality*) on Manni järgi olukord, kus inimese ettekujutus reaalsusest on mingil viisil manipuleeritud (**joonis 3**). Reaalsust võib seejuures muuta mitut moodi – objekte võib lisada (**liitreaalsus**, *augmented reality*), eemaldada (**vähendatud reaalsus**, *diminished reality*) või muuta mingil muul viisil (**muudetud reaalsus**, *modulated reality*). Vähendatud reaalsuse korral eemaldatakse keskkonnast reaalselt eksisteerivaid objekte, seega võib seda lugeda liitreaalsuse vastandiks.



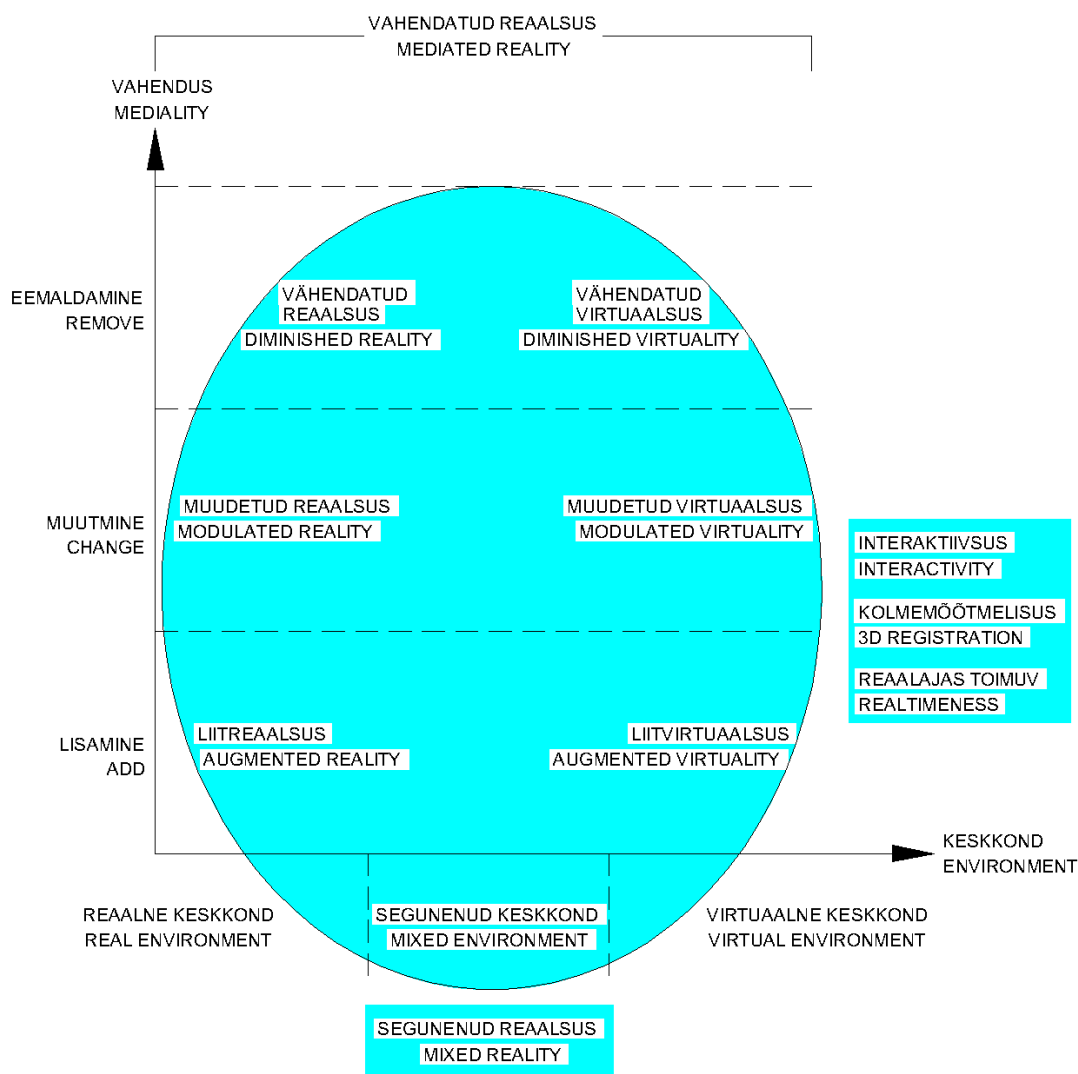
Joonis 2. Steve Manni reaalsuse-virtuaalsuse-vahendamise kontiinum [6]



Joonis 3. Diagramm Steve Manni reaalsuse-virtuaalsuse-vahendamise kontiinumi selgitamiseks [6]

Tänapäeval baseeruvad enamus liitreaalsuse ja segunenud reaalsusega seotud definitsioone Milgrami, Azuma ja Manni poolt väljatöötatud põhimõtetele. Sellele vaatamata on piiri erinevate kategooriate vahele raske tõmmata ja kohati esineb ka vastuolusid. Näiteks defineerib Mann virtuaalreaalsust kui segunenud reaalsuse alamstruktuuri, samas aga Azuma eraldab need täielikult teineteisest.

Käesoleva töö autorite arvates on kõige ülevaatlikuma kontseptsiooni vahendatud reaalsusest esitanud Sanni Siltanen 2012. a (joonis 4) [7]. Diagrammi horisontaalteljel on kujutatud äärmustena reaalsust ja virtuaalsust, mille keskele jääb segunenud keskkond. Vertikaalteljel on kirjeldatud kõikvõimalikke meetodeid (lisamine, muutmine, eemaldamine), millega saab keskkondi mõjutada. Vahendatud reaalsus sisaldab endas kõiki segunenud reaalsuse vorme. Ning vahendatud reaalsuse seda osa, mis sisaldab interaktiivsust, kolmemõõtmelisust ja reaajas toimuvat, defineeritakse kui segunenud reaalsust. On oluline teada, et vahendatud reaalsus on näiteks ka ajakirjafotode retušeerimine, kuid kuna puuduvad eelmises lauses kirjeldatud tunnused, siis ei saa seda segunenud reaalsuseks lugeda.



Joonis 4. Sanni Siltaneni kontseptsioon vahendatud reaalsusest [7]

2.3. Liitreaalsuse ajalugu

Kuigi nii liit- kui ka tehisreaalsuse tehnoloogia on eriti jõudsalt arenenud viimase paarikümne aasta jooksul, on selle valdkonnaga tegeletud üle poole sajandi. Eriti intensiivne areng on toimunud viimase kümnekonna aasta jooksul eelkõige seoses mobiilsete seadmete progresseeruva arenguga.

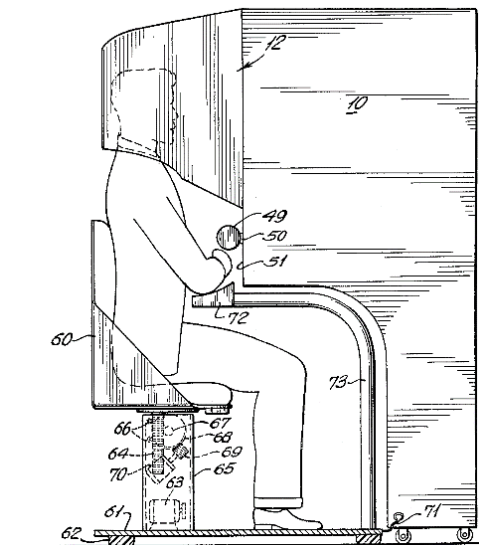
Käesolevas peatükis on tehtud lühikokkuvõtte liitreaalsuse ajaloost ning ära toodud ainult selle tähtsamad verstapostid, mis on pannud aluse liitreaalsusele tänapäevases mõistes. Väga hea ülevaate liitreaalsuse arengust on koostanud Arth *et al.* 2015 [8] ja Siltanen 2012 [7], millele siinkohal on valdavalt tuginetud.

1962

- Laialt levinud arusaama järgi pani aluse liitreaalsuse edasisele arengule Morton Heilig, kes patenteeris 1962 aastal simulaatori nimega Sensorama (joonis 5). Leidub viiteid, et töö selle seadme kallal algas 1957. a. Seade edastas kasutajale lisaks stereoskoopilisele pildile ja helile ka lõhna ning vibratsiooni ning pidi olema tulevikukino prototüübiks. Seade on mehaaniline ning senini töokorras.

1968

- Ivan Sutherland valmistas esimese liitreaalsuse peakomplekti. Seade võimaldas kuvada ainult kõige lihtsamaid jooniseid (foto 1).



Joonis 5. Morton Heiligi loodud Sensorama simulaator (1962) [9]



Foto 1. Ivan Sutherlandi konstrueeritud liitreaalsuse peakomplekt (1968) [10]

1972

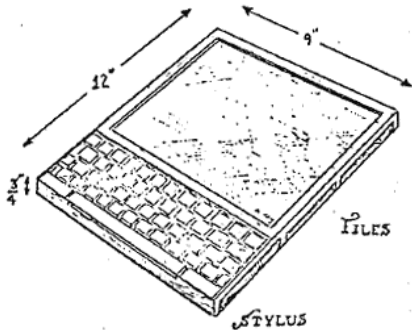
- Alan Kay tutvustas esmakordselt tahvelarvuti kontseptsiooni – Dynabook (joonis 6). Mehaanilise klaviatuuriga seade oli mõeldud lastele.

1973

- Motorola ja Martin Cooper esitlesid esimest kaasaskantavat mobiiltelefoni (foto 2). Seadme nimi oli DynaTAC for Dynamic Adaptive Total Area Coverage ja see võimaldas 35 minutit kõneaega.

1982

- Valmis esimene sülearvuti – Grid Compass 1100 (foto 3). Arvutiekraani resolutsioon oli 320×240 pikslit, mälu maht 350 kB ning seadme kogukaal 5 kg.



Joonis 6. Esimese tahvelarvuti kontseptsioon – Dynabook (1972) [11]



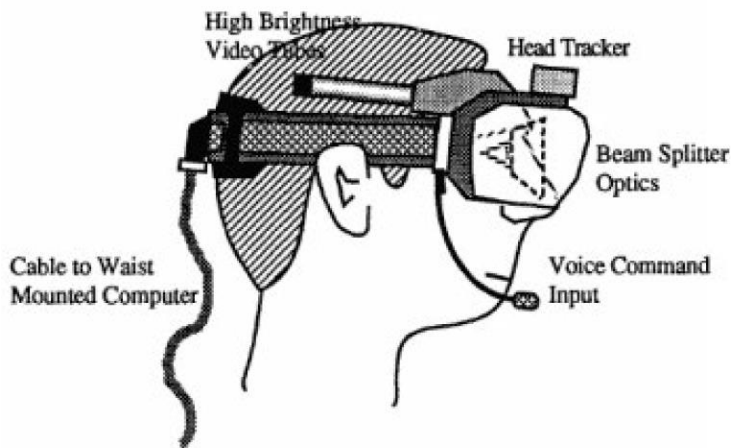
Foto 2. Esimene kaasaskantav mobiiltelefon (1973) [8]



Foto 3. Esimene sülearvuti – Grid Compass 1100 (1982) [12]

1992

- Tom Caudell ja David Mizzell avaldasid konverentsikogumikus artikli [1], kus võtsid esmakordselt kasutusele termini *augmented reality*. Väidetavalt olid nad seda terminit kasutanud juba ka paari varasema aasta jooksul, kui töötasid lennukompaniile Boeing välja peaskantavat seadet, mis abistas töölisi juhtmekimpude paigaldamisel lennukitesse (joonis 7).
- IBM ja Bellsouth tutvustasid esimest nutitelefoni IBM Simon Personal Communicator (foto 4). Telefoni mälu maht oli 1 MB, puuetundliku ekraani resolutsioon 160×293 pikslit ning kaal 500 g.



Joonis 7. Liitreaalsust tekitav peakomplekt, mis oli välja töötatud juhtmehete paigaldamiseks lennukitesse (1992) [1]



Foto 4. Esimene nutitelefoni – IBM Simon Personal Communicator (1992) [13]

1993

- Alustas tööd GPS (*global positioning system*) ametliku nimega NAVSTAR-GPS (foto 5).

1994

- Paul Milgram tutvustas reaalsuse-virtuaalsuse kontiinumit (joonis 8), kus kirjeldas reaalse ja virtuaalse keskkonna vahele jäävat segunenud reaalsust, mis jaguneb liitreaalsuseks ja liitvirtuaalsuseks [2] [3].

1996

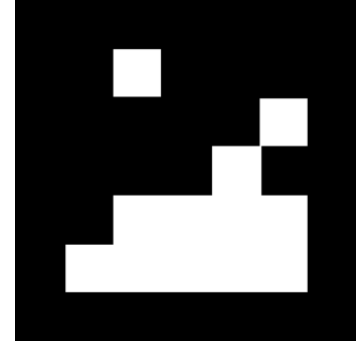
- Jun Rekimoto esitles konverentsikogumikus [14] esmakordselt nn 2D maatriksmarkerit ehk ruudukujulist vötkoodi (**joonis 9**), mis võimaldab seadme poosi määrata kuue vabadusastmega (kolmemõõtmeline ruumiline asukoht ja kolmemõõtmeline orientatsioon).



Foto 5. NAVSTAR-GPS (1993) [8]



Joonis 8. Paul Milgrami reaalsuse-virtuaalsuse kontiinum (1994) [3]



Joonis 9. Jun Rekimoto 2D maatriksmarker (1996) [14]

1997

- Ronald Azuma avaldas esimese põhjalikuma uurimistöö liitreaalsusest [4], kus kirjeldas liitreaalsuse tähtsamaid tunnuseid.
- Steve Feiner *et al.* esitlesid esimest mobiilset liitreaalsuse seadet Touring Machine (**foto 6**) [15].
- Philippe Kahn töötas välja esimese kaameratelefoni.

1999

- Hirokazu Kato avaldas liitreaalsusega seotud rakenduste kirjutamiseks mõeldud ARToolKiti, millel baseeruvad paljud tänased liitreaalsust kasutavad programmid.
- Töötati välja esimene GPS-vastuvõtjaga GSM-telefon Benefon Esc! NT2002 (**foto 7**).
- Defineeriti WiFi protokoll.

2000

- Bruce Thomas *et al.* esitlesid esimest mobiilset välitingimustes töötavat liitreaalsusel põhineva mängu ARQuake prototüüpi (**foto 8**) [16].



Foto 6. Esimene mobiilne liitreaalsuse seade – Touring Machine (1997) [15]



Foto 7. Esimene GPS-vastuvõtjaga GSM-telefon Benefon Esc! NT2002 (1999) [8]

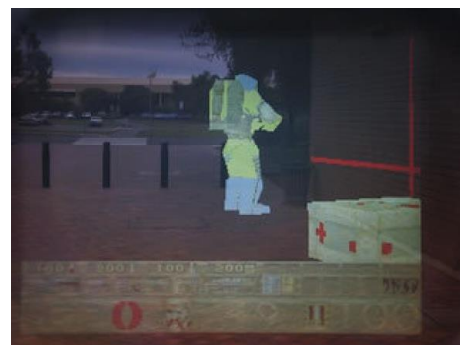


Foto 8. Esimene mobiilne välitingimustes töötav liitreaalsusel põhinev mäng ARQuake (2000) [16]

2004

- Mathias Möhring *et al.* tutvustasid 3D markerit [17] (**foto 9**).

2005

- Müüdi esimesed mobiiltelefonid, mis olid varustatud kolmeteljelise kiirendusanduriga – Sharp V603SH ja Samsung SCH-S310.

2006

- G. Reitmayr ja T. Drummond tutvustasid esmakordselt välitingimustes töötavat mudelipõhist hübriidset jälgimissüsteemi (*model-based hybrid tracking system*) liitreaalsuse rakenduste jaoks. Meetod kasutas positsioneerimisel muuhulgas reaalses keskkonnas esinevaid servi, güroskoopi ning gravitatsiooni- ja magnetvälja [18].

2011

- Qi Pan *et al.* tutvustasid oma tööd [19], mille põhjal saab panoraamfotode põhjal koostada objekti mudeli (foto 10).



Foto 9. Mathias Möhring *et al.* 3D marker (2004) [17]



Foto 10. Qi Pan *et al.* panoraamfotode põhjal koostatud mudel (2011) [19]

2016

- Samsung patenteeris nutikad silmaläätsed, mis võimaldavad mikroprojektoril abil kuvada mängu, pilte ja videoid otse inimesele silma.

2.4. Liitreaalsuse tekitamise põhimõte³

Lihtsustatult koosneb liitreaalsuse süsteem kaamerast, seadmest ja ekraanist. Kaameraga tekitatakse pilt, liitreaalsuse süsteem kuvab virtuaalse objekti kaamera pildi peale ja näitab tulemust.

Foto 11 on illustreeritud lihtsat markeripõhist liitreaalsuse süsteemi. Seadme kaamera jälgib keskkonda ning tuvastab keskkonnas paikneva markeri, mille alusel tuletatakse kaamera asukoht ja orientatsioon. Seejärel liidab süsteem virtuaalse objekti (käesolevalt hoonekompleksi mudeli) kaamera pildile ning kuvab selle seadme ekraanil.

³ Siinkohal on refereeritud uuringut „Theory and applications of marker-based augmented reality“ [7].

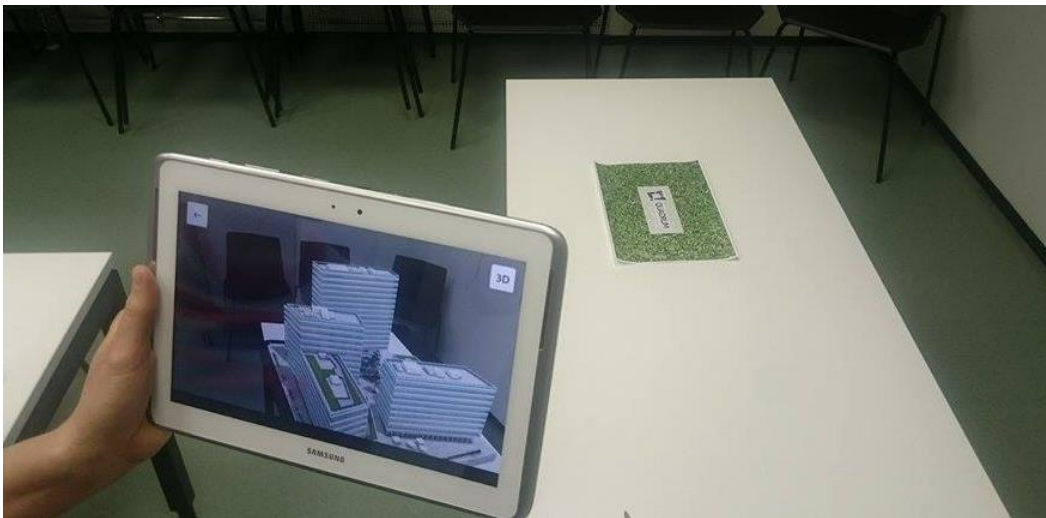
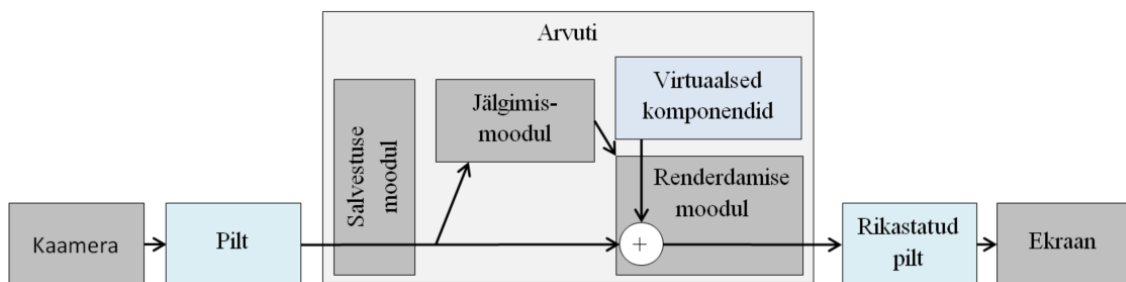


Foto 11. Näide lihtsast liitreaalsuse süsteemi ülesehitusest

Joonisel 10 on toodud lihtsa liitreaalsuse süsteemi vooskeem. Salvestuse moodul salvestab kaameralt saadava pildi. Jälgimise moodul arvutab virtuaalse objekti õige kuvamise asukohta. Renderdamise moodul kombineerib kaamerapildi virtuaalsete komponentidega, kasutades selleks seadme arvutatud asukohta ning seejärel renderdab kujutise ekraanile.



Joonis 10. Lihtsa liitreaalsuse süsteemi vooskeem [7]

Jälgimismoodul on liitreaalsuse süsteemi süda – see arvutab kaamera suhtelist poosi reaalajas. Mõiste poos tähendab ruumilist asukohta ja orientatsiooni ehk asendit, mis on määratud kuue vabadusastmega. Lihtsaim viis poosi arvutamiseks on kasutada markerit – seetõttu käsitletakse esmalt markeripõhiseid jälgimismeetodeid ning seejärel tunnusepõhiseid ja kombineeritud meetodeid.

Jälgimismoodul võimaldab süsteemil lisada ekraanivaatele virtuaalseid komponente nagu need oleksid osa reaalsusest. Põhiline erinevus võrreldes teiste pilditötlusvahenditega seisneb selles, et liitreaalsuses liigutatakse ja pööratakse virtuaalseid objekte 2D koordinaatide asemel 3D koordinaatides.

Renderdamise moodul kuvab virtuaalse pildi kaamerast tuleneva reaalse pildi peal. Arvutigraafikas projitseeritakse virtuaalne stseen tasapinnalisel pildil kasutades virtuaalset kaamerat, misjärel see projektsioon renderdatakse. Liitreaalsuse tekitamine seisneb selles, et kasutatav virtuaalne kaamera peab olema võimalikult sarnane süsteemi tegelikule kaamerale. Sel juhul projitseeritakse virtuaalseid objekte sarnaselt reaalsesega ning tulemus on veenev. Selleks, et matkida tegelikku kaamerat, peab süsteem teadma kaamera optilisi tunnuseid. Nende tunnuste tuvastamist nimetatakse kaamera kalibreerimiseks, mis võib olla AR süsteemi osa või eraldi protsess.

Seadmete valik liitreaalsuse tekitamiseks on mitmekesine. Need süsteemid saavad töötada personaalarvutil, sülearvutil, tahvelarvutil, nutitefonil või muul sarnasel seadmel. Sõltuvalt selle rakendamisest saab nende seadmete puhul kasutada kas digitaalset kaamerat, USB kaamerat, FireWire kaamerat või seadmesse sisseehitatud kaamerat. Kuvamiseks on võimalik kasutada erinevaid peas kantavaid seadmeid (nn nutiprille), väliseid kuvareid või tänapäeval enim kasutatavate mobiilsete seadmete (nutitefonid ja tahvelarvutid) ekraani. Kokkuvõttes sõltub liitreaalsuse tekitamiseks sobiv tehniline lahendus selle kasutamiststarbest ja keskkonnast.

2.5. Kirjanduse ülevaade

Alates 1992. aastast, mil esmakordselt võeti kasutusele termin liitreaalsus, on avaldatud hulgaliselt selleteemalisi teaduslikke artikleid ja uuringuid. Samuti on avaldatud rohkelt populaarteaduslikke artikleid ning veebilehti, millel siinkohal pikemalt ei peatuta.

Tabelisse 1 on ajalises järjestuses koondatud valik publikatsioone, mis annavad lühiülevaate liitreaalsuse arengust. Kuna vaadeldav valdkond areneb väga kiiresti, siis on keskendunud pigem viimaste aastate publikatsioonidele ning vanematest on ära toodud tervikpildist parema ülevaate saamiseks vaid kõige tähtsamad.

Tabel 1. Kirjanduse lühiülevaade

Publikatsioon	Link	Lühikirjeldus
Augmented reality: an Application of Headsup Display Technology to Manual Manufacturing Processes [T. P. Caudell ja D. W. Mizell, 1992]		Liitreaalsuse esmakordne mainimine
A taxonomy of mixed reality visual displays [P. Milgram ja F. Kishino, 1994]	Vaata	Kirjeldatakse reaalsuse-virtuaalsuse kontinuumi, kus reaalse ja virtuaalse keskkonna vahele jääb segunenud reaalsus, mis jaguneb liitreaalsuseks ja liitvirtuaalsuseks
A Survey of Augmented Reality [R. T. Azuma, 1997]	Vaata	Esimene põhjalik uurimistö liitreaalsusest, kus kirjeldatakse liitreaalsuse kolme siimani kasutatavat tähtsat tunnust: reaalsuse ja virtuaalsuse kombineerimine, interaktiivsus reaalses ja kolmemõõtmelises. Seda uurimust loetakse kõige rohkem tsiteeritud publikatsiooniks liitreaalsuse valdkonnas
Augmented Reality for Exterior Construction Applications [G. Klinker, D. Stricker, D. Reiners, 2001]	Vaata	Ülevaade liitreaalsuse kasutusvõimalustest ehitusprotsessis. Muuhulgas käsitletakse vähendatud reaalsust, mille korral eemaldatakse keskkonnast realselt eksisteerivaid objekte
Mediated Reality with Implementations for Everyday Life [S. Mann, 2002]	Vaata	Täiendatakse reaalsuse-virtuaalsuse kontinuumi, lisades sellele teise telje täiendavate nn manipulatsioonivormide kirjeldamiseks – lisaks objektide lisamisele vaadeldakse ka nende muutmist, eemaldamist ning peitmist. Uute mõistetena defineeritakse vahendatud reaalsus ja vahendatud virtuaalsus

Augmented Reality: An Overview [J. Carmigniani ja B. Furht, 2011]	Vaata	Kompaktne ülevaade liitreaalsuse ajaloost ja võimalustest
Mobile Mixed Reality System for Architectural and Construction Site Visualization [C. Woodward ja M. Hakkarainen, 2011]	Vaata	VTT (<i>Technical Research Centre of Finland</i>) ülevaade nende poolt arendatud liitreaalsusega seotud tarkvaradest, mis on mõeldud ehitusprotsessi visualiseerimiseks
Theory and Applications of Marker-based Augmented Reality [S. Siltanen, 2012]	Vaata	Suurepärane ülevaade liitreaalsuse hetkeseisust, kus põhjalikumalt on käsitletud markeripõhist jälgimismeetodit. Autor on esitanud väga põhjaliku kontseptsiooni vahendatud reaalsusest tervikuna
Robust Monocular SLAM in Dynamic Environments [W. T. Haomin, L. Z. Dong, G. Zhang ja H. Bao, 2013]	Vaata	Kirjeldatakse SLAM-tehnoloogiat ning selle arendamist
Implementation and Evaluation of a Mobile Augmented Reality System for Building Maintenance [C. Woodward, T. Kuula, P. Honkamaa, M. Hakkarainen ja P. Kemppe, 2014]	Vaata	VTT uuring näitab, et mobiilse liitreaalsuse kasutamisel hoone haldamisel on arvestatav potentsiaal
Sensor-Aided Visual Camera Localization and Tracking for Handheld Augmented Reality [D. Kurz, 2014]	Vaata	Doktoritöö käsitleb põhjalikult erinevaid jälgimismeetodeid ja nutiseadmete sensoreid
Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction, and Post-Completion [R. Abboud, 2014]	Vaata	Uuring analüüsib paarikümne näite abil, kuidas on mobiilne liitreaalsus kasutatav projekteerimise, ehitamise ja haldamise etappides. Tõdetakse, et põhimõtteliselt on see rakendatav, kuid eeldab mõningate tehnoloogiliste (eelkõige täpsusega seonduv), sotsiaalsete ja finantsiliste takistuste ületamist
4D Building Information Modelling With Augmented Reality on Mobile Devices to Support Construction Management: Applications and key performance criteria from a stakeholder perspective [J. Vaai, 2014]	Vaata	Mahukas uurimus käsitleb 4D BIM rakendatavust kogu ehitise elukaare jooksul olemasolevate tarkvarade näitel. Viiakse läbi mitmeid rakenduslikke eksperimente, kus analüüsitakse AR ja VR tarkvarade võimalusi ja kitsaskohti
Augmented Reality and GIS: On the Possibilities and Limits of Markerless AR [F. Schmid ja D. Langerenken, 2014]	Vaata	Artiklis kirjeldatakse uuringut, mis analüüsib markerivaba jälgimismeetodi rakendatavust liitreaalsuse kasutamisel. Eksperimendid näitasid, et peamised piirangud on seotud GPSi täpsusega, mis 80% juhtudest jäid vahemikku 5-6 m
The History of Mobile Augmented Reality [C. Arth, L. Gruber, R. Grasset, T. Langlotz, A. Mulloni, D. Schmalstieg ja D. Wagner, 2015]	Vaata	Faktiderohke ülevaade liitreaalsuse kujunemise ajaloost ajavahemikus 1968-2015

3. NUTISEADMED

Nutiseadmeks nimetatakse seadet, millel on ekraan informatsiooni kuvamiseks, operatsioonisüsteem ja mitmed sensorid. Nutiseadmed on nutitelefonid, tahvelarvutid, nutiprillid, nutikellad jne. Sensorid laiendavad seadmete funktsionaalsust, lisades neile uusi kasutusvaldkondi.

Nutitelefoni on mobiiltelefon, millel on lisaks helistamise võimalusele personaalarvutiga sarnaseid kasutusomadusi. Tahvelarvuti on mobiilne nutiseade, mis on nutitelefoni mõõtmetelt ja jõudluselt suurem ning mille ekraani diagonaal on valdavalt 20...25 cm (8...10 tolli). Nutitelefoni ja tahvelarvutite esimesed töökindlad prototüübid valmisid 80-ndate lõpus ja esimesed seadmed jõudsid seeriatootmisse järgmise kümnendi alguses.

Kaasaegses nutitelefoni ja tahvelarvutis olevad sensorid (tabel 2) ja riistavara on üldjuhul sobivad liitreaalsuse kuvamiseks. Liitreaalsust on mugavam vaadata tahvelarvutist, sest suuremal ekraanil on kujutis lihtsamini vaadeldav ja detailid paremini märgatavad.

Tabel 2. Valik nutiseadmete sensoreid

Sensor	Põhimõte	Kasutusvaldkond
Kiirendusandur	Mõõdab gravitatsioonist sõltumatut seadme kiirendust	Kaamera stabilisaator, ekraani pööramine, sammulugeja
Güroskoop	Määrab seadme orientatsiooni gravitatsiooni abil	Võimaldab vaadata 360°-fotosid ja videoid
Digitaalne kompass	Mõõdab magnetvälja suunda ja tugevust	Navigeerimine, kompass
Lähedussensor	Mõõdab ekraani ja selle lähedal oleva objekti kaugust	Helistamisel lülitab näo läheduses ekraani välja
Valgussensor	Mõõdab ümbritsevat valgustugevust	Ekraani heleduse automaatne muutmine
Baromeeter	Mõõdab õhurõhku	Täpsustab seadme kõrguslikku asukohta
Termomeeter	Mõõdab seadme sise- ja/või välistemperatuuri	Sisetermomeeter aitab vältida seadme ülekuumenemist
Õhuniiskuse sensor	Mõõdab õhuniiskust	Ilmaennustamine
Pulsiandur	Infrapunavalgus suunatakse sõrmeotsa ning andur loeb vereliikumisimpulsse	Pulsimõõtmise rakendused
Sõrmejäljeandur	Skaneerib kasutaja sõrmejälge	Ekraanilukk
Küllastusandur (SpO2)	Infrapunavalgus suunatakse sõrmeotsa ning andur loeb veres sisalduvaid hapnikuosakesi	Vere hapnikusisalduse mõõtmine

Nutiprillid on nutiseade, mis rikastab kasutaja vaatepilti virtuaalse informatsiooniga. Olemuselt on nad sarnased teiste nutiseadmetega, sisaldades samasid sensoreid (GNSS, WiFi, Bluetooth, güroskoop, kiirendusmõõtur jne). Nutiprillide peamine erinevus teistest nutiseadmetest on nende käed-vaba süsteem.

Siiani kõige tuntumad nutiprillid on Google Glass, mis tuli piiratud tarbijaskonnale müüki 2013. aastal ja laiale tarbijaskonnale 2014. aastal hinnaga 1500 \$. Selle aja vältel sai Google Glass ühiskonna poolt

tugeva kriitika osaliseks, tõstatades küsimusi nutiprillide mõjust inimeste privaatsusele ja turvalisusele. 2015. aasta alguses lõpetati Google Glass nutiprillide tootmine.

Nutiprillide arendavaid ettevõtteid on praegu mõnekümne ringis ja arvestades antud valdkonna kasvavat populaarsust, on selles valdkonnas oodata uute arendajate ja toodete lisandumist. Järgnevas ülevaates on nutiprillidest välja toodud funktsionaalsemad eelmise põlvkonna esindajad (Epson Moverio BT-200 ja Vuzix M100) ning 2016. aastal müüki tulnud võimekad liitreaalsuse prillid (ODG R-7 ja Microsoft HoloLens).

Siiani (kuni 2016. aasta) nutiprillide võimekus on olnud tagasihoidlik, sobides multimeedia tarbimiseks, piiratud rakenduste kasutamiseks, pildistamiseks ja videote salvestamiseks. Parimatel nutiprillide tootjatel on rakenduste arendajatele olemas rakenduste arendamiskomplektid, millega on võimalik luua kindla ülesande täitmiseks sobilikke rakendusi. Võimekad nutiprillid (ODG R-7 ja Microsoft HoloLens) muutuvad kättesaadavaks tõenäoliselt 2016. aasta jooksul ja võimaldavad tänu võimsamale riistvarale, uuele tarkvarale ning lisandunud sensoritele kasutada liitreaalsuse rakendusi sujuvamalt ja kvaliteetsemalt, kui eelmise põlvkonna nutiprillid.

Tabel 3. Epson Moverio BT-200 nutiprillide spetsifikatsioon [20]

Epson Moverio BT-200	
Protsessor:	TI OMAP 4460 1.2 Ghz Dual Core
Muutmälu:	1 GB
Mälu:	8 GB väline – microSD (maks. 2 GB) või microSDHC (maks. 32 GB)
Aku:	Li-polümeer, 2720 mAh
Wireless LAN:	IEEE 802.11b/g/n ja WiFi Miracast
Bluetooth:	3.0
Kaamera:	VGA
Op.süsteem:	Android [4.0.4]
Sensorid:	Kompass, güroskoop, kiirendusmõõtur, GPS
Kaal:	ca 88 g



Epson Moverio BT-200 (tabel 3) on teise põlvkonna nutiprillid, mis tulid turule 2014. aasta kevadel. Seadmes kasutatakse 2011. aastal valminud protsessorit. Prillide muutmälu maht on 1 GB, mis on poole väiksem võrreldes teiste tänapäevaste seadmetega. Operatsioonisüsteemiks on Android 4.0.4, mida ei ole võimalik uuendada ja lisaks ei toeta need nutiprillid Google Play Store'i. Rakenduste käivitamiseks ja nendes navigeerimiseks tuleb kasutada nutiprillidega ühenduses olevat juhtpulti. Digitaalne informatsioon kuvatakse prilliklaaside keskel paiknevatele läbipaistvatele ekraanidele. Ekraanide paigutus tagab selle, et digitaalne pilt on nähtav igast vaatenurgast. Hästi valgustatud keskkonnas, näiteks päikesepaistelise ilma korral, ei suuda seade digitaalset pilti piisavalt eredana kuvada, et see oleks prillides arusaadavalt nähtav. Selle jaoks on võimalik prillide külge kinnitada toonitud klaasid, mis vähendavad keskkonna valgustingimuste mõju ja võimaldavad digitaalset pilti paremini näha. BT-200 aku kestvuseks on 6 tundi. Prillide hinnaks tootja kodulehel on 699 \$. 2016. aasta kevadel teatati, et aasta lõpus on välja tulemas BT-300 nutiprillid, mis on kergemad, võimsama kaameraga ja suurema resolutsiooniga kui BT-200. [20]

Tabel 4. Vuzix M100 nutiprillide spetsifikatsioon [21] [22] [23]

Vuzix M100	
Protsessor:	OMAP 4460 1.2 Ghz
Muutmälu:	1 GB
Mälu:	4 GB väline – microSD (maks. 32 GB)
Aku:	550 mAh (sisemine) 3800 mAh (välimine)
Wireless LAN:	IEEE 802.11b/g/n
Bluetooth:	4.0
Kaamera:	5 MP, 1080p video
Op.süsteem:	Android [4.0.4]
Sensorid:	Kompass, güroskoop, kiirendusmõõtur, GPS, peaseadijälgija
Kaal:	50 g



Vuzix M100 (tabel 4) nutiprillidel on üks läbipaistmatu ekraan, millest saab vaadata digitaalset infot. Prillide nutiseadme osa on võimalik tõsta ühelt silmalt teisele. Läbipaistmatu ekraan tagab selle, et ekraanipilt on sõltumata keskkonna valgustingimustest alati nähtav. Prillidega on võimalik teha pilte, salvesta ja vaadata videoid, ühildada seda telefoniga ja jälgida planeeritud sündmuseid. Vuzix M100 toetab Androidi rakendusi ja arendajate jaoks on Vuzixil olemas tarkvaraarenduskomplekt uute rakenduste väljatöötamiseks. Integreeritud GPS, güroskoobi ja kompassi abil suudavad rakendused määrata kasutaja paiknemise ja olla teadlikud kasutaja vaatesuunast. Tootja kodulehel on nende nutiprillide hinnaks 1079,99 €. 2016. aasta suvel on Vuzixilt turule tulemas järgmise põlvkonna nutiprillid M300, millel on uuenenud protsessor, 2 GB muutmälu, suurenenud mälu maht, Android 6.0 operatsioonisüsteem ja 13 MP kaamera. [21] [22] [23]

Tabel 5. ODG R-7 nutiprillide spetsifikatsioon [24]

ODG R-7 Smart Glasses	
Protsessor:	Qualcomm Snapdragon 805 2,7 GHz
Muutmälu:	3 GB
Mälu maht:	64 GB
Aku:	1300 mAh, varuaku võimalus
Wireless LAN:	IEEE 802.11ac
Bluetooth:	4.1 (HS, BLE)
Kaamera:	video 1080p@60 FPS ja 720p@120 FPS
Op.süsteem:	Android [KitKat]
Sensorid:	Kompass, güroskoop, kiirendusmõõtur, GPS, GLONASS, peaseadijälgija, kõrgusesensor, niiskusesensor, valgussensor, kaamera autofookus
Kaal:	125 g



Osterhout Design Group (ODG) R-7 (tabel 5) on ühed võimsamad müügil olevatest nutiprillidest. Mõlema silma jaoks on 720p resolutsiooniga läbipaistev ekraan. Vajadusel on võimalik vahetada prilli klaase läbipaistvate, toonitud ja fotokromaatiliste vahel. Prillid toetavad stereoskoopilist pilti. Vajadusel on võimalik ühendada prillidega väline aku, mis pikendab prillide tööaega mitmekordselt. Prillide juhtimiseks saab kasutada prilli sangadel olevaid nuppe, Bluetoothi kaudu ühendatud klaviatuuri või spetsiaalset juhtpulti. Prillid toetavad Android Play Store'i rakendusi ja neil on olemas

rakenduste arendajatele mõeldud tarkvaraarenduskomplekt. Prillidega on võimalik ühendada kõrvaklappe. Tootja kodulehel on nutiprillide hinnaks 2750 \$. [24]

Tabel 6. Microsoft HoloLensi nutiprillide spetsifikatsioon [25] [26] [27] [28]


Microsoft HoloLens	
Protsessor:	HPU 1.0, Intel 32-bit
Muutmälu:	2 GB
Mälu maht:	64 GB
Aku:	2-3 tundi aktiivse kasutamise juures
Wireless LAN:	IEEE 802.11ac
Bluetooth:	4.1 (LE)
Kaamera:	2 MP, HD video
Op.süsteem:	Windows 10
Sensid:	Valgussensor, güroskoop, magnetomeeter, kiirendusmõõtur, 4 keskkonnakaamerat, segunenud reaalsuse jäädvustamine, 4 mikrofoni, 1 sügavuskaamera
Kaal:	579 g



Käesoleva uurimustöö koostamise ajal on Microsoft HoloLens (tabel 6) kättesaadav vaid arendajatele ja selle hinnaks on 3000 \$. Microsoft HoloLens kasutatakse spetsiaalset protsessorit (Holographic Processing Unit), mille ülesandeks on keskkonnast saadava informatsiooni ja kasutaja poolt antud sisendi kombineerimine. Digitaalne informatsioon kuvatakse poolläbipaistvatele holograafilistele läätsedele, mis tekitavad mitmetasandilisi täisvärvides hologramme. Nende nutiprillide puhul tuleb märkida, et segunenud keskkond ei täida kogu vaateulatust, vaid see katab teatud osa vaatest. Sisseehitatud kaamerad võimaldavad salvestada segunenud reaalsuse keskkonda. HoloLensi nutiprille saab juhtida häälkäskluse, žestide ja juhtpuldil abil. [25] [26] [27] [28]

Tabel 7. Lenovo Phab 2 Pro spetsifikatsioon [29] [30] [31] [32] [33] [34]

Lenovo Phab 2 Pro	
Protsessor:	Qualcomm Snapdragon 652, optimeeritud Google Tango jaoks
Muutmälu:	4 GB
Mälu maht:	64 GB
Aku:	4050 mAh, 2,4 x turbolaadimine
Wireless LAN:	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, dual-band, WiFi Direct
Bluetooth:	v4.0, A2DP
Kaamera:	Eesmine 16 MP Tagumine 8 MP
Op.süsteem:	Android [6.0]
Sensid:	Sõrmejäljelugeja, kiirendusandur, güroskoop, lähedussensor, kompass, baromeeter, infrapunasaatja ja -kaamera, lainurkobjektiiv
Kaal:	259 g



Google Project Tango on platvorm, mis lisab nutiseadmele ruumitaju võimaluse. Ruumitaju tekitamiseks kasutab Project Tango mitmeid erinevaid sensoreid ja nende poolt edastatud andmete väga kiiret töötlust. Selleks kasutab Project Tango „radarina töötavat“ infrapunasaatjat, peegeldunud

valguse registreerimiseks infrapunakaamerat ja keskkonna tunnuste tuvastamiseks lainurkobjektiivi. Lisaks neile kasutab Project Tango süsteem tavapäraseid sensoreid nagu kiirendusandureid, güroskoope ja baromeetreid. Tavapäraste sensorite abil määrab seade oma asendi ja orientatsiooni ning sügavussensoreid abil tuletatakse ümbritseva keskkonna kuju. Keskkonna õppimise funktsioon võimaldab seadmel ümbritsevat keskkonda kaardistada, salvestatud andmete põhjal hiljem seda keskkonda automaatselt tuvastada ja määrata seeläbi enda asukohta. Tavaliste nutiseadmete orientatsiooni määramise täpsus ja püsivus on mõjutatud seadme liigutamisel tekkivast „triivimisest“. Project Tango kalibreerib pidevalt nutiseadme orientatsiooni tegeliku keskkonna suhtes ja seeläbi tagab seadme parema täpsuse.

Project Tango esimene prototüüp oli nutitelefon Peanut, mis avalikustati 2014. aasta alguses. Teiseks prototüübiks oli 2014. aasta juunis esitletud 7" Yellowstone'i tahvelarvuti, millel olid olemas kõik Project Tango funktsionaalsused. Esimene laiale tarbijaskonnale mõeldud Project Tango võimalustega seade on 2016. septembris müügile tulev Lenovo Phab 2 Pro nutitelefon (tabel 7). Mitmed nutitelefone ja tahvelarvuteid valmistavad ettevõtted tegelevad Project Tango toodete arendamisega. Nende ettevõtete hulka kuuluvad Qualcomm, Intel, Nvidia ja LG ning neilt on oodata Project Tango funktsionaalsusega seadmete valmimist 2016. aasta jooksul. Võib arvata, et Google kavatses Project Tangot lisada ka oma teistele toodetele, näiteks tulevastele Nexus seadmetele.

Project Tango abil saab reaajas luua keskkonnast mudeli (nt ruumi seinad, põrand, lagi, mööbel jms) ja tähistada selles paiknevat esemeid ning piirkondi. Selles keskkonnas märgistatud objekte ja neile lisatud infot on võimalik jagada teiste kasutajatega (kui teine kasutaja liigub sellesse keskkonda ja ta hangib antud keskkonna mudeli, siis ilmuvad tema nutiseadme ekraanile keskkonda lisatud märkused). Loodavate mudelite põhjal on võimalik Project Tangot kasutada sisekeskkonnas navigeerimiseks. Project Tango sensorite võimekus ja täpsus võimaldavad nutiseadet kasutada ka mõõtevahendina. Näiteks vaates oleva objekti pikkuse määramiseks märgistatakse nutiseadme ekraanil uuritava objekti algus- ja lõpp-punktid. Selline funktsionaalsus suurendab tulevaste liitreaalsuse lahenduste kasutatavust ja täpsust siseruumides.

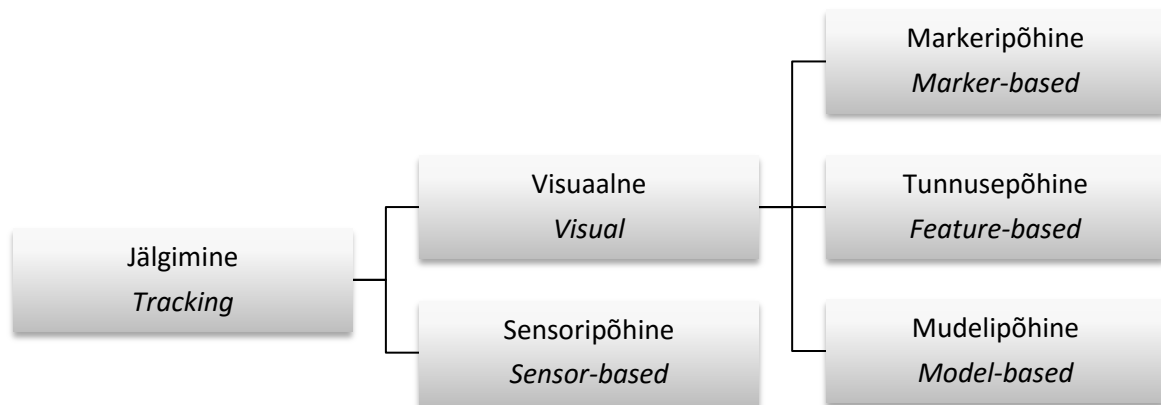
2016. juuni seisuga on Project Tangoga seadmetele Google Play Store'is saadaval alla 10 rakenduse, kuid peale Lenovo Phab 2 Pro ja teiste tulevaste Project Tango seadmete müüki tulekut on oodata, et neile mõeldud rakenduste arv ning nende funktsionaalsus kasvab hüppeliselt. [29] [30] [31] [32] [33] [34]

4. POSITSIONEERIMINE

4.1. Mudeli positsioneerimine⁴

Liitreaalsuses täiendatakse reaalselt keskkonda virtuaalse informatsiooniga. Liitreaalsuse loomiseks on süsteemil tarvis teada, kus paikneb kasutaja ja mida kasutaja vaatab. Tavaliselt vaatab kasutaja nutiseadme ekraani, mis kuvab kaamerapilti samaaegselt täiendava informatsiooniga. Selle jaoks peab süsteem määrama kaamera asukohta ja suuna. Kalibreeritud kaamera abil suudab süsteem renderdada virtuaalseid objekte nende õiges asukohas.

Termin jälgimine (*tracking*) tähendab reaajas kaamera suhtelise asendi (asukoht ja orientatsioon) arvutamist ning on liitreaalsuse üks põhikomponentidest. Teadlased robotika, fotogramm-meetria ja raalnägemise (*computer vision*) valdkonnas on välja arendanud märkimisväärse arvu erinevaid jälgimismeetodeid, mida saab jaotada sensoripõhisteks, visuaalseteks ja kombineeritud jälgimismeetoditeks (joonis 11).



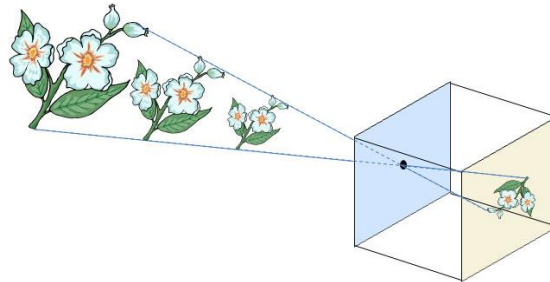
Joonis 11. Jälgimissüsteemide liigitus

Visuaalset jälgimist kutsutakse ka kaamerapõhiseks jälgimiseks, sest kaamera asend tuletatakse keskkonnast saadava pildi põhjal. Kõigi visuaalsete jälgimismeetodite korral arvutatakse asend samal põhimõttel – süsteem tuvastab ekraanipildilt tuntud „objektid“ (markeri nurgad, karakteristikud, servad, jooned, mudeli osad). Kui süsteem teab nendevahelisi tegelikke mõõtmeid (näiteks markeri suurus, karakteristikute suhteline asukoht, 3D mudel), siis suudab süsteem kuvada objekti õiges asukohas ja mõõtkavas.

Jälgimismeetodi toimivus mingis keskkonnas sõltub selle keskkonna omadustest ja jälgimismeetodi tööpõhimõttest. Näiteks markeripõhise jälgimismeetodi kasutamine väliskeskkonnas võib olla raskendatud või täiesti võimatu. Sellises olukorras saab kasutada muid visuaalseid või sensoripõhiseid jälgimismeetodeid. Kuna mudel peab nutiseadme ekraanil olema ühtlasi ka õiges mõõtkavas, siis selleks peavad jälgimismeetodil olema pidepunktid, mis võimaldavad seda määrata. Tunnusepõhine jälgimissüsteem ei suuda näiteks tuletada nähtava videopildi põhjal õiget mõõtkava – videopildi alusel suudab süsteem määrata vaid keskkonna suhtelise suuruse (joonis 12). Õige mõõtkava on võimalik määrata, kui on teada kahe punkti vaheline kaugus. Markeripõhises

⁴ Siinkohal on refereeritud uuringut „Theory and applications of marker-based augmented reality“ [7].

jälgimissüsteemis täidab seda rolli füüsiline marker – markeri mõõtmete alusel suudab süsteem hinnata markeri kaugust ja seeläbi määrata õige mõõtkava.



Joonis 12. Visuaalne jälgimissüsteem suudab tuletada kaamerapildi põhjal suhtelisi proportsioone, kuid mitte mõõtkava. Kaamerapilt võib olla projektsioon kaamerale lähedal olevast objektist või projektsioon suurest objektist, mis paikneb kaugel. Kaamerapildi alusel ei suuda süsteem tuvastada, milline antud kolmest objektist selle tekitas [7]

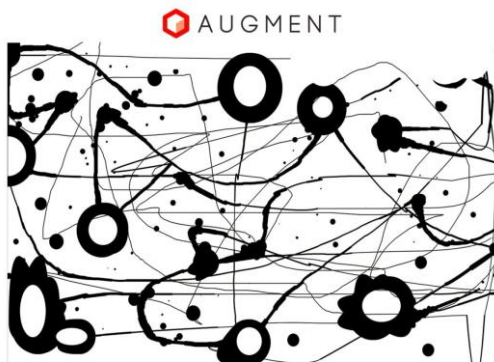
Eraldi tähtsat roll mängib jälgimismeetodi valikul ka keskkond ise, näiteks teatud keskkondades on tunnusepõhine jälgimine raskendatud. Selliste keskkondade alla kuuluvad suured ühelaadsed pinnad (nt valged seinad), kus süsteem ei suuda leida karakteristikuid. Samuti ka keskkonnad, mis sisaldavad korduvaid mustreid (nt plaaditud sein), sest kogu keskkonna ulatuses on jälgimise jaoks vajalikud tunnused ühesugused. Tunnusepõhise meetodi kasutamine on raskendatud ka muutuvate tingimustega keskkonnas, sest jälgitavad punktid on pidevas liikumises või muutumises (nt inimeste, autode ja puulehtede liikumine, peegelduvad pinnad jne). Sensoripõhine jälgimismeetod on aga vaba kõikidest visuaalsete jälgimismeetodite puudustest, kuid selle kasutamine on raskendatud tiheasustusega piirkondades, kus nt asukohasignaali ei jõua seadmeni (kui mudelit soovitakse paigutada geograafiliste koordinaatide alusel ning ei kasutata pseudoliite).

Eraldiseisvalt on kõikidel jälgimismeetoditel omad puudused, mida saab kõrvaldada erinevaid meetodeid kombineerides. Näiteks GNSS sensor annab rakendusele seadme geograafilised koordinaadid, kuid sellelt saadud andmete põhjal ei ole võimalik välja selgitada kaamera orientatsiooni. Kasutades visuaalset jälgimismeetodit suudab kaamera tuvastada seadme orientatsiooni, kuid kui seadmel puudub info oma asukoha kohta, siis ei saa seade positsioneerida mudelit geograafiliste koordinaatide suhtes. Seetõttu kasutatakse kombineeritud lahendusi (n-ö kombineeritud jälgimine), milles sensoripõhine ja visuaalne jälgimismeetod täiendavad teineteist.

4.1.1. Markeripõhine jälgimismeetod (*marker-based tracking*)

Visuaalse jälgimismeetodi korral tuletatakse süsteem kaamera asendi nähtu põhjal. Tundmatus keskkonnas (ilma markerita) on asendi määramine raskendatud, sest selle jaoks tuleb keskkonnast koguda piisavalt andmeid, et süsteem suudaks tuletada kaamera asendi. Seejuures on hinnanguline arvutatud asend ajas pidevalt muutuv. Kuna keskkond on süsteemi jaoks tundmatu, valib süsteem koordinaattelgede orientatsiooni juhuslikult. Lisaks on ainult visuaalse vaatluse alusel võimatu tuletada õiget mõõtkava.

Üks võimalus antud probleemide lahendamiseks on lisada keskkonda kergesti tuvastatav eelnevalt seadistatud tähis ja kasutada raalnägemise tehnikaid selle tuvastamiseks. Marker on selline tähis või pilt, mida arvutisüsteem suudab tuvastada kasutades pilditötlust, mustrite tuvastamist ja raalnägemise tehnikaid (joonis 13). Peale markeri leidmist määrab süsteem kaamera õige mõõtkava ja asendi ning kuvab ekraanile soovitud kujutise (foto 12). Seda lähenemist kutsutakse markeripõhiseks jälgimiseks ja on liitreaalsuses kasutusel laialdaselt.



Joonis 13. Rakenduse Augment marker [35]

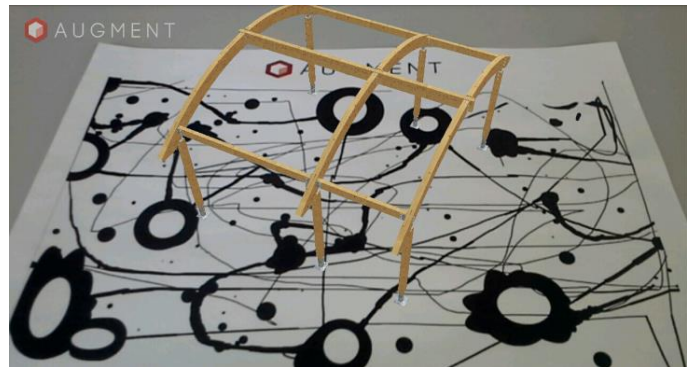


Foto 12. Liimpuitkonstruktsioon rakenduse Augment markeril

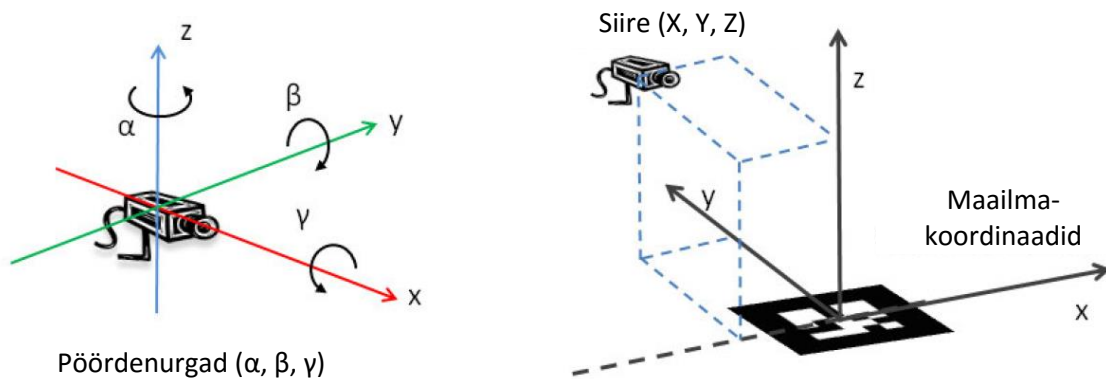
Markeripõhise süsteemi populaarsuse taga on nende lihtne kasutatavus ja heade üldtuntud markeripõhiste rakenduste loomise vahendite olemasolu, mis võimaldavad ja lihtsustavad liitreaalsuse rakenduste arendamist. Markerid tagavad kuvatava objekti korrektse mõõtkava ning on lihtsasti kasutatavad. Lisaks võivad need omada kodeeritud informatsiooni, mis võimaldab süsteemil lisada markeritele objekte või interaktiivsust.

Hea marker on töökindel ja kõikides tingimustes kergesti tuvastatav. Raalnägemise tehnika suudab tuvastada erinevusi keskkonna valgustingimustes paremini, kui keskkonna värvuses. See on tingitud kaamera kehvast automaatselt valge tasakaalustusest (*white balance*), mistõttu värvid registreeruvad väärtalt ning ekraanil oleva objekti värv võib muutuda vaatevälja jäävate asjade tõttu. Lisaks muudab valgustus objekti värve ja seetõttu on värvide tuvastamine raskendatud. Mida suurem on heleduse kontrast, seda lihtsam on objekte tuvastada – seetõttu on mustvalged markerid kõige optimaalsemad. Lisaks peab süsteem olema võimeline arvutama ka kaamera asendit, kasutades tuvastatud markerit. Piisab neljast teadaolevast punktist, et kaamera asend paika panna ja kõige lihtsam kuju nende kuvamiseks on ruut. Seetõttu kasutavad mitmed markeripõhised süsteemid mustvalgeid ruudukujulisi markereid.

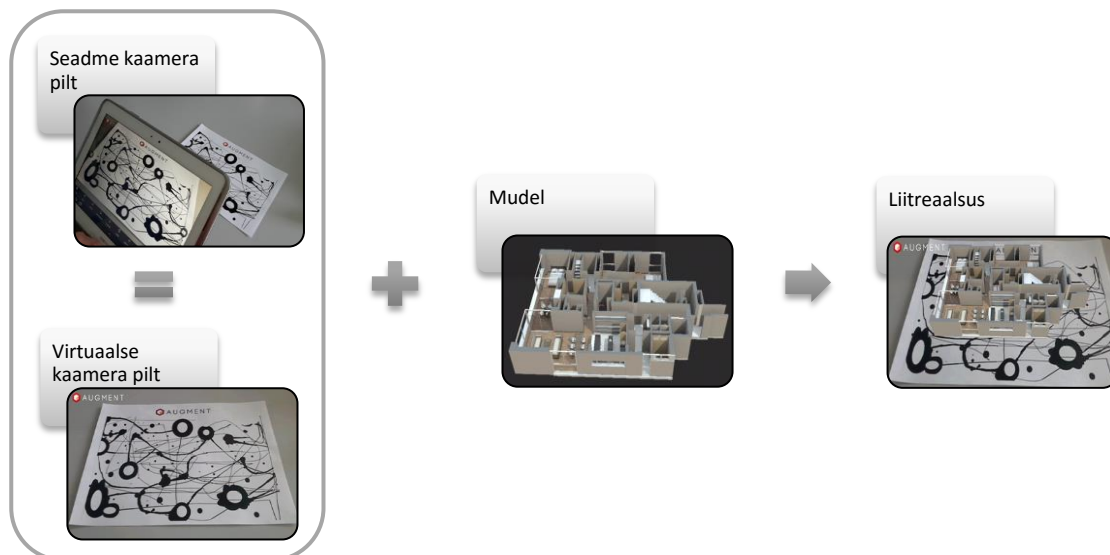
Markeri tuvastamise esimeseks sammuks on leida võimalike markerite piirjooned ja seejärel tuletada pildile jääva markeri nurkade asukohad. Lisaks peavad tuvastussüsteemid kinnitama, et tegu on markeriga ja dešifreerima selle identiteedi. Nende andmete alusel arvutab süsteem kaamera asendi kasutades tuvastatud markeri asukohta.

Objekti asendi määratlevad selle asukoht ja orientatsioon. Asukohta saab väljendada kolme siirdekoordinaadi (X, Y, Z) ja orientatsiooni kolme pöördenurga (α, β, γ) abil (joonis 14). Seega koosneb asend kuuest vabadusastmest (6DOF – *six degrees of freedom*). Süsteem saab arvutada markeri asendi (kaamera suhtes) 3D koordinaatides, kasutades markeri nelja nurgapunkti.

Liitreaalsuse peamine idee seisneb virtuaalsete objektide kuvamisel osana tegelikust keskkonnast. Kaamera asendit kasutatakse virtuaalse objekti õiges mõõtkavas ja perspektiivis renderdamiseks. Seadme poolt loodud virtuaalne kaamera viiakse samasse asendisse tegeliku kaameraga ja virtuaalsed objektid renderdatakse tegeliku videopildi peale (joonis 15).



Joonis 14. Kaamera asend tähistab kaamera asukohta ja orientatsiooni globaalkoordinaatides. Kõiki orientatsioone saab väljendada pöördenurkadega (α , β , γ) koordinaattelgedele ümber (vasakpoolne joonis). Positsioon (X , Y , Z) on määratletud siiretega piki telgi (parempoolne joonis), kus võetakse aluseks nn maailmakoordinaadid⁵ [7]



Joonis 15. Markeripõhise jälgimismeetodi töötamise põhimõte

Kui süsteem jälgib ühte markerit, siis niipea kui süsteem ei suuda markerit tuvastada, läheb kaotsi ka markeriga seotud info. Mitme markeriga süsteem kombineerib markeritelt saadava info, mistõttu on sellised süsteemid töökindlamad ja täpsemad. Mitme markeriga süsteem kasutab korraka mitut markerit kaamera asendi määramiseks, mis stabiliseerib jälgimissüsteemi ja parandab süsteemi täpsust. Lisaks suudab jälgimissüsteem taluda kaamera intensiivsemat liikumist, kui kasutaja paigutab erinevates suundades mitu markerit. Mitme markeriga süsteemid toimivad ka siis, kui marker on osaliselt varjatud.

Markeripõhisel jälgimismeetodil on üks lisavõimalus veel võrreldes teiste meetoditega – markerile saab juurde lisada informatsiooni. Sellisel juhul toimib marker või selle osa nagu triip- või QR-kood, mille nägemisel käivitub automaatselt infootsingu, kuvades näiteks mõne spetsiifilise internetilehe

⁵ Seadmesõltumatu ristkoordinaat, mida rakendusprogramm kasutab graafilise andmetöötluse, eriti sisestuse ja väljastuse kirjeldamiseks [48].

vmt. Sellist süsteemi kasutavad praegusel ajal paljud ajakirjad, kes on oma trükistes oleva pildi teinud markeriks ning nutiseade avab selle skaneerimisel näiteks video.

Markeripõhine jälgimismeetod on tehniliselt kõige vähenõudlikum, sest see saab hakkama väiksema jõudlusega protsessoriga ja vähema muutmäluga. Markeripõhised süsteemid on kasutaja jaoks lihtsalt arusaadavad ning kasutatavad.

4.1.2. Tunnusepõhine jälgimismeetod (*markerless tracking, feature tracking*)

Visuaalset jälgimist, mis toimib kaamerapildilt iseloomulike tunnuste (karakteristikute) otsimises, kutsutakse tunnusepõhiseks jälgimiseks. Karakteristikute tuvastamise ja jälgimise algoritme kasutatakse laialdaselt raalnägemise rakendustes (liikumise tuvastamises, pildivõrdluses, jälgimises, 3D modelleerimises jne).

Karakteristikud, mida kaamerapildilt otsitakse, võib jaotada kolmeks: punktid (nt nurgad), andmekirjeldajad (*feature descriptor*) ja servad (foto 13). Punkt on väike piirkond pildil, mis on oma asendi ja kuju poolest selgelt määratletav. Andmekirjeldaja kirjeldab pildi teatud piirkonda või omadust. Servad on enamasti objekti kontuurid (nt hoone siluett), mida sobitatakse vastavalt nende orientatsioonile ja profiilile. Servade tuvastamist ja sobitamist kasutatakse enamasti mudelipõhise jälgimisega liitreaalsuse rakendustes. Hea karakteristik on üheselt mõistetav, see on tuvastatav sõltumata keskkonnatingimustest, seadme pöördenurgast, valgustingimustest ja vaatenurgast.



Foto 13. Tuvastatud servad (üleval vasakul), jooned (üleval paremal) ja Harrise nurgad (all vasakul) on tähistatud punase värviga. Alumisel parempoolsel pildil on suunitud pilt tuvastatud nurkadega [7]

4.1.3. Mudelipõhine jälgimismeetod (*model-based tracking*)

Mudelipõhine jälgimine on süsteem, mis omab keskkonna või selle osa 3D mudelit, tuvastab mudeli ja keskkonna ühisosa ja selle informatsiooni alusel tuletab kaamera asukoha. 3D mudel võib olla erinevates formaatides – 3D graafiline objekt, sõrestikmudel, skaneerimise teel valminud objekt jne.

Mudeli kasutamise probleemiks on mudeli väljanägemise ja tegeliku keskkonna suur erinevus. Näiteks on mudeli värvid ja tekstuudid tegelikkusest erinevad, mudeli detailsus ja selle erinevus keskkonnast sõltub mudeli formaadist jne. Suurte erinevuste tõttu ei saa jälgimine ja tuvastamine põhineda punkti karakteristikutel.

Süsteem saab tuvastamise protsessis kasutada objektide kuju ja nende piirjooni, sest need püsivad muutumatuna ja ei ole sõltuvuses valgustingimustest ega tekstuuridest. Kuju määramist kasutatakse näiteks objektituvastuses, kuid tihtilugu on see aeganõudev protsess. Seetõttu põhineb mudelipõhine jälgimine liitreaalsuse rakendustes peamiselt joonte tuvastamisel.

Mudelipõhise jälgimissüsteemi korral saab mudelit nimetada 3D markeriks, sest seda saab kasutada kui markerit. 3D mudel algatab jälgimisprotsessi ning määrab kuvatava objekti õige asendi ja mõõtkava. Lisaks saab mudelipõhist jälgimissüsteemi kombineerida teiste jälgimismeetoditega.

4.1.4. Sensoripõhine jälgimismeetod (*sensor-based tracking*)

Sensoripõhises jälgimismeetodis määravad sensorid seadme asukoha (3 vabadusastet) ja orientatsiooni (3 vabadusastet) ehk kombineeritult nende asendi (6 vabadusastet). Seadme asendi määramiseks kasutatakse güroskoopi, kiirendusandurit, digitaalset kompassi ja GNSS i.

Asukoha jälgimise süsteem (GNSS) esitab ainult kasutaja ruumilise asukoha, kuid ei tuvasta, mis suunas kasutaja vaatab (orientatsiooni). Kiirendusmõõtur esitab kiirenemise suuna, mis võrdub gravitatsioonisuunaga kui seade on paigal. Seadme asendi määramise tõhustamiseks kombineeritakse sensoritelt saadavat infot (*sensor fusion*). Kiirendusandur ja güroskoop võimaldavad määrata seadme suhtelise liikumise, kompass lisab juurde suuna ning GNSS asukoha maakeral.

4.1.5. Kombineeritud jälgimismeetod (*hybrid-tracking*)

Erinevate jälgimismeetodite eeliste ära kasutamiseks kombineeritakse mitut meetodit. Markeripõhiseid jälgimismeetodeid kombineeritakse tunnusepõhiste jälgimismeetoditega näiteks keskkondades, kus tunnusepõhise süsteemi käivitamine on raskendatud, misjuhul on mõistlikum kasutada markeripõhist jälgimise käivitamist. Lisaks on tunnusepõhise meetodi levinud probleemiks see, et mudel hakkab ajapikku “triivima”. Seda saab korrigeerida markeripõhise jälgimismeetodi abil – iga kord, kui kombineeritud jälgimissüsteem näeb markerit, siis lähtestatakse mudeli asukoht ja mõõtkava.

Kombineerida saab ka visuaalseid ja sensoripõhiseid jälgimismeetodeid. Sensoripõhise meetodi puhul on ainult GNSS abil positsioneerimine liitreaalsuse rakenduste jaoks ebapiisava täpsusega, mistõttu kombineeritakse seda tihti visuaalse jälgimise meetoditega. Näiteks määratakse GNSS abil maakeral paiknemise asukoht ja seda infot kasutatakse visuaalse jälgimise käivitamiseks, mis omakorda selgitab välja kasutaja asendi (vaate suuna).

4.2. Nutiseadme positsioneerimine

Liitreaalsuse tekitamisel kasutades sensoripõhist jälgimismeetodit tuleb esmalt nutiseade positsioneerida. Tänapäeval tehakse seda peamiselt satelliitide, WiFi ja mobiilside alusel, millest viimane jaguneb omakorda GSMiks (*global system for mobile communication* ehk globaalne mobiilsidesüsteem) ja mobiilseks andmesideks.

Mobiilside korral määratakse seadme asukoht signaali edastava masti või mastide abil. Seda meetodit saab kasutada siis, kui mastide omavaheline kaugus on kuni 35 kilomeetrit. Lisaks on see kasutatav sisetingimustes, kus näiteks satelliitsignaali pole võimalik vastu võtta. [36]

WiFi abil positsioneerimine toimib sarnaselt mobiilsidega, kuid mastide asukohtade asemel kasutatakse WiFi pääsupunktide geograafilist informatsiooni. WiFi kaudu saadav asukohta täpsus jääb vahemikku 5...100 m ning seda on võimalik kasutada nii sise- kui ka välistingimustes. [36]

GNSS võimaldab kasutajal vastava seadmega ennast positsioneerida, kasutades kosmoses olevaid satelliite. Selle meetodi jaoks on korruga vaja vähemalt nelja satelliidi signaali, mis tänapäeval on üldjuhul tagatud. GNSS signaale edastavad mitmed süsteemid, nende hulgas USA-st pärit GPS (*global positioning system*), Euroopa Galileo, Venemaa Glonass (*globalnaya navigazionnaya sputnikovaya sistema*), Hiina BeiDou jne. Nende täpsus on tsiviilkasutuses erinevate allikate andmetel 5...20 meetrit⁶. Olemas on ka eraldiseisvad GNSS vastuvõtjad, mida saab näiteks Bluetoothi abil nutiseadmega ühendada, suurendades sellega täpsust nt hajaasustusega piirkondades. Satelliitnavigatsiooni abil positsioneerimise peamiseks probleemiks on see, et signaali saamiseks peab vastuvõtja „nägema“ satelliite, sest signaal ei suuda läbi ehitise piirdekonstruktsioonide levida. Seetõttu on majade vahel asukohta määramine enamasti väga ebatäpne. Täpsuse suurendamiseks on võimalik kasutada DGPS-i (*differential global positioning system*) või AGPS-i (*assisted global positioning system*), mis aitavad määrata asukohta, eriti kohtades, kus signaalide vastuvõtt satelliitidelt on häiritud. GNSS abil positsioneerimine toimib ka siseruumides, kui kasutada näiteks pseudoliite⁷.

4.2.1. Katse – nutiseadmete asukohta määramise täpsus

Käesoleva uuringu raames sooritati nutiseadmete (telefonide ja tahvelarvutite) asukohta määramise täpsuse katse⁸. Katse sooritati koordineeritud punktil, milleks oli polügonomeetriapunkt T065 (foto 14), mis asub Tallinnas Statoili Järve tankla kõrval (Pärnu mnt ja Tammsaare tee ristmiku viadukti vahetus läheduses).

Katse peamiseks eesmärgiks oli uurida, kas nutiseadmed, millega viiakse hiljem läbi rakenduste testid, toimivad korrektselt ja tagavad piisava täpsuse (st suurusjärgus 10 m). Käesoleva katse tulemusi kasutati hiljem GNSS-põhiste rakenduste testimisel. Katses osales 8 seadet, millest 6 olid

⁶ Käesoleva (2016) aasta veebruaris tuli uudis, et USAs Californias arendatakse GPS süsteemi, mis võimaldab nutiseadmete täpsust suurusjärgus üks sentimeeter [42].

⁷ Pseudoliit (*pseudolite*) ehk pseudosatelliit on maapealne raadiosaatja, mis abistab asukohta määramisel kohtades, kuhu GNSS signaal ei ulatu.

⁸ Tuleb eraldi rõhutada, et käesolev katse ei kujuta endast põhjalikku uuringut nutiseadme positsioneerimise teemal, vaid väikese valimiga nutiseadmete praktilist rakenduslikku katset.

telefonid (5 Androidi platvormil, 1 iOS platvormil) ja 2 tahvelarvutit (1 Androidi platvormil, 1 iOS platvormil). Seadmete parameetrid on toodud [lisas 1](#).

Katse sooritati 13. novembril 2015 ajavahemikus 12.30 kuni 13.30. Esmalt tehti seadmetele taaskäivitus ja seejärel fikseeriti erinevate andmeside ühenduste parameetrid. Seadmete koordinaatide määramiseks kombineeriti erinevaid positsioneerimist toetavaid ja täpsustavaid seadistusi – lennurežiimi (*flight mode*)⁹, GSM-i, mobiilset andmesidet, WiFi-t ja GNSS-i. Seadmed asetati polügonomeetriapunkti kohale horisontaalsele alusele ning fikseeriti koordinaadid ([foto 15](#)), kasutades vastavaid nutiseadmete rakendusi. Androidi platvormi puhul kasutati koordinaatide määramiseks rakendust nimega GPS Status & Toolbox [37] ja iOS-i platvormil GPS Outline [38].



Foto 14. Polügonomeetriapunkt T065

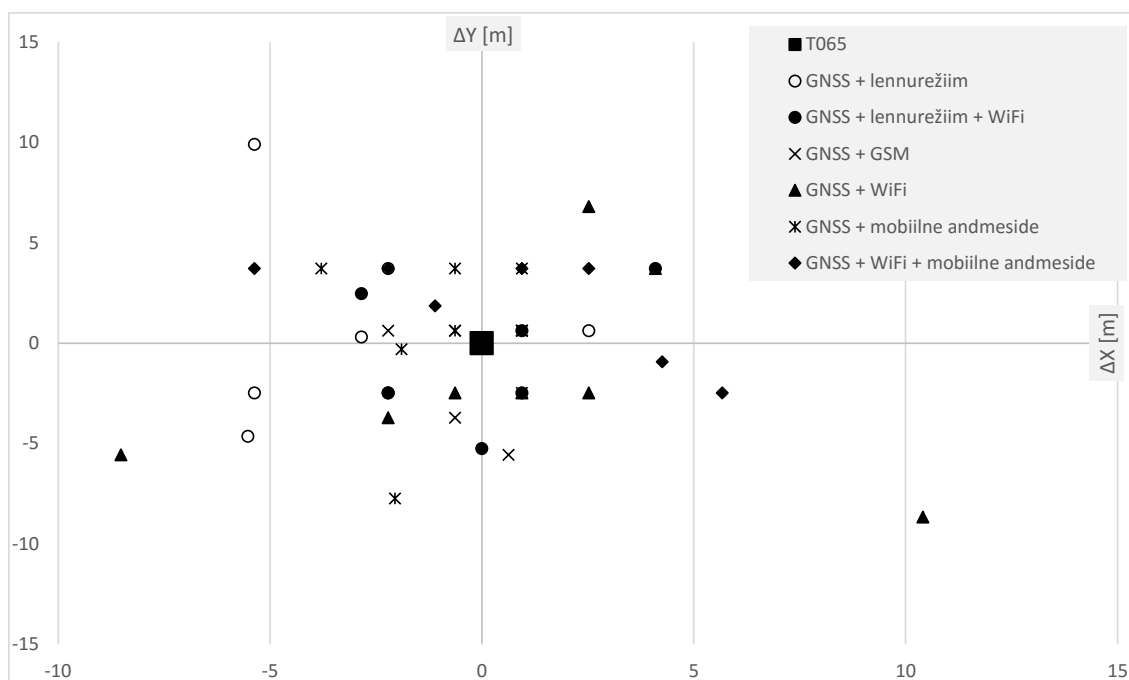


Foto 15. Katse läbiviimine

Kõikide mõõtetulemuste korral oli tagatud satelliitide arv vahemikus 9...18, mida võib lugeda väga heaks näitajaks. Mõõdetud ja tegelike koordinaatide erinevused on toodud [joonisel 16](#) ning asukoha kauguste erinevused joonpikkustena [tabelis 8](#). Kahel mõõtmisel olid tulemused teistega võrreldes oluliselt erinevad. Selle põhjus ei ole teada, kuid üheks võimalikuks selgituseks on liiga lühike kalibreerimise aeg erinevate mõõtmiste vahel.

[Jooniselt 16](#) on näha, et enamik mõõtetulemusi jäid viie meetri raadiusse ja nagu kinnitab graafik, siis ei oma positsioneerimist toetavad ja täiendavad seadistused täpsuse suhtes erilist rolli. Kauguste erinevuse osas jäid tulemused vahemikku 0,88...22,91 m (välja arvatud 2 ekstreemseimat väärtust). Kõikide tulemuste keskmine on 9,6 m, kuid see võtab arvesse ka neid kahte üksikut väärtust, mis olid teistest mitmeid kordi erinevad. Seega on iseloomulikumaks näitajaks kõikide tulemuste mediaan, mis oli 4,2 m. Kokkuvõttes võib öelda, et kõik katses osalenud nutiseadmed tagavad täpsuse lubatud piirides.

⁹ Lennurežiimiga lülitatakse välja helistamise, sõnumite ja andmeside funktsioonid. Ühtlasi lülitatakse välja ka ühenduvuse funktsioonid nagu WiFi ja Bluetooth, kuid neid on võimalik tagasi sisse ja lülitada ja lennurežiimi olekus siiski kasutada.



Joonis 16. Mõõdetud koordinaatide erinevus tegelikust

Tabel 8. Mõõdetud ja tegeliku asukoha erinevus (meetrites)

Seadme nr.	GNSS + lennurežiim	GNSS + lennurežiim + WiFi	GNSS + GSM	GNSS + WiFi	GNSS + mobiilne andmeside	GNSS + WiFi + mobiilne andmeside
Seade 1	11,26	3,32	9,95	5,53	3,83	6,19
Seade 2	3,32	2,65	0,88	7,26	5,30	4,32
Seade 3	2,60	1,13	1,13	3,53	1,13	3,83
Seade 4	19,31	22,91	2,29	13,54	0,88	4,49
Seade 5	2,86	3,77	5,61	10,18	8,00	4,36
Seade 6	5,91	157,24	46,75	2,65	3,77	6,52
Seade 7	4,32	5,53	2,65	2,55	1,13	20,53
Seade 8	7,21	5,26	3,77	4,32	1,92	2,16
Keskmine	7,1	25,2	9,1	6,2	3,2	6,6
Mediaan	5,1	4,5	3,2	4,9	2,8	4,4

5. RAKENDUSED

Töö autorid valisid välja 18 nutiseadmes kasutatavat ehitusvaldkonnaga seotud liitreaalsuse rakendust, mis on kättesaadavad Google Play ja iTunes'i veebipoodidest. Kõiki rakendusi hinnatakse uuringu raames välja töötatud skaala alusel. Rakenduste hindamistulemuste põhjal valitakse välja parimad, millega viiakse läbi täiendavad testid.


Testimine viidi läbi nelja töö autori poolt kasutades järgnevaid erineva võimekusega nutiseadmeid (seadmete täpsemad parameetrid on toodud [lisas 1](#)):

- Samsung SM-G800 (Galaxy S5 mini);
- Sony Xperia Compact Z3 D5803;
- Samsung Galaxy Express 2;
- Samsung Galaxy Note 10.1 GT-N8000;
- iPad Air 2.


5.1. Vaadeldud rakenduste kirjeldused

Rakenduste valikul oli tähtsaimaks kriteeriumiks selle seotus ehitusvaldkonnaga. Väljavalitud rakendused on oma funktsionaalsuselt ja eesmärgilt väga erinevad – alates sellest, et rakendus on loodud ainult ühe konkreetse toote või teenuse reklaamimiseks, kuni selleni, et kasutaja saab vaadelda enda poolt lisatud mudeleid. Siinkohal tuleb eraldi rõhutada, et rakenduste hulk on pidevalt muutuv ning käesoleva uuringu valmimise ajal lisandus neid veebipoodidesse nii juurde kui ka eemaldati sealt. Rakenduste hulgas on selliseid, mille edasine arendamine on lõppenud kui ka selliseid, mida uuendatakse süsteemselt. Kui rakendusel on nii tasuta kui ka tasuline versioon, siis testimisel kasutati esimest, et rakenduste võrdlemine ja hindamine oleks sooritatud võimalikult võrdsetel alustel. Rakenduste lühikirjeldused toodud [tabelites 9...25](#).

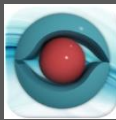
Tabel 9. Rakenduse A++ AR kirjeldus

	A++ AR 1.0.3 ARTEFACTO SAS
Link tootja kodulehele	http://www.a2plus.it/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.artefacto.aplusplus&hl=en
Platvorm	Android
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	A++ AR on rakendus, mis on mõeldud virtuaalsete mudelite visualiseerimisele. Rakendus lisab 3D mudeli reaalse maailma konteksti, et aidata ruumiplaneerimisel ja kujunduse visualiseerimisel. Seda saab kasutada ka vastuolude kontrollimiseks kõndides virtuaalselt läbi mudeli. Rakenduses on mudeleid võimalik vaadata markeril, ilma markerita sobivasse kohta paigutades ning 360° vaatena (hoone sise- või väliskeskkonna interaktiivne vaade reaalajas).
Täiendavad märkused	Võimalik vaadata tootja enda mudelit paljudel erinevatel viisidel. Markerile kuvatav mudel oli väga väike ja seda suurendada ei saanud. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

Tabel 10. Rakenduse ARHouse – Augmented Reality for Real Estate kirjeldus


	ARHouse – Augmented Reality for Real Estate¹⁰ 1.4 Augmented Pixels Inc
Link tootja kodulehele	http://augmentedpixels.com/
Link rakendusele veebipoes	https://itunes.apple.com/us/app/arhouse-augmented-reality/id705833705?mt=8
Platvorm	iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	ARHouse on innovaatiline rakendus arhitektidele, ehitajatele ja kinnisvarahalduritele ehitus- ja arendusprojektide efektiivseks presenteerimiseks 3D-vaates. Rakendus võimaldab vaadata tervet hoonet, detailset korruseplaani või aknast avanevat panoraamvaadet.
Täiendavad märkused	Vaadata saab ainult Odessas asuvat näidismudelit ning ehitamise käigus tehtud 360° fotosid. Kirjelduse koostamise kuupäev: 16.01.2016

Tabel 11. Rakenduse ARMedia Player kirjeldus


	ARMedia Player 1.0 (Android), 1.5.1 (iOS) Inglobe Technologies
Link tootja kodulehele	http://www.inglobetechnologies.com/ , http://www.armedia.it/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.inglobetechnologies.armedia.player&hl=en https://itunes.apple.com/ee/app/armedia-player/id502524441?mt=8
Platvorm	Android, iOS, Windows, Mac
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	ARMedia Player on rakendus, mis võimaldab liitreaalsust kasutades osa saada virtuaalsetest mudelitest, mis on loodud kasutades ARMedia pistakut (ARMedia Plugin). Rakenduses on mudelite kataloog, kust saab valida endale sobiva mudeli ning rakendusse saab üles laadida enda mudeleid. Mudeleid on võimalik vaadata markeril ning rakendus võimaldab muuta mudelite mõõtkava ning neid keerata.
Täiendavad märkused	Rakenduses sai muuta mudeli asukohta manuaalselt (isegi siis, kui kasutati markerit). Rakendus toetab mudeli paigutamist nii markeri, güroskoobi kui ka GPS-i abil. Rakenduse markeripõhine jälgimissüsteem töötab jälgides markeri nurkasid ja servasid. Niipea kui mingi osa markeri nurgast või servast on varjatud, katkeb objekti ekraanile kuvamine, kuid mudeli kuvamine taaskäivitub koheselt, kui kaamera näeb tervet markerit. Rakendusse on võimalik laadida enda mudeleid ning on üks rakendustest, mida käesoleva uuringu raames vaadeldakse täpsemalt. Kirjelduse koostamise kuupäev: 23.03.2016

¹⁰ Edaspidi lihtsustatult: ARHouse.

Tabel 12. Rakenduse Augment – 3D Augmented Reality kirjeldus

	Augment – 3D Augmented Reality¹¹ 2.14.1 (Android), 2.11.0 (iOS) Augment
Link tootja kodulehele	http://www.augmentedev.com/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ar.augment https://itunes.apple.com/ee/app/augment-3d-augmented-reality/id506463171?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta versiooniga saab vaadelda kõiki kataloogis olevaid mudeleid. Õppeotstarbeline litsents on tasuta ja võimaldab üles laadida piiramatul hulgal mudeleid. Tavakasutaja litsents maksab 300 \$ aastas.
Tootja kirjeldus	Augment on rakendus, mis võimaldab visualiseerida 3D mudeleid liitreaalsuses, reaalses, nende tegelikus suuruses ja reaalses keskkonnas. Lisada saab ka enda 3D mudeleid ning teha markereid.
Täiendavad märkused	Mudelit on võimalik kuvada nii markeril kui ka tasapinnal ning selle suurst on võimalik kuvamise jooksul muuta. Võimaldab kuvamise ajal lisada ka teisi mudeleid. Tähtsamad nõuded mudelitele üleslaadimisel: <ul style="list-style-type: none"> • mahupiirang: 100MB; • polügoonide arv: 1,000,000; • 3D mudelite formaadid: .dae, .zae, .obj, .stl; • 2D formaadid: .jpg, .jpeg, .bmp, .png, .tga, .gif. Rakendus võimaldab laadida üles ka enda mudeleid ning on üks rakendustest, mida käesoleva uuringu raames vaadeldakse täpsemalt. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2015

Tabel 13. Rakenduse Bimar kirjeldus


	Bimar 1.0 Bimar
Link tootja kodulehele	http://www.pointadvisory.com/bimar
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.OneFatSheep.Bimar&hl=en
Platvorm	Android
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Bimar on esimese generatsiooni liitreaalsuse rakendus ehitistele. See võimaldab visualiseerida ja osa saada BIM-mudelitest objektile ja sellest kaugemal. Rakendust on võimalik Bimar meeskonna poolt kohandada vastavalt kliendi vajadustele, k.a. kliendi enda BIM mudeli integreerimist. Rakendust saab kasutada interaktiivseks 3D visualiseerimiseks, BIM-mudelite positsioneerimiseks, projekti ajatelje kuvamiseks, Green BIM-i integreerimiseks ja teostusmudeli kontrollimiseks.
Täiendavad märkused	Võimalik vaadata näidisprojekti, kus saab sisse ja välja lülitada erinevaid osamudeleid. Oma mudeli visualiseerimiseks tuleb kontakteeruda tootjaga. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

¹¹ Edaspidi lihtsustatult: Augment.


Tabel 14. Rakenduse Cityscape Tower kirjeldus

	Cityscape Tower 1.2 Ice9 Interactive Ltd.
Link tootja kodulehele	http://www.ice9interactive.com/ http://cityscapebd.net/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ice9apps.cityscapeTower&hl=en https://itunes.apple.com/us/app/cityscape-tower/id944900406?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Rakendusega saab vaadelda Bangladeshis esimest LEED platinium sertifikaadiga Cityscape Tower hoonet liitreaalsuses. Näeb hoone arhitektuuri ning sisekujundust.
Täiendavad märkused	Rakendus on loodud ainult ühe mudeli vaatamiseks. Mudelit on võimalik liitreaalsuses pöörata ja suumida. Hoonest on kolm erinevat markerit, mis võimaldavad vaadata hoone arhitektuurset lahendust, kontorikorruse ja kohvikukorruse plaani. Kirjelduse koostamise kuupäev: 16.01.2016


Tabel 15. Rakenduse Globe AR kirjeldus

	Globe AR 1.4.1 (Android), 3.0 (iOS) 3D Interactive Sthlm AB
Link tootja kodulehele	http://www.3dinteractive.se/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.interactive.ARinteractivApp&hl https://itunes.apple.com/se/app/augmented-reality-architecture/id639615074?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	GlobeAR võimaldab klientidel kogeda liitreaalsust ning suurendada visuaalset kommunikatsiooni. Rakendus võimaldab tekitada liitreaalsust alates markeritelt avanevate videote kuni keeruliste 3D mudelite ja animatsioonide visualiseerimiseni.
Täiendavad märkused	Võimalik vaadata olemasolevaid mudeleid väljaprintitaval markeril. Igal mudelil on oma marker. Mudelite kuvamise kvaliteet on väga hea (need püsivad hästi markeril ja ei vibreeri). Jahi mudelil on võimalik muuta värvi ning näha animatsioone (avada luuki ja tõsta pealmine korrus jahist n-ö välja). Enda mudeli üleslaadimiseks tuleb kontakteeruda tootjaga. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

Tabel 16. Rakenduse IKEA kirjeldus


	IKEA Catalog 16.30 Inter IKEA Systems B.V.
Link tootja kodulehele	http://www.ikea.com/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ikea.catalogue.android&hl=en https://itunes.apple.com/us/app/ikea-catalog/id386592716?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Rakendus võimaldab alla laadida uuemat IKEA kataloogi versiooni ja teisi IKEA väljaandeid. Skaneerides paberkandjal olevas kataloogis teatud lehekülgi, on võimalik vaadata pilte, videoid, ruumide 360° vaateid jm. Kasutades liitreaalsust võimaldab rakendus paigutada mööblit tegelikku keskkonda.
Täiendavad märkused	Valitud mööbliese paigutus pörandapinnale ning selle suurust ja asukohta oli võimalik muuta. Kirjelduse koostamise kuupäev: 06.02.2016

Tabel 17. Rakenduse ROAR Augmented Reality App kirjeldus


	ROAR Augmented Reality App¹² 1.1 (Android), 1.2 (iOS) Rokitt Inc
Link tootja kodulehele	http://www.rokittar.com/#/personal
Link rakendusele veebipoes	https://itunes.apple.com/us/app/roar-augmented-reality-app/id1045561660?mt=8 https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dynamix.roar
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	ROAR on liitreaalsuse platvorm, mis ühildab füüsilist maailma digitaalsega. Kasutajatele on see rakendus digitaalse sisu vaatamiseks ning ärilistel eesmärkidel turundusinstrument. ROARil on nii rakendus kui ka internetibrauseris kasutatav redaktor.
Täiendavad märkused	Tootjal on lai valik mudelid, mida saab vaadata läbi liitreaalsuse. Mudelit ja markerit on võimalus ise üles laadida ja redigeerida. Rakenduses on ühe lihtsa nupulevajutusega võimalik vaadelda mudelit ka virtuaalreaalsuses (ilma reaalse kaamera pildita). Kirjelduse koostamise kuupäev: 03.03.2016

¹² Edaspidi lihtsustatult: ROAR.

Tabel 18. Rakenduse Quadrum kirjeldus


	Quadrum 1.3 (Android), 1.21 (iOS) Tag of Joy apps
Link tootja kodulehele	http://www.tagofjoy.lt/?dna=8
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tagofjoy.quadrum https://itunes.apple.com/us/app/quadrum/id544717009
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Arhitektuurne mudel büroohoonest "Quadrum – Business City" Vilniuses, Leedus. Vaadeldav nii markeri pealt kui ka virtuaalreaalsuses.
Täiendavad märkused	Rakendus on loodud ainult ühe mudeli vaatamiseks. Mudelit on võimalik vaadelda liitreaalsuses ning virtuaalreaalsuses ise pöörata ja suumida. Virtuaalreaalsuses on mudelile lisatud animatsioon (tänaval sõitev auto). Kirjelduse koostamise kuupäev: 09.01.2016

Tabel 19. Rakenduse SightSpace Pro: 3D AR & VR kirjeldus

	SightSpace Pro: 3D AR & VR¹³ 2.4 (Android), 1.21 (iOS) Limitless Computing
Link tootja kodulehele	http://limitlesscomputing.com/sightspace/3d
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.limitlesscomputing.sightspacepro https://itunes.apple.com/ee/app/sightspace-pro-mobile-augmented/id972397963?mt=8 http://www.amazon.com/Limitless-Computing-Inc-SightSpace-3D/dp/B0073JF1BO/
Platvorm	Android, iOS, Kindle Fire
Maksumus	14 päeva tasuta, kuu 20 \$, aasta 199 \$
Tootja kirjeldus	SightSpace võimaldab liitreaalsust kasutades vaadelda digitaalseid mudeleid ja kujundust elusuuruses. Rakendus võimaldab kasutada paljude erinevate tarkvarade failiformaate, lisada märkmeid mudelitele, võtta mõõtusid ning teha ekraanipilte. SightSpace'i on võimalik ühildada ka GPS-ga ning kasutada Google Cardboardga virtuaalreaalsuse vaatamiseks.
Täiendavad märkused	Rakendus võimaldab mudelit paigutada koordinaatide järgi ning lõppasukoha täpsustada manuaalselt. Reaalsuses mudelit määratud asukohas vaadata ei saanud – mudel ei paiknenud ettenähtud kohas ning selle vaatlemisel liikus kasutajaga kaasa. Mudelit oli võimalik liigutada ka manuaalselt. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

¹³ Edaspidi lihtsustatult: SightSpace Pro.


Tabel 20. Rakenduse SmartReality+ kirjeldus

	SmartReality+ 1.2.0 (Android), 1.4 (iOS) JBKnowledge, Inc.
Link tootja kodulehele	http://smartreality.co/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jbknowledge.labs.smartrealityplus https://itunes.apple.com/us/app/smartreality+/id1070249533?ls=1&mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta demo-mudelite versioon
Tootja kirjeldus	SmartReality on nutiseadmetele mõeldud rakendus projekti interaktiivseks visualiseerimiseks. Rakendusega saab visualiseerida 3D mudeleid 2D jooniste peal nii virtuaal- kui ka liitreaalsuses. Virtuaalreaalsust on võimalik vaadelda ka Google Cardboardiga.
Täiendavad märkused	Rakendus on mugava kasutajaliidesega (arusaadavad nupud ja käsklused). Vaadelda oli võimalik paljusid erinevaid mudeleid ning ka animatsioonidega plakatiit. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

Tabel 21. Rakenduse Unity ARchitecture kirjeldus

	Unity ARchitecture 1.0 (Android), 1.0 (iOS) Makemedia
Link tootja kodulehele	http://makemedia.com/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.MakeMedia.UnityARchitecture&hl=en https://itunes.apple.com/ee/app/unity-architecture/id916235537?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Unity ARchitecture on nutiseadme rakendus, mis võimaldab visualiseerida 3D mudeleid, mis on tehtud Unity platvormil. Selles rakenduses saab liitreaalsuse kogemuse vaadeldes hoonet „The Shard“. Spetsiaalselt arhitektuuri- ja ehitusvaldkonnale on välja töötatud Unity 3D arhitektuuri ja reaajas visualiseerimise platvorm.
Täiendavad märkused	Rakenduses on ainult üks näidismudel, mis töötab markeripõhiselt ning on väga püsiv. Kodulehel on info raskesti leitav. Rakenduse arendaja on ettevõtte VIMtrek, mis kasutab Unity mängumootorit 3D mudelite visualiseerimiseks. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016


Tabel 22. Rakenduse Urbasee Future kirjeldus

	Urbasee Future 2.0.0 (Android), 2.0.2 (iOS) Artefacto SAS
Link tootja kodulehele	https://classic.urbasee.com/index.php
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.artefacto.urbasoutdoor https://itunes.apple.com/ee/app/urbasee-future/id521967590?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	1 projekt tasuta (10 päeva), pro versioon 100 \$/aasta, äriversioon 1735 \$/aasta
Tootja kirjeldus	URBASEE Future'i abil saab visualiseerida tulevasi hooned nende õiges asukohas, reaalses ja reaalajas suuruses. Rakendus võimaldab vaadelda hoonet nii tehis- kui ka liitreaalsuses. Rakenduses saab animeerida päikese teekonda tõusust loojanguni ning jälgida hoonelt tekkivaid varjusid tunniajase intervalliga.
Täiendavad märkused	Mudel paikneb enam-vähem ettemääratud asukohas, seda on võimalik pöörata ning sellel muuta paiknemise kõrgust. Rakendus võimaldab laadida üles ka enda mudeleid ning on üks sensoripõhistest rakendustest, mida käesoleva uuringu raames vaadeldakse täpsemalt. Kirjelduse koostamise kuupäev: 17.03.2016


Tabel 23. Rakenduse Urbasee Project kirjeldus

	Urbasee Project 2.0.0 (Android), 2.0.2 (iOS) Artefacto SAS
Link tootja kodulehele	https://classic.urbasee.com/index.php
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.artefacto.urbaproject https://itunes.apple.com/ee/app/urbasee-project/id513967399?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	1 projekt tasuta (10 päeva), pro versioon 130 \$/aasta, äriversioon 2230 \$/aasta
Tootja kirjeldus	Rakendus Urbasee Project võimaldab vaadelda markerite abil hoonete mudeleid. Mudeli lisamiseks tuleb see üles laadida Urbasee kodulehele. Hoonet vaadeldes saab läbi mängida ka päikese erinevad asendid, et näha kuidas varjud liiguvad.
Täiendavad märkused	Rakenduse kasutamine on lihtne ja see töötab suurepäraselt. Nagu ka Urbasee Future, võimaldab ka see rakendus laadida üles oma mudeleid ning seda vaadeldakse käesoleva uuringu raames täpsemalt. Kirjelduse koostamise kuupäev: 05.03.2016

Tabel 24. Rakenduse VividWorks VividViewer kirjeldus

	VividWorks VividViewer¹⁴ 2.0.1 VividWorks Ltd.
Link tootja kodulehele	http://www.vividworks.com/
Link rakendusele veebipoes	https://itunes.apple.com/us/app/vividworks-vividviewer/id546640891?mt=8
Platvorm	iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	VividWorks VividViewer rakendus sisaldab endas kahte osa – Interior Planner ja VividAR. Interior Planner võimaldab teha ruumi plaani (või valida olemasolevate plaanide seast) ning paigutada sinna enda valitud mööblit, mida saab seejärel vaadata virtuaalses 3D keskkonnas. VividAR kombineerib virtuaalsust reaalsusega. Ruumist tuleb teha pilt ja lisada sellele mööbel, mille järel saab mööbli paigutust vaadata (ja ka muuta) AR keskkonnas.
Täiendavad märkused	Keskkond ei olnud väga kasutajasõbralik ja kohati oli rakenduse toimimine aeglane. Kirjelduse koostamise kuupäev: 27.02.2016

Tabel 25. Rakenduse Xcite 3D kirjeldus

	Xcite 3D 1.0.5 (Android), 1.4 (iOS) CodeFlügel GmbH
Link tootja kodulehele	http://codefluegel.com/en/
Link rakendusele veebipoes	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.codefluegel.xcite3D&hl=en https://itunes.apple.com/ee/app/xcite-3d/id929537583?mt=8
Platvorm	Android, iOS
Maksumus	Tasuta
Tootja kirjeldus	Rakendusega on võimalik esitada 3D mudeleid, 360° vaateid ja videoid nt otse ehituslikel joonistel ning võimaldab kuvada elusuures virtuaalseid maju tulevases asukohas. Rakendusega saab vaadata olemasolevaid näidiseid.
Täiendavad märkused	Rakendusel on ette antud marker nelja logoga, mis käivitavad erinevaid funktsioone – video, 3D mudeli või interaktiivse 3D mudeli (nt katust või lage saab eemale nihutada) või 360° vaateid, kus kasutaja paikneb mudeli sees ja saab vaadata enda ümber ning üles-alla (töötab sensoripõhiselt). Mudelid on väikesed ja neid ei saa suurendada ega pöörata. Kirjelduse koostamise kuupäev: 16.01.2016

¹⁴ Edaspidi lihtsustatult: VividWorks.

5.2. Rakenduste hindamine

5.2.1. Rakenduste hindamise alused

Rakenduste hindamisel jälgiti rakenduse toimivust, funktsionaalsust ja kasutusmugavust. Hindamisel töötasid uuringu autorid välja hindamiskriteeriumid, mida on kirjeldatud tabelis 26. Rakendusi hinnati 17 erinevast kriteeriumist lähtuvalt. Iga kriteeriumi hinnati 6-palli skaalal (0...5), kus kõrgem hinne tähistab suuremat funktsionaalsust või paremat kvaliteeti. Hindamistabelisse lisati ka selliseid kriteeriume, mida ükski rakendus hetkel veel ei võimalda (nt reaalsete objektide kaotamine ekraanipildilt), kuid mida uuringu autorite arvates võiks ehitusvaldkonna liitreaalsuse rakendused omada.

Tabel 26. Hindamiskriteeriumid

Nr.	Parameeter	Selgitus
F1	Rakendusse mudeli üleslaadimise võimalikkus	5 – võimalus olemas, ilma oluliste piiranguteta 4 – võimalus olemas, polügoonide arv ja kogumaht on osaliselt piiratud 3 2 – võimalus olemas, polügoonide arv ja kogumaht on oluliselt piiratud 1 0 – võimalus puudub
F2	Positsioneerimise funktsionaalsus	5 – mudel paigutub reaalsusesse eelseadistuse (nt koordinaatide) põhjal ja ei vaja täiendavaid pidepunkte 4 – mudeli positsioneerimine vajab füüsilist pidepunkti (nt punktid reaalsuses) 3 – mudeli positsioneerimine vajab kaamerale nähtavat ja spetsiaalselt ettevalmistatud füüsilist pidepunkti (nt marker) 2 1 – manuaalne mudeli asukoha seadistamine (ekraanil) 0 – puudub igasugune positsioneerimise võimalus
F3	Mudeli asukoha täpsus (seadme liigutamisel)	5 – mudel paikneb ettenähtud asukohas 4 – mudel paikneb ettenähtud asukohas, kuid selle orientatsioon on vale 3 – mudeli asukoht on ebatäpne, kuid võimaldab selle vaatlemist 2 – mudel muudab märgatavalt oma asukohta 1 – asukoha viga on niivõrd suur, et mudeli vaatlemine on märkimisväärselt raskendatud 0 – mudel ei ole vaadeldav
F4	Mudeli asukoha püsivus	5 – mudeli püsivus on suurepärane 4 – mudel püsib paigal ainult seadme sujuva liigutamise korral 3 – mudel on vaadeldav ja püsib ettenähtud asukohas, aga hüpleb või ujub 2 – mudel on vaadeldav ainult juhul, kui seade on paigal 1 – mudeli liikumine on niivõrd intensiivne, et selle vaatlemine on märkimisväärselt raskendatud või rakendus ei suuda mudelit automaatselt taaspositsioneerida 0 – mudel ei püsi kaadris

F5	Mudeli suhtes liikumise võimalus	5 – liikumine mudeli suhtes toimub üheaegselt kasutaja liikumisega 4 – liikumine mudeli suhtes toimub üheaegselt kasutaja liikumisega, aga moonutuste ja viivitustega 3 – liikumine toimub mudeli liigutamise teel 2 – mudelit on võimalik vaadata vaid ühest asukohast, kuid kasutaja saab pöörata 360° 1 – mudelit on võimalik vaadata ainult ühest asukohast ja ühes suunas 0 – võimalus puudub
F6	Mudeli osade sisse- ja väljalülitamine	5 – mudeli osade sisse- ja väljalülitamine on kasutaja poolt vabalt valitav 4 3 – mudeli osade sisse- ja väljalülitamine on võimalik, aga ainult eelnevalt määratud mudeli osadele 2 – mudeli osade sisse- ja väljalülitamine on võimalik, aga ainult ette määratud järjekorras 1 – tootja andmetel on funktsionaalsus olemas, aga demomudelitel ei kajastu 0 – võimalus puudub
F7	Reaalsete objektide kaotamine ekraanivaates	5 – rakendus võimaldab peita vabalt valitud reaalsuse objekte 4 3 – rakendus võimaldab peita vabalt valitud reaalsuse objekte, kuid ei tee seda tõetruult 2 1 0 – võimalus puudub
F8	Mudeli omaduste muutmine rakenduses	5 – võimaldab muuta mudelit ja kõiki selle omadusi 4 3 2 1 – võimaldab muuta lihtsamaid omadusi etteantud valikute piires (nt värvitoon, tekstuur) 0 – võimalus puudub
F9	Simulatsioonide ja animatsioonide võimalused (päike, autode ja inimeste liikumine jne)	5 – lisaks varem programmeeritud animatsioonide ja simulatsioonide kuvamisele võimaldab rakendus tekitada tõetruusid animatsioone 4 – lisaks varem programmeeritud animatsioonide ja simulatsioonide kuvamisele võimaldab rakendus tekitada lihtsamaid animatsioone 3 – rakendus võimaldab kuvada eelnevalt programmeeritud tõetruusid simulatsioone ja animatsioone 2 – rakendus võimaldab kuvada eelnevalt programmeeritud simulatsioone ja animatsioone 1 – rakendus võimaldab kuvada lihtsamaid animatsioone 0 – võimalus puudub
F10	Märkmete lisamine	5 – täpselt positsioneeritud märkme lisamise võimalus (tekst, audio, skitseering jne), mida on võimalik operatiivselt ka teistele edastada 4 – lihtsama märkme lisamise võimalus kindlasse asukohta mudelis ja selle jagamine 3 – lihtsama märkme lisamise võimalus kindlasse asukohta mudelis 2 – lihtsama märkme lisamise võimalus ilma kindla asukohata 1 – markeerimise võimalus 0 – võimalus puudub

F11	Liitreaalsuselt virtuaalreaalsusele ümberlülitamine	5 – ümberlülitumine toimub tõrgeteta ja on lihtsalt teostatav 4 – ümberlülitamine on võimalik, kuid toimub viivitusega 3 – ümberlülitamine on võimalik, kuid vaja on teostada lisatoiminguid 2 – ümberlülitumine toimub, kuid esinevad väiksemad tõrked 1 – ümberlülitamine on võimalik, kuid esinevad märkimisväärsed mudeli moonutused 0 – võimalus puudub
F12	Tegevusjuhiste edastamine reaalses	5 – kasutajale edastatakse multifunktsionaalseid (suund, tegevuste järjekord jne) tegevusjuhiseid õigeaegselt ja moonutusteta, kusjuures rakendus on võimeline looma uusi juhiseid kasutaja vale tegutsemise korral 4 – kasutajale edastatakse multifunktsionaalseid (suund, tegevuste järjekord jne) tegevusjuhiseid õigeaegselt ja moonutusteta 3 – kasutajale edastatakse ühetüübilisi tegevusjuhiseid õigeaegselt ja moonutusteta 2 – kasutajale edastatakse lihtsamaid tegevusjuhiseid, mille kuvamisel esineb väiksemaid tõrkeid ja ebatäpsusi 1 – kasutajale edastatakse lihtsamaid tegevusjuhiseid, mille kuvamisel esineb arvestatavaid tõrkeid ja ebatäpsusi 0 – võimalus puudub
F13	Ekraanipildi ja heli jagamine teiste kasutajatega reaalses	5 – info jagamine on võimalik mitmele kasutajale, toimib tõrgeteta ja infoliikumine on kahesuunaline 4 – info jagamine toimib tõrgeteta ühele kasutajale või info liikumine on ühesuunaline 3 – info jagamine toimib tõrgeteta ühele kasutajale ja info liikumine on ühesuunaline 2 1 – ainult ekraanipildi jagamine teise kasutajaga on võimalik 0 – võimalus puudub
F14	Ekraanifotode ja videote tegemine	5 – võimalik on teha nii ekraanifotosid kui ka -videoid 4 3 2 1 – võimalik on teha ainult ekraanifotosid 0 – võimalus puudub
F15	Mudeli kuvamise kvaliteedi muutmine (väga mahukate mudelite või väikese võimekusega seadmete puhul)	5 – rakendus valib vastavalt seadme võimekusele kõige optimaalsemad parameetrid, mida kasutaja saab vajadusel korrigeerida 4 – rakendus võimaldab kasutajal muuta mudeli kvaliteeti operatiivselt ja suures ulatuses 3 – rakendus võimaldab kasutajal muuta mudeli kvaliteeti seadme poolt ette määratud ulatuses 2 – rakendus võimaldab kasutajal muuta mudeli kvaliteeti, kuid see nõuab rohkelt lisategevusi 1 – rakendus võimaldab kasutajal muuta mudeli kvaliteeti väga piiratud ulatuses 0 – võimalus puudub

F16	Haldusmudeli info	5 – rakendus võimaldab kuvada ja sisestada haldusmudelisse infot 4 3 – rakendus kuvab haldusmudeli infot 2 – rakendus kuvab haldusmudeli infot, aga oluliste puudustega 1 – rakendus kuvab kõige lihtsamat infot 0 – võimalus puudub
F17	Täiendavate andurite info kasutamise võimalus reaajas (sügavuse tajumine, pikkuste mõõtmine, skaneerimine, temp. mõõtmine, liikumise salvestamine jne)	5 – on võimalik kasutada mitmeid täiendavaid andureid, mille funktsionaalsus on kõrge ja saadav info märkimisväärse kasuteguriga 4 3 – on võimalik kasutada mitmeid täiendavaid andureid, mille töös esineb väiksemaid tõrkeid 2 1 – on võimalik kasutada üksikuid täiendavaid andureid, kuid nende täpsus ja funktsionaalsus on puudulik 0 – võimalus puudub

5.2.2. Tulemused

Testi täpsemad tulemused on koondatud tabelisse [lisas 2](#). Koondhinde põhjal reastusid rakendused järgmiselt, kusjuures paremas veerus on eraldi välja toodud pingeread rakenduste erinevate põhimõtete alusel:

- 1) Augment – 1,82 p.
- 2) Urbasee Project – 1,71 p.
- 3) ARMedia Player – 1,68 p.
- 4) SightSpace Pro – 1,68 p.
- 5) SmartReality + – 1,59 p.
- 6) Urbasee Future – 1,42 p.
- 7) Globe AR – 1,35 p.
- 8) Xcite 3D – 1,35 p.
- 9) Quadrum – 1,35 p.
- 10) ROAR – 1,29 p.
- 11) Bimar – 1,19 p.
- 12) A++ AR – 1,12 p.
- 13) ARHouse – 1,12 p.
- 14) Cityscape Tower – 1,07 p.
- 15) VividWorks – 1,06 p.
- 16) Unity ARchitecture – 1,06 p.
- 17) IKEA Catalog – 0,64 p.

Top 5 markeripõhised rakendused:

- 1) Augment
- 2) Urbasee Project
- 3) ARMedia Player
- 4) Smartreality+
- 5) Globe AR, Quadrum, Xcite 3D

Top 3 sensoripõhised rakendused:

- 1) ARMedia Player
- 2) SightSpace Pro
- 3) Urbasee Future

Top 5 rakendused mudeli üleslaadimise võimalusega:

- 1) Augment
- 2) Urbasee Project
- 3) ARMedia Player
- 4) SightSpace Pro
- 5) Urbasee Future

Üldjuhul võimaldavad kõik vaadeldud rakendused liitreaalsuse kasutamist, kuid nende tase oli väga erinev. Rakendused võib jaotada järgmistesse kategooriatesse:

- rakendus, kus kasutaja saab üles laadida enda mudelit – Augment, Urbasee Project ja Future, ARMedia Player, SightSpace Pro, ROAR;
- konkreetsel hoonel või tootel baseeruv rakendus, kus kasutaja enda mudelit ise üles laadida ei saa – Quadrum, A++AR, ARHouse, Cityscape, Unity ARchitecture, IKEA Catalog;
- rakendus, kus demomudeleid kasutades tutvustatakse ainult ettevõtte võimekust – Smart Reality, Globe AR, Xcite 3D, Bimar, VividWorks.

Mudeli asukoha määramiseks kasutasid enamus rakendusi markereid (nt Augment, Globe AR, Quadrum, Smart Reality +, Unity ARchitecture, Urbasee Project, Xcite 3D). Mudeli paiknemise täpsust ja asukohas püsivust võib neist enamustel lugeda väga heaks või suurepäraseks. Augment on ainuke rakendus, millel saab reaalaajas lisada ühele markerile mitut mudelit ning neid eraldi liigutada, suurendada ja pöörata (foto 16). Kõikidest vaadeldud rakendustest kolm on võimelised mudelit positsioneerima GNSS signaali põhjal (ARMedia Player, SightSpace Pro, Urbasee Future), kuid neil esines probleeme mudeli asukoha täpsuse ja mudeli paigalpüsivusega.

Ükski rakendus ei võimalda kasutaja poolt vabalt valitud kihte või mudeliosasid lülitada sisse ja välja. Üksikutel juhtudel oli võimalik eelseadistatud demomudelitel vastavat funktsiooni piiratud ulatuses kasutada, näiteks erinevate korruseplaanide vaatlemine (Xcite 3D). Siinkohal tasub eraldi välja tuua rakendus Bimar, kus on võimalik eraldi vaadelda arhitektuurset, konstruktsiooniosa ja tehnosüsteemide mudelit (fotod 17...19).

Üle pooltel rakendustest on võimalik lülitada liitreaalsuselt virtuaalreaalsusele ja vastupidi. Kõikidel rakendustel, mis omavad sellist funktsionaalsust, töötab see väga hästi (fotod 20 ja 21).

Üksikutel juhtudel on võimalik muuta mudeli omadusi rakenduses (Globe AR ja VividWorks), kuid see piirduv lihtsamate pinnatekstuuride ja värvitoonide valikuga. Rakenduste väljatöötamisel ei ole praktiliselt mingisugust tähelepanu pööratud haldusmudeli info kuvamise võimalustele, mida on ehitusvaldkonnas kindlasti tulevikus tarvis. Rakendustes (v.a. SightSpace Pro) ei ole võimalik lisada ka märkmeid, mis on samuti vajalik funktsionaalsus.

Esines ka selliseid funktsioone, mida ükski rakendus ei võimaldanud. Nende hulka kuuluvad reaalsete objektide kaotamine ekraanivaates, tegevusjuhiste edastamine reaalaajas, ekraanipildi ja heli jagamine teiste kasutajatega reaalaajas, mudeli kuvamise kvaliteedi muutmine (väga mahukate mudelite või väikese võimekusega seadmete puhul) ning täiendavate andurite info kasutamise võimalus reaalaajas (sügavuse tajumine, pikkuste mõõtmine, skaneerimine, temperatuuri mõõtmine jne).

Nelja kõrgeima koondhindega rakenduse funktsionaalsus on piisavalt suur, et neid saaks ehitusprotsessis (sh kavandamine) juba praegu kasutada. Täpsuse ja kvaliteedi poolest eristusid selgelt markeripõhised rakendused (eelkõige Augment ja Urbasee Project), võimaldades mudeli tõetriud ja moonutusteta vaatlemist. Nende miinuseks võib lugeda markeri pideva olemasolu vajadust, mistõttu on nende kasutamine suurte objektide korral ebamugav. On ilmselge, et suuremõõtmiseliste ehitiste korral oleks oluliselt sobilikumaks lahenduseks sensoripõhised rakendused (ARMedia Player, SightSpace Pro, Urbasee Future), mis eeldavad nutiseadmelt väga heade tehniliste näitajate olemasolu. Nende rakenduste peamiseks puuduseks on asjaolu, et nad sõltuvad GNSS signaali kvaliteedist ja olemasolust ning täpsus jääb orienteeruvalt kümnekonna meetri piiresse.

Paljude rakenduste korral on arendaja teatanud, et eritellimusel on võimalik välja töötada kõrge funktsionaalsusega mudeleid, kuid täpsem avalik info selle kohta puudub. Selle all on silmas peetud näiteks projekti ajatelje kuvamist, interaktiivsete funktsioonide lisamist, animeerimist jne. Kuna käesolevas uuringus vaadeldi ainult avalikult kättesaadavaid rakendusi, siis ei ole võimalik siinkohal anda täielikku ülevaadet tarkvaraarendajate poolt eritellimusel võimaldatavatest funktsioonidest.



Foto 16. Mitu mudelit korraga markeril



Foto 17. Rakenduse Bimar arhitektuurse osa vaade

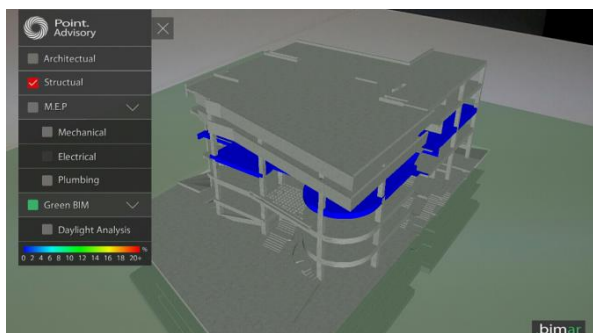


Foto 18. Rakenduse Bimar konstruktsiooniosa vaade

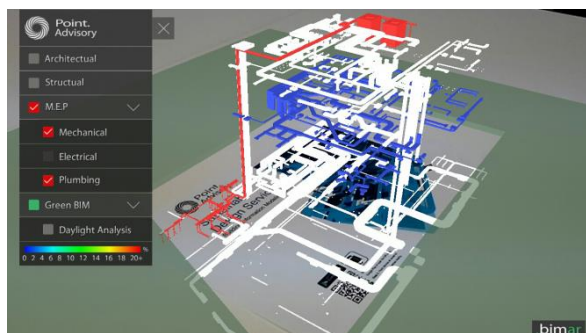


Foto 19. Rakenduse Bimar tehnosüsteemide osa vaade



Foto 20. Liitreaalsuse vaade rakenduses Augment



Foto 21. Virtuaalreaalsuse vaade rakenduses Augment

Ülaltoodud kriteeriumite alusel otsustati välja valida neli parimat rakendust, kuhu on võimalik kasutajal ise mudeleid lisada. Nende hulgas on kaks markeripõhist (Augment ja Urbasee Project) ja kaks sensoripõhist rakendust (ARMedia Player ja Urbasee Future). Täiendava testimise tulemused on kirjeldatud peatükkides [5.4](#) ja [5.5](#).

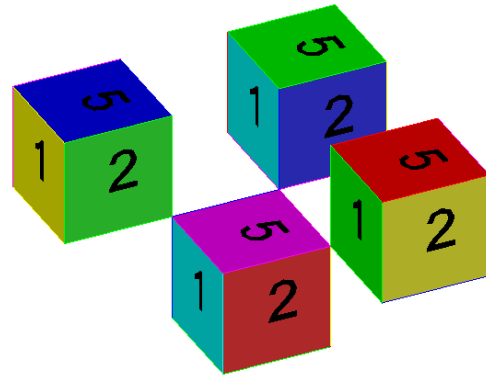
5.3. Täiendaval testimisel kasutatud mudelid

5.3.1. Mudelite kirjeldus

Võimekate liitreaalsuse rakenduste testimiseks kasutati nelja TTK poolt loodud mudelit.

Esimeseks mudeliks on AutoCad 2015-s valmistatud väikesemahuline mudel, millega katsetatakse mudeli liitreaalsuse rakendusse viimise võimalusi ja hinnatakse rakenduse toimivust (õige mõõtkava ja orientatsioon, värvide kuvamine, asukoha täpsus). Lihtsuse huvides on edaspidi seda mudelit nimetatud etaloniks (joonis 17).

Etalon koosneb neljast kuubist, mille kõik servad on ühe meetri pikkused. Iga kuubi tahk on värvitud ja nummerdatud. Mudel on mahult ja hulknurkade arvult nii väike, et selle laadimisel liitreaalsuse rakendusse ei teki probleeme.



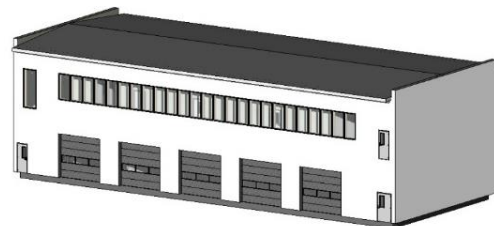
Joonis 17. Etalon

Tallinna Tehnikakõrgkooli D-korpuse arhitektuurne mudel (joonis 18) on valmistatud modelleerimistarkvaras Revit 2015. Mudeli katsetamisel vaadeldakse, kuidas rakenduse jaoks mudelit optimeerida ja kuidas see paikneb ning püsib hoone tegelikus asukohas.

Mudeli andmemaht: .rte formaadis 12,1 MB.

Mudeli andmemaht: .fbx formaadis 3,6 MB.

Esialgse mudeli hulknurkade arv: 0,55 miljonit.

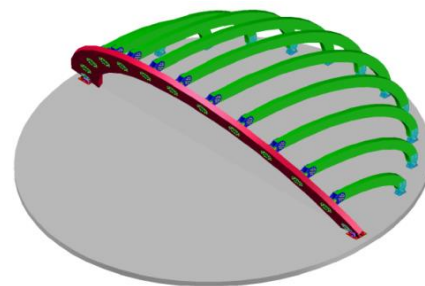


Joonis 18. D-korpuse mudel

Aespa laululava konstruktsiooniosa mudelis (joonis 19) on kujutatud peakaart ja abikaari koos sõlmede ning alusplaadiga. Mudel on valmistatud tarkvaras AutoCAD 2015. Mudeli testimise eesmärk on teada saada, mis määral tuleb mudelit optimeerida, et see toimiks erinevates liitreaalsuse rakendustes ning kuidas optimeeritud mudel neis toimib.

Esialgse mudeli andmemaht: .dwg 16 MB / .dxf 82 MB.

Esialgse mudeli hulknurkade arv: 1,2 miljonit.

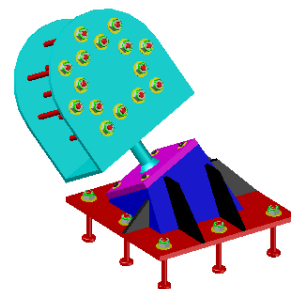


Joonis 19. Laululava mudel [39]

Aespa laululava peakaare suure detailsusega sõlme mudel (joonis 20) on pärit Aespa laululava tervikmudelist. Mudelit kasutatakse eesmärgil, et uurida markeripõhiste rakenduste toimimist ning nende rakenduste kasutatavust ehitusobjektidel.

Esialgse mudeli andmemaht: .dwg 21,5 MB.

Esialgse mudeli hulknurkade arv: 0,06 miljonit.

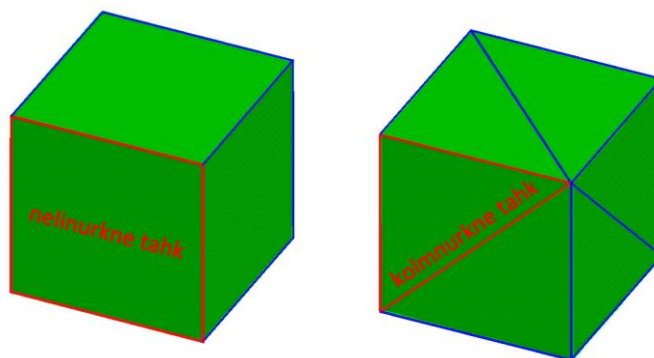


Joonis 20. Laululava sõlme mudel [39]

5.3.2. Mudeli ettevalmistamine liitreaalsuse rakendusse viimiseks

Ehitusvaldkonna peamised modelleerimistarkvarad on Graphisoft ArchiCad, Autodesk Revit, Trimble Tekla Structures, Bentley Microstation V8i, Nemetschek Allplan, MagiCad, Autodesk AutoCad, Trimble SketchUp. Mudeli viimisel modelleerimistarkvarast liitreaalsuse rakendusse peab arvestama rakenduse poolt mudelile esitatud nõudmistega (mudeli andmemahu suurus, kolmnurkade maksimaalne arv, failiformaadid ja materjalid). Paljud ehitusinfo modelleerimistarkvarad ei võimalda salvestada mudelit liitreaalsuse rakenduse jaoks sobivasse failiformaati (nt .obj, .3ds, .dae, .kmz jne), mistõttu tuleb kasutada sobiva formaadi saamiseks täiendavaid tarkvarasid. Faili (ümber)salvestamisel tuleb jälgida nii mudeli andmemahu võimalikke muutusi ning kontrollida salvestatud mudelis olevate kolmnurkade arvu.

Modelleeritud objekti kuju moodustav võrgustik (*mesh*) koosneb tahkudest ehk hulknurkadest ehk polügoonidest (nt kolmnurksed tahud, nelinurksed tahud jne). Visualiseerimistarkvarad tõlgendavad kujundi võrgustiku kolmnurkadeks. **Joonisel 21** esitatud vasakpoolsel kuubil on näha, et modelleerimistarkvaras on kuubi võrgustik külgede alusel jaotatud kuueks hulknurgaks. Parempoolsel kuubil on näha olukord, kui kuubi viimisel liitreaalsuse rakendusse on kujundi võrgustik jaotatud kolmnurkadeks, mis koosneb 12 kolmnurgast. Üldiselt võib öelda, et mida suurem on kujundit moodustavate hulknurkade arv (võrgustiku tihedus), seda suurem on selle kujundi failimaht.



Joonis 21. Hulknurkade arvu muutus viies mudeli BIM modelleerimistarkvarast liitreaalsuse rakendusse

Katsetatavate rakenduste poolt mudelile esitatud peamised tingimused on toodud **tabelis 27** ja rakenduste testimisel kasutatud mudelite parameetrid **tabelis 28**.

Tabel 27. Mudelite üleslaadimist võimaldavate rakenduste vastuvõetavad mudeliformaadid [40] [41]

Rakendus	Vastuvõetavad formaadid	Lubatav maht (MB)
Augment	.dae, .obj, .stl, .3ds	100
ARMedia Player	.armedia*	**
Urbasee Project	.kmz, .dae, .3ds	50
Urbasee Future	.kmz, .dae, .3ds	50

* .armedia formaadi valmistamiseks kasutavad modelleerimistarkvarad ARMedia *plugini*.
** Täpne piirväärtus ei ole teada.

Tabel 28. Mudelite parameetrid

Nr	Mudel	Rakendus	Formaat	Mudeli maht (MB)	Hulknurkade arv (tk)	Tarkvara
1	Etalon	Augment	.3ds	0,04	601	Autodesk AutoCAD 2015
		Urbasee				
		ARMedia Player				
2	Aespa laululava	Augment	.dae	15,60	417 000	
		Urbasee Project				
3	Aespa laululava sõlm	Augment	.dae	11,80	62 746	
		Urbasee Project				
4	TTK D-korpus	Augment	Reviti pistak	80,00	890 000	Autodesk Revit 2015
		Urbasee Future	.kmz	0,50	46 799	
		Urbasee Project				
		ARMedia Player				

5.3.3. Mudeli üleslaadimine rakendusse Augment

Rakendus Augment võimaldab mudelit lisada kolmel viisil: üleslaadides mudelit nende kodulehele, kasutades modelleerimistarkvara *plugini* või kasutades 2016. aasta kevadel avaldatud programmi Augment Desktop. Rakenduse poolt on määratud üleslaetava mudeli (.zip) faili andmemahu piiranguks 100 MB ja mudeli kolmnurkade arvaks miljon kolmnurka. Täiendavad tingimused on esitatud Augmenti kodulehel.

D-korpuse mudel (foto 22 ja joonis 22) oli valmistatud tarkvaras Revit 2015, seetõttu oli rakenduse mudeli valmistamiseks kõige lihtsam kasutada Reviti Augmenti pistakut. Selle abil salvestatakse automaatselt mudel .obj formaati, valmistatakse materjale kirjeldav fail (.mtl) ning luuakse kaust mudelis kasutatud tekstuuridest. Antud failid tuleb viia .zip formaati ja üleslaadida kodulehele. Pistaku kasutamisel tuleb seadistada eksporditava mudeli detailsusastet (*LOD-level of detail*), mis määrab mudeli andmemahu ja kolmnurkade arvu. D-korpuse Reviti mudeli andmemaht oli 12,1 MB, kui see eksporditi .obj formaati – selleks kasutati soovituslikku detailsusastet 10 (pistakus määratav detailsusastme vahemik on 0 kuni 15, millest 15 on kõige detailsem), mille tulemusena oli .obj faili andmemaht 60 MB ja kolmnurkade arv 0,6 miljonit. Seejärel moodustus .obj ja täiendavate materjalide ning tekstuurifailide pakkimise tulemusena .zip fail mahuga 12,7 MB. Sobilik oli ka detailsusastmega 11 tehtud mudel, sest selles olevate kolmnurkade arv oli 0,9 miljonit. Detailsusastmega 12 ei olnud enam võimalik toimivat mudelit valmistada, sest selles olevate kolmnurkade arv oli 0,5 miljonit võrra üle lubatud hulga.

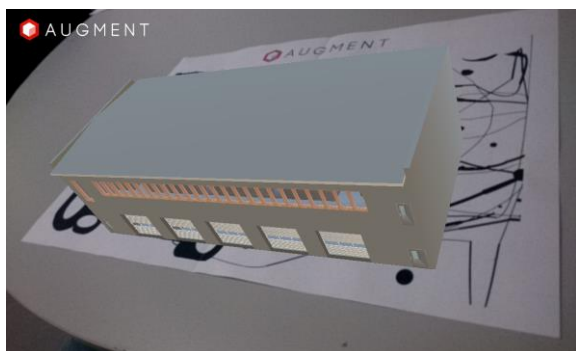


Foto 22. D-korpusest valmistatud mudel kasutades Reviti plugini



Joonis 22. D-korpuse mudeli sisevaade

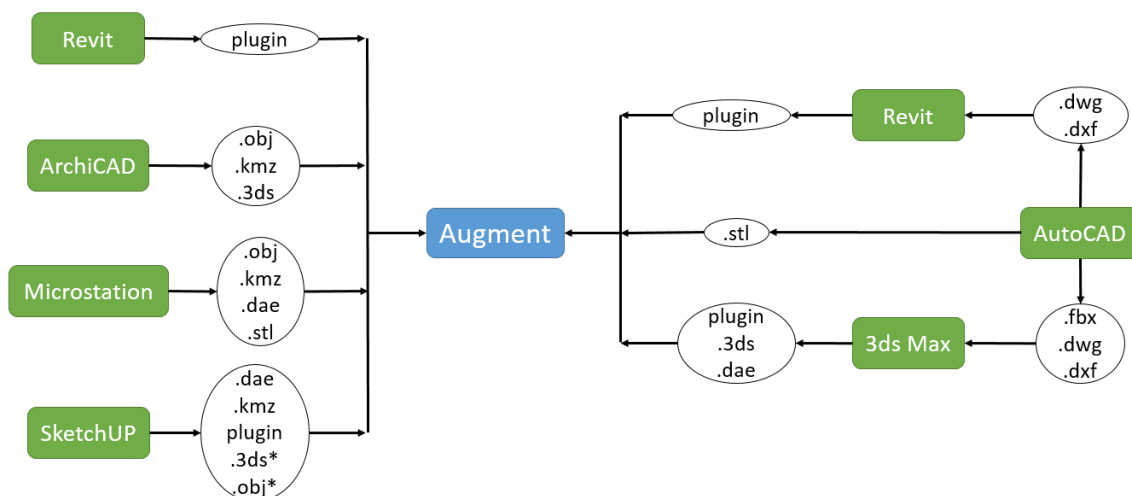
Revitist on võimalik mudelit .fbx formaadis edasi viia modelleerimise ja animeerimise tarkvarasse 3ds Max, milles on võimalik muuta kuvatav mudel realistlikumaks. Olulise omadusena mudeli valmistamisel võimaldab 3ds Max kontrollida mudeli hulknurkade arvu. 3ds Maxi Augmenti *pluginiga* saab määrata mudelis kasutatavat valgusallikaid, materjalide läbipaistvust ja peegeldatavust ning animatsioone. Peale nende seadistamist laetakse mudel automaatselt Augmenti lehele.

Autodesk AutoCADiga on võimalik mudel salvestada .stl formaati ja laadida Augment kodulehele. .stl formaadi puhul peab arvestama, et see sisaldab ainult mudeli geometria informatsiooni ja lõplik mudel on ühevärviline (.stl puhul on mudel rakenduses Augment sininist värvi). Kasutades .dwg, .dxf ja .fbx formaate on võimalik mudelit viia teistesse modelleerimistarkvaradesse (Revit, ArchiCAD, Microstation jne), mille abil saab salvestada mudeli Augmenti jaoks sobivasse formaati. AutoCADi mudeli täiendamiseks on kasutusmugavuse tõttu soovitatav kasutada 3ds Maxi. Üks mugav ja kiire viis mudeli viimiseks AutoCADist Augmenti on viia mudel .dwg või .dxf formaadis 3ds Maxi ja salvestada mudel .dae formaati (openCollada) ning seejärel laadida kodulehele. .dae formaadis salvestamise eeliseks on selle formaadi võime salvestada objekti materjalide värve vastavalt AutoCADis määratud kihtide värvidele.

Etaloni mudeli viimiseks rakendusse Augment salvestati mudel AutoCADis .fbx formaati ning viidi programmi 3ds Max. Esmalt kasutati Augmenti *plugini* mudeli rakendusse viimiseks, kuid sellega valmistatud mudelil puudusid eelnevalt määratud värvid ja numbrid. Seetõttu salvestati mudel 3ds Maxis .dae formaati, mis tagas kõikide kujundite värvide ja objektide olemasolu ning laeti Augmenti kodulehele.

Aespa laululava ja selle sõlme mudeli koostamisel viidi mudelid .dwg formaadis 3ds Maxi ja salvestati .dae formaati ning seejärel laeti kodulehele. Laululava mudelit tuli lihtsustada, sest esialgsel mudelil oli 0,2 miljonit kolmnurka rohkem kui rakenduses lubatud. Kolmnurkade arvu vähendamiseks eemaldati peakaare sõlmedest osad mutrid, kuna need on laululava mudeli kõige rohkem kolmnurki sisaldavad objektid. Laululava sõlme mudeli viimisel Augmenti takistusi ei esinenud.

ArchiCADi, Microstationi ja SketchUPi puhul on soovitatav mudelite viimisel Augmenti kasutada **joonisel 23** näidatud failiformaate. Vabavaraline SketchUP Make võimaldab eksportida .dae ja .kmz formaate. 3ds ja .obj formaate on võimalik eksportida vaid SketchUP Prost. Augmentil on SketchUPi jaoks väljatöötatud mudeli lisamist lihtsustav *plugin*.



Joonis 23. Augmenti üleslaetavate mudelite formaadid

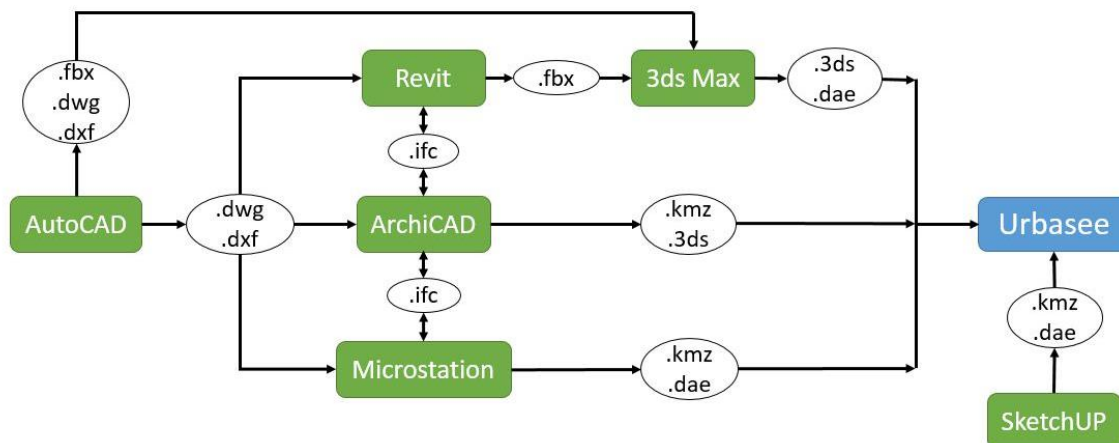
5.3.4. Mudeli üleslaadimine rakendusse Urbasee

Urbasee Future ja Project võtavad vastu .dae, .kmz ja .3ds formaadis mudeleid, mille suurus võib olla kuni 50 MB. 10-päevast prooviversiooni kasutades on võimalik üles laadida üks mudel.

D-korpuse viimisel rakendusse Urbasee Future salvestati mudel Revitis .fbx formaati ja viidi programmi 3ds Max, milles salvestati mudel .3ds kujule. .3ds formaadi salvestamiseks tuli kustutada hoone viis garaažiust, sest garaažiuks moodustavate pindade arv ei võimaldanud .3ds formaati salvestada. Järgnevalt viidi mudel programmi SketchUP Make. Peale mudeli importimist selgus, et hoone fassaadilt olid kadunud kõik peale kolme akna. Järgi jäänud aknad olid erinevat tüüpi. Üht tüüpi akende kadumine oli tingitud SketchUpi poolsest faili importimise väärtast tõlgendamisest. Kõik kadunud aknad (88 tükki) paiknesid olemasoleva aknatüüpi peal. Puuduvate akende asukohta ei hakatud korrigeerima. SketchUPis määrati hoone geograafiline asukoht ja salvestati mudel .kmz formaati ning seejärel laeti mudel Urbasee kodulehele.

Etaloni, Aespa laululava ja sõlme mudeli viimisel rakendusse Urbasee kasutati samu .dae formaadis mudeleid nagu rakenduses Augment.

Teiste modelleerimistarkvaradega valmistatud mudeleid on võimalik viia rakendusse Urbasee kasutades **joonisel 24** esitatud soovituslikke lahendusi.



Joonis 24. Urbaseesse üleslaetavate mudelite formaadid

5.3.5. Mudeli üleslaadimine rakendusse ARMedia Player

Mudelite lisamiseks rakendusse ARMedia Player tuleb kasutada vastavat modelleerimistarkvara, millele on loodud sobilik *plugin*. Pistakud on välja töötatud järgnevatele tarkvaradele: 3ds Max, SketchUp, Scia Engineer, Maya jne. Neid on võimalik alla laadida arendaja kodulehelt.

Mudeli viimisel rakendusse kasutati modelleerimistarkvara SketchUp Make 2015. Katsetuse läbiviimiseks oli kavas kasutada ka 3ds Maxi ARMedia pistakut, kuid testimise käigus selgus, et see ei toiminud 3ds Max Design 2015 puhul. *Plugin* annab valida, kas mudelit soovitatakse kuvada kasutades markerit, GNSS abil positsioneerimist või mõlema kombinatsiooni. Pistak võimaldab määrata, milliseid mudeli osasid soovitakse liitreaalsuses kuvada ning võimaldab lisada animatsioone (nt päike ja varjud). Valmiv fail on formaadis .armedia ja töötab ainult ARMedia Playeris.

Etaloni viimisel rakendusse ARMedia Player kasutati AutoCADis valmistatud mudeli .fbx formaati, mis salvestati 3ds Maxis kujule .dae ning viidi programmi SketchUP Make. Selles kasutati rakenduse liidest, et luua mudelist .armedia formaat. SketchUPis tuli kasutada .dae formaadis etaloni mudelit, sest selles avatud .3ds formaadis mudelil olid osad mudeliosad puudu.

TTK D-korpuse mudeli rakendusse lisamisel kasutakse hoonest .kmz faili, mida kasutati rakenduses Urbasee Future.

5.4. Sensoripõhise jälgimismeetodiga rakenduste täpsem testimine

Et teada saada, mida sensoripõhise jälgimismeetodiga rakendused Urbasee Future ja ARMedia Player võimaldavad, testiti neid ka täiendavate mudelitega. Kasutatavad mudelid olid:

- etalon – neli kuupi, mille kõik tahud on positioneerimise kontrollimiseks erinevate värvide ja numbritega (joonis 17);
- Tallinna Tehnikakõrgkooli D-korpuse mudel (joonis 18).

Etaloni ja D-korpuse mudelit testiti spordiväljakul aadressiga Suur-Ameerika tn 3 / Väike-Ameerika tn 4 (foto 23). D-korpuse mudelit testiti lisaks sellele ka hoone tegelikus asukohas TTK sisehoovis aadressil Pärnu mnt 62 (foto 24), kus hooned on teineteisele suhteliselt lähedal ja GNSS signaali vastuvõtmine seetõttu raskendatud.



Foto 23. Mudelite asukoht Suur-Ameerika tn 3 / Väike-Ameerika tn 4 territooriumil (märgitud punasega)



Foto 24. D-korpuse asukoht Pärnu mnt 62 hoovis (märgitud punasega)

Rakenduste testimise eesmärk oli teada saada rakenduse toimivus linnaruumis, kus hooned paiknevad üksteisest 20 meetri kaugusel ja kohtades, kus seadmele lähim hoone paikneb 100 meetri kaugusel. See annab ülevaate, kui hästi saab rakendus GNSS signaale kätte, neid töötleb ning kas paigutab mudeli ettenähtud asukohta.

Mudelit vaadeldi erinevast asukohtadest ning selle käigus tehti kuvatõmmiseid, et oleks hiljem võimalik visuaalselt hinnata mudeli paiknemist võrreldes tegeliku asukohaga. Viga mõõdeti digitaalselt Maa-ameti kaardilehel. Testiti ka seadmega mudeli asukohale lähemale ja kaugemale liikumist erinevatel kiirustel. Kui rakendus ei suutnud mudeli asukohta seadmega sünkroonselt liigutada, tuli liikuda sujuvamalt, et rakendus suudaks mudelit õiges asukohas kuvada. Signaalide kättesaadavus ja töötlemine oleneb ka seadmest ja satelliitidest – mitu satelliiti on saadaval, kui tihedalt signaale vastu võetakse ning kui kiiresti neid töödeldakse. Rakenduse põhjalikul testimisel tehti seadmega mudeli ettenähtud asukoha ümber mitmeid ringe, et saaks võrrelda erinevaid tulemusi.

Testimisel kasutatud kahe rakenduse toimivus oli väga erinev – Urbasee Future töötas kõikidel seadmetel enamasti hästi, aga ARMedia Player abil oli mudeleid võimalik vaadelda ainult iPadil. Järgnevalt on antud ülevaade mõlema rakenduse katsetamisest.

Rakenduses Urbasee Future paiknes mudel kaugemalt vaadates (alates 40 meetrist) õiges piirkonnas, aga „triivis“ enamikel seadmetel ligikaudu 20 meetri raadiuses (fotod 25 ja 26). Kui seade paiknes ettenähtud asukoha lähedal (u 5 m kaugusel) ja oli paigal, siis püsis ka mudel oma asukohas. Mudeli suurus ekraanil sõltus seadme ja mudeli ettenähtud asukoha vahelisest kaugusest ning toimis etaloni puhul üldjoontes korrektselt, kuid D-korpuse mudel oli tegeliku suurusega võrreldes oluliselt väiksem. Seadme asukoha muutmisel esines viivitus mudeli suuruse muutumisel ekraanil, jäädes vahemikku 1...5 sekundit. Kuni paarisekundilise viivituse korral oli mudeli vaatlemine veel suhteliselt kasutajasõbralik, kuid pikem viivitus häiris juba oluliselt. Erinevatelt külgedelt vaadatuna oli mudeli orientatsioon õige (fotod 27 ja 28), kuid rakendus ei tunneta maapinda ning seetõttu ei suuda rakendus vaadeldavat objekti seadme vertikaalsel liigutamisel korrektselt kuvada (fotod 29 ja 30).

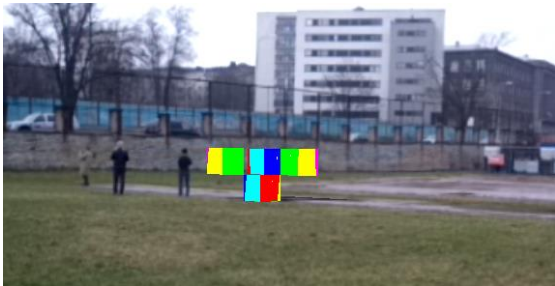


Foto 25. Etaloni vaatlemine rakendusega Urbasee Future umbes 30 m kauguselt



Foto 26. Etaloni vaatlemine rakendusega Urbasee Future umbes 20 m kauguselt



Foto 27. Vaade etalonile kirdest (Urbasee Future)

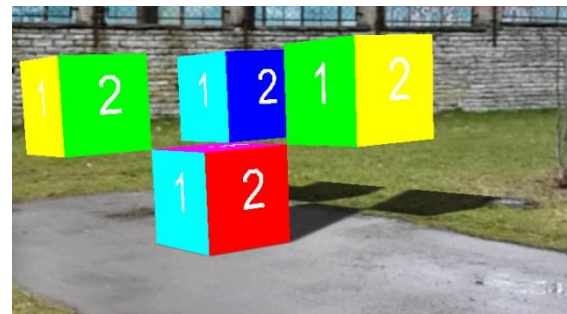


Foto 28. Vaade etalonile edelast (Urbasee Future)

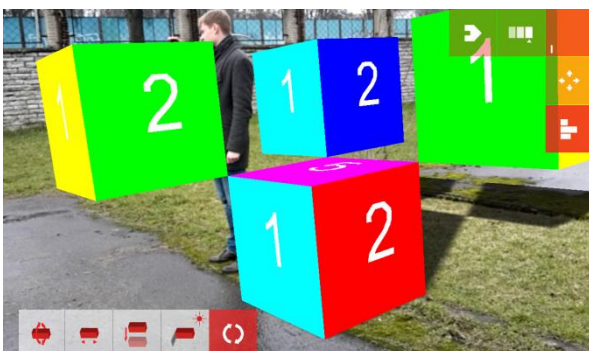


Foto 29. Mudeli vaade umbes 1,5 m kõrgusel maapinnast (Urbasee Future)

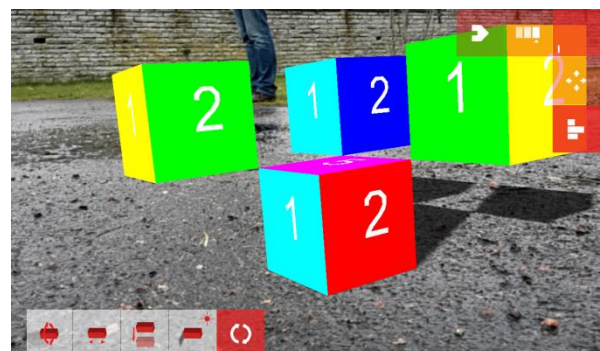


Foto 30. Mudeli vaade umbes 10 cm kõrgusel maapinnast (Urbasee Future)

D-korpuse mudeli puhul on väga hästi näha ka kõige väiksemat orientatsiooni viga (foto 31), mida väiksema mudeli korral ei pane tähele (mudeli õige orientatsioon on siis, kui hoone pikem külg on paralleelne fotol nähtava asfaldi servaga). Mudel on SketchUpis paigutatud tegelikule nullpinnale (foto 32), aga rakendus ei suuda seda arvesse võtta ning kuvab nähtavana ka mudeli selle osa, mis peaks tegelikkuses olema maa sees (foto 31). Rakendus kuvab mudeli ekraanile nii, et see varjab ära nii mudeli ees kui ka taga olevad objektid.

Testides D-korpuse mudelit tegelikus asukohas Tallinna Tehnikakõrgkooli hoovis, olid mudeli asukoha vead seadmetel erinevad. Mudeli paigutuse täpsus oli vahemikus 20...30 meetrit (fotod 33 ja 34). Olenevalt seadmest vähendas rakendus mudeli suurust kuni kaks korda.

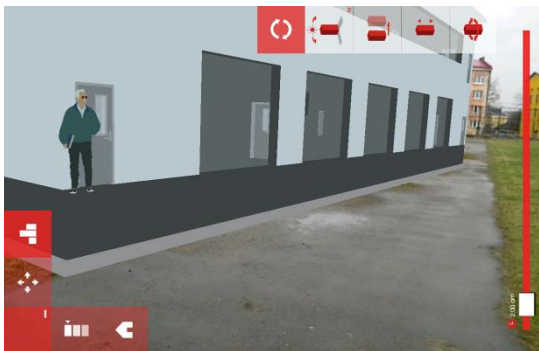


Foto 31. Suuremal mudelil on orientatsiooniviga paremini näha (Urbasee Future)

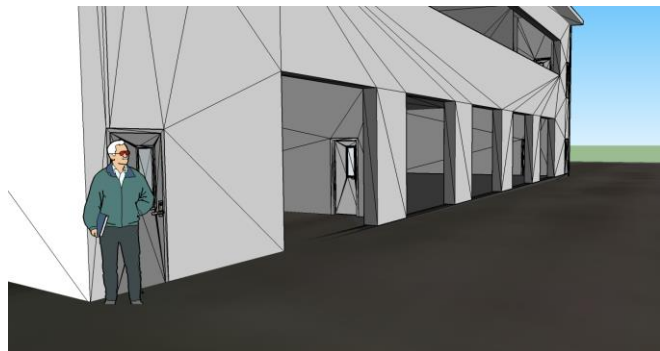


Foto 32. Mudeli määratud kõrguslik asukoht maapinna suhtes (SketchUp)



Foto 33. Kuvatava mudeli ja hoone tegeliku asukoha võrdlus – erinevus umbes 30 m (Urbasee Future)

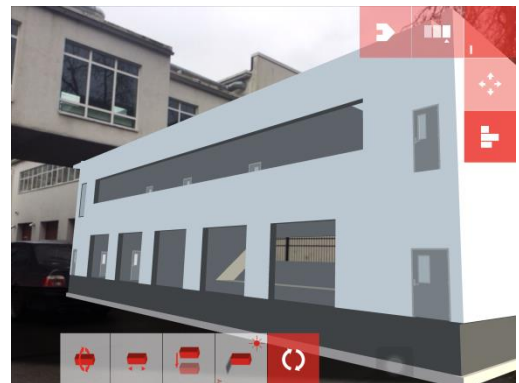


Foto 34. Kuvatava mudeli ja hoone tegeliku asukoha võrdlus – erinevus umbes 20 m (Urbasee Future)

iPad Air 2 puhul toimis rakendus ARMedia Player võrreldes teiste seadmetega väga hästi – mudel oli õiges asukohas ja seda sai erinevate nurkade alt vaadata (foto 35). Mudeli asukoht uuenes seadme liikumisel umbes iga kahe meetri järel. Teistel seadmetel paiknes mudel kaugelt vaadates (u 50 meetrit) vales suunas ja asukohas või ei olnud üldse nähtav. Lähemalt vaadates paiknes mudel seadmest enamasti ühel ja samal kaugusel sõltumata kasutaja asukohast mudeli tegeliku asukoha suhtes (foto 36). Lisaks oli mudelit võimalik vaadelda ainult ühe külje pealt, st mudel pööras kaasa kasutaja pööramisega.

D-korpuse vaatlemisel rakendusega AR-Media Player ei olnud mudel ühelgi juhul õiges mõõtkavas (fotod 37 ja 38). Asukoha poolest paiknes mudel kõige täpsemini iPad Air 2 kasutamisel (ligikaudu 5 m kaugusel tegelikust asukohast), kuid ei olnud õige orientatsiooniga (foto 37). Seadmes Samsung

Galaxy Express 2 ei toiminud kumbki sensoripõhine rakendus eesmärgipäraselt, kuna mudelid ei olnud vaadeldavad suure asukohavea tõttu.

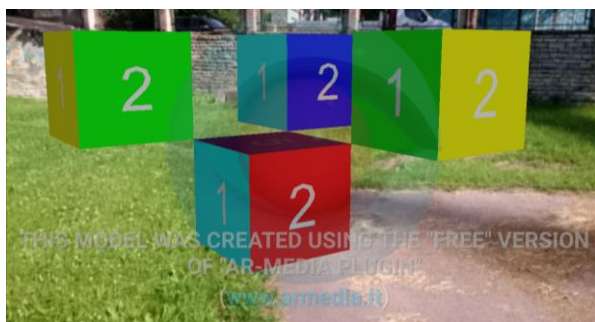


Foto 35. Hea näide – etaloni eeskujulik kuvamine (ARMedia Player)



Foto 36. Halb näide – etaloni kuvamine, kui kasutaja asub umbes 2 m kaugusel mudeli ettenähtud geograafilisest asukohast (ARMedia Player)

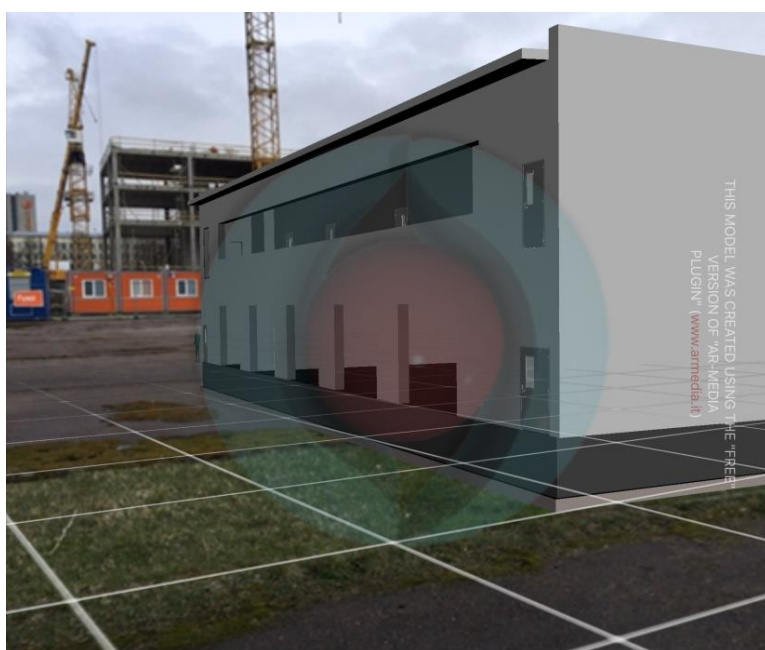


Foto 37. Parim näide D-korpuse mudeli kuvamisest (ARMedia Player)

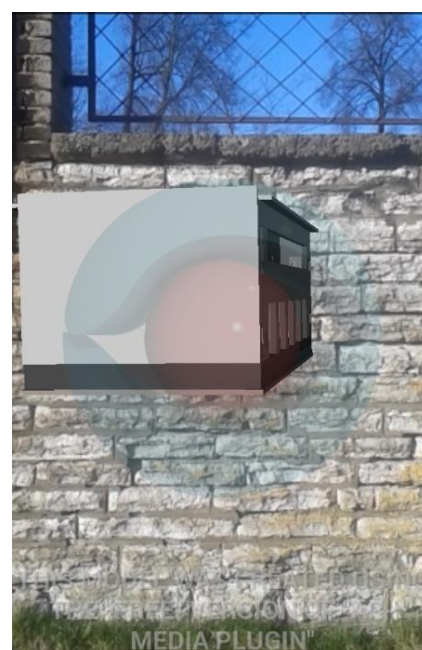


Foto 38. Halb näide D-korpuse mudeli kuvamisest (ARMedia Player)

5.5. Markeripõhiste rakenduste testimine

Markeripõhisele jälgimismeetodile tuginevatest rakendustest testiti Augmenti ja Urbasee Projectit. Kasutati samu mudeleid, mida sensoripõhistel jälgimismeetoditel toimivate rakenduste testis, aga juurde lisati Aespa laululava mudel ning selle peakaare kannasõlm (joonised 19 ja 20).

Katse käigus vaadeldi mudeleid erinevas suuruses markerite (A4, A3) peal ning ka markeril, mis oli kuvatud suurele ekraanile (3,3×2,1 m). Põhilisteks eesmärkideks oli uurida, kui hästi püsib mudel markeril (ka siis, kui osa markerist on varjatud) ning kui kaugel markerist olles suudab seade mudelit kuvada. Täiendavalt sooviti uurida kas ja kui palju mõjutavad mudeli vaatlemist valgustingimused.

Mõlemal rakendusel olenes mudeli suurus markeri suurusest (fotod 39 ja 40) ning mudelid püsisid markeril hästi. Kõige pikem vahemaa A4 formaadis markeri ja seadme vahel mudeli vaatlemisel

heades valgustingimustes mõõdeti 3 meetrit. Vertikaalselt paigutatud markeri korral (kui kaamera suund on risti markeriga) võib olla vahemaa isegi suurem.

Etaloni viimisel rakenduse Augment kasutati formaati .3ds ning Aespa laululava ja selle sõlme mudeli korral kasutati formaati .dae. Augmentis saab mudelit suurendada, liigutada ja keerata ning kuvatavale mudelile saab reaajas lisada kõrvale ka teise mudeli (foto 16), millest ühtegi ei saa teha rakenduses Urbasee Project. Mõlemad rakendused võimaldavad kuvada mudeli varjusid, mille suunda saab Urbasees kellaaja määramisega muuta.

Ruumis pole päevavalguse käes mudeli kuvamine markerile probleemne. Otsese päikesevalguse käes on nutiseadme ekraani vaatamine raskendatud, sest ekraanile langev valgus vähendab pildi kontrasti, värve ja teravust ekraanil. Hämara valgusega ruumis suudavad rakendused mudelit markerile kuvada, aga mudeli kuvamine ekraanil oleneb markeri vaatlemise nurgast (foto 41). Mõlema rakenduse korral tekib mudel markerile ka siis, kui üle poole markerist on varjatud.

Testis osalenud rakendused töötasid sobilikes valgustingimustes suurepäraselt, võimaldades mudelite mugavat ja praktikas hästi rakendatavat kasutamist. Markerit kasutamine on suurepärase võimalus kuvada näiteks keerukate sõlmede mudeleid (foto 42).

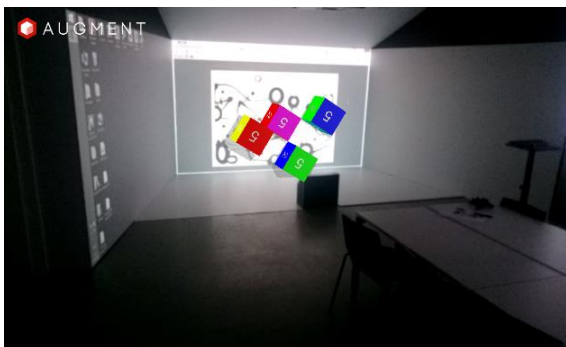


Foto 39. Mudel BIM-CAVE ekraanil oleval markeril (Augment)



Foto 40. Mudel A4 markeril (Augment)

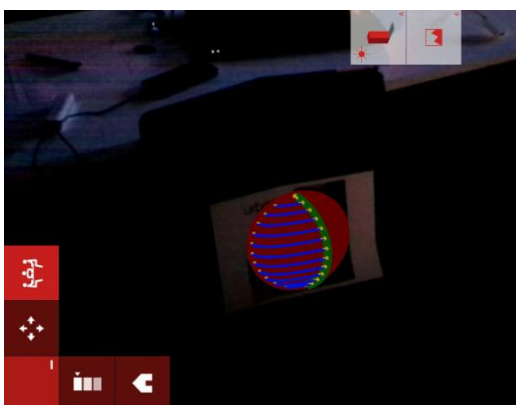


Foto 41. Laululava mudeli vaatlemine pimedas ruumis (Urbasee Project)

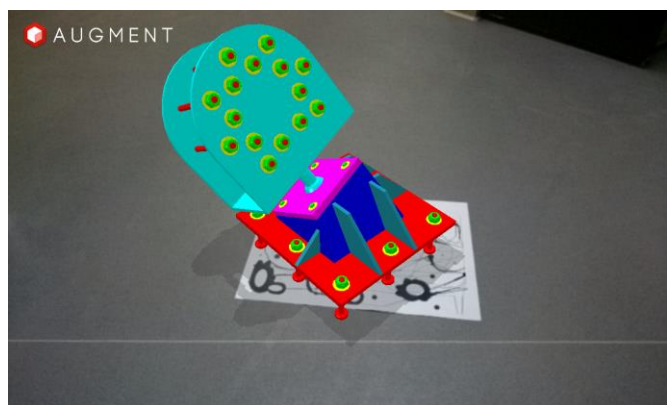


Foto 42. Aespa laululava kannasõlm A4 markeril (Augment)

6. JÄRELDUSED JA KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks on anda ülevaade liitreaalsuse kasutusvõimalustest ehitusvaldkonnas. Uurimistöös on käsitletud valdkonna ajalugu, hetkeolukorda ning lähitulevikku. Vaadeldud on liitreaalsuses kasutatavaid nutiseadmeid, mudeli ja nutiseadme positsioneerimise võimalusi ning kättesaadavaid olemasolevaid rakendusi. Lisaks viidi läbi liitreaalsusega seotud eksperimente ning testiti erinevatel põhimõtetel töötavaid rakendusi.

Liitreaalsuse peamised kasutusvõimalused ehitusvaldkonnas:

1) Kavandamise faas

Liitreaalsuse kasutamine hoone kavandamise protsessis suurendab ehitist ümbritseva keskkonna arvestamist hoone kavandamisel. Liitreaalsus võimaldab visualiseerida kavandatud objekti ettenähtud asukohas ja tegelikus suurus. Objekti täpne paigutus ja mõõtkava lihtsustavad kasutajatel visualiseeritud lahenduse mõistmist ja hindamist. Seeläbi on kavandatud mudel osapooltele üheselt mõistetav ja lihtsustab osapoolte vaheline suhtlus. Tuleviku liitreaalsuse rakendused võimaldavad teostada vastuolude kontrolli virtuaalsete elementide ja päris keskkonnas olevate objektide vahel. Lisaks saab hoone kavandamise protsessis kasutada liitreaalsuses 4D lahendusi, mis võimaldavad tegelikus keskkonnas olevale objektile lisada simulatsioone.

2) Ehitamise faas

Ehitamise faasis on ehitusinfo mudelite kasutamisel liitreaalsuses kolm peamist kasutusviisi: visualiseerimaks seda, mida ei ole veel ehitatud; kuvamiseks seda, mis on peidetud (nt konstruktsiooni sees olevad kommunikatsioonid); ja kujutamaks seda, mida ei ole võimalik näha (nt krundi piir, ruumi kubatuur). Ehitusinfo mudeli andmeid saab siduda tegeliku ehitusplatsiga. See võimaldab läbi liitreaalsuse kuvada ehituse käigus mudeli/projekti informatsiooni otse ehitusplatsile. Seeläbi saab võrrelda, millised osad on valmis ehitatud ja mida tuleb järgnevalt ehitada. See abistab ehitusplatsil ehitusjärelvalve teostamist ja lihtsustab ehitise valmimise jälgimist. BIM koos liitreaalsusega võimaldab täpselt määrata näiteks ehitise elementide paigaldamise asukohta, aitab määrata materjalide, varustuse ja seadmete asukohta ehitusplatsil ning võimaldab kuvada kasutatud elementide omadusi ja parameetreid. Liitreaalsust saab kasutada ehitusplatsil enda asukoha määramiseks ja navigeerimiseks.

3) Haldamise faas

Haldamise faasis saab liitreaalsust kasutada näiteks valminud ehitise tehnosüsteemide hindamiseks ja kontrollimiseks. Sidudes hoone haldusmudeli informatsiooni ja liitreaalsuse võimalused on võimalik määrata hoone konstruktsioonides olevate kommunikatsioonide asukohti ilma konstruktsioone avamata. Lisaks võimaldab haldusmudeli täiendav informatsioon kuvada, millal on tarvis teostada süsteemidele hooldustöid ja vahetada välja komponente. Täiendav informatsioon kuvatakse vastavale süsteemiosale ja kasutaja juhendatakse samm-sammult läbi hoolduse teostamise etappide.

Liitreaalsuses täiendatakse reaalselt keskkonda virtuaalse informatsiooniga. Liitreaalsuse süsteem koosneb kaamerast, seadmest ja ekraanist. Kaameraga tekitatakse pilt, süsteem kuvab virtuaalse objekti kaamera pildi peale ja näitab tulemust. Liitreaalsuse loomiseks on süsteemil tarvis teada, kus paikneb kasutaja ja mida kasutaja vaatab. Tavaliselt vaatab kasutaja nutiseadme ekraani, mis kuvab kaamerapilti samaaegselt täiendava informatsiooniga. Selle jaoks peab süsteem määrama kaamera asukoha ja suuna. Kalibreeritud kaamera abil suudab süsteem renderdada virtuaalseid objekte nende õiges asukohas.

Jälgimine tähendab reaajas kaamera suhtelise asendi arvutamist ning on liitreaalsuse üks põhikomponentidest. Teadlased on välja arendanud märkimisväärse arvu erinevaid jälgimismeetodeid, mida saab jaotada sensoripõhisteks, visuaalseteks ja kombineeritud meetoditeks. Visuaalne jälgimismeetod jaguneb omakorda markeri-, tunnuse- ja mudelipõhiseks. Eraldiseisvalt on kõikidel jälgimismeetoditel omad puudused, mida saab kõrvaldada neid omavahel kombineerides.

- **Markeripõhise jälgimissüsteemi** populaarsuse taga on nende lihtne kasutatavus ja heade üldtuntud markeripõhiste rakenduste loomise vahendite olemasolu. Markerid tagavad kuvatava objekti korrektse mõõtkava ning on lihtsasti kasutatavad. Lisaks võivad need omada kodeeritud informatsiooni (QR- ja triipkood), mis võimaldab süsteemil lisada markeritele objekte või interaktiivsust. Töös vaadeldud markeripõhised rakendused töötasid suurepäraselt – mudelid paiknesid ja püsisid ettenähtud asukohas ning võimaldasid objekti vaadelda erinevatest asukohtadest ja liikumise pealt. Markeripõhine jälgimismeetod on tehniliselt kõige vähenõudlikum, sest see saab hakkama väiksema jõudlusega protsessoriga ja vähema muutmäluga. Markeripõhine süsteem on kasutaja jaoks lihtsasti mõistetav ning seda on võimalik kasutada nii sise- kui ka välistingimustes. Meetodi suurimaks puuduseks võib lugeda asjaolu, et markerit on ebamugav kasutada suurte objektide (nt hoonete) kuvamiseks, kuna marker peab olema kogu aeg kaamera vaateväljas. Meetodit on soovitatav kasutada vähendatud mõõtkavaga hoonete vaatlemiseks ning väikesemõõduliste (suurusjärg kuni paar meetrit) sõlmede ja detailide kuvamiseks.
- **Tunnusepõhine jälgimine** on meetod, mis toimib kaamerapildilt iseloomulike tunnuste (karakteristikute) otsimises. Sellel baseeruvaid avalikke rakendusi on väga üksikuid, kuid selle kasutamisel oleks ehitusvaldkonnas väga suur potentsiaal. On täheldatav tendents, et tarkvaraarenduskomplektidesse on järjest rohkem lisandunud tunnusepõhise jälgimismeetodiga seotud funktsioone (SLAM). Praeguseks on teada, et mitmed korporatsioonid on tegemas aktiivset sellealast arendustööd. Nendest kõige tähelepanuväärseimad on Microsoft HoloLens ja Google Project Tango. Hetkel need seadmed veel seeriatootmises ei ole, kuid saadaval on nn arendajaversioonid. Mõlemad mainitud seadmed omavad märkimisväärseid tehnoloogilisi uuendusi (nt sügavuse tajumine, reaajas keskkonna skaneerimine jne), mis avardaks oluliselt ka liitreaalsuse kasutamise võimalusi ehitusvaldkonnas.
- **Mudelipõhine jälgimine** on süsteem, mis omab keskkonna või selle osa 3D mudelit, tuvastab mudeli ja keskkonna ühisosa ning selle informatsiooni alusel tuletab kaamera asukoha. Süsteem saab tuvastamise protsessis kasutada objektide kuju ja nende piirjooni, sest need püsivad muutumatuna ja ei ole sõltuvuses valgustingimustest ega tekstuuridest. Mudeli kasutamise probleemiks on mudeli väljanägemise ja tegeliku keskkonna suur erinevus. Mudelipõhise jälgimissüsteemi korral saab mudelit nimetada ka 3D markeriks. 3D mudel algatab jälgimisprotsessi ning määrab kuvatava objekti õige asendi ja mõõtkava. Lisaks saab mudelipõhist jälgimissüsteemi kombineerida teiste jälgimismeetoditega.
- **Sensoripõhises jälgimismeetodis** määravad sensorid seadme asukoha ja orientatsiooni ehk kombineeritult nende asendi. Nutiseadme positsioneerimisel kasutatakse tänapäeval peamiselt satelliite, WiFi-t ja mobiilsidet, millest viimane jaguneb omakorda GSMiks ja mobiilseks andmesideks. Välistingimustes läbiviidud seadme positsioneerimiskatse tulemused jäid viie meetri raadiusse, seejuures suurendavad täpsustavad seadistused (GSM, mobiilne andmeside ja WiFi) positsioneerimise kiirust, mitte täpsust. Seadme asendi määramiseks kasutatakse güroskoopi, kiirendusandurit, digitaalset kompassi ja GNSSi. Kiirendusandur ja güroskoop võimaldavad määrata seadme suhtelise liikumise, kompass määrab suuna ning GNSS lisab juurde asukoha. Satelliitnavigatsiooni abil positsioneerimise peamiseks probleemiks on see, et signaali saamiseks peab vastuvõtja „nägema“ satelliite, sest signaal ei suuda läbi ehitise piirdekonstruktsioonide levida. Seetõttu on majade vahel asukoha määramine enamasti väga ebatäpne. Täpsuse suurendamiseks on võimalik kasutada DGPS-i (differential global positioning system) või AGPS-i (assisted global positioning system), mis aitavad määrata asukohta, eriti

kohtades, kus signaalide vastuvõtt satelliitidelt on häiritud. Olemas on ka eraldiseisvad GNSS vastuvõtjad, mida saab näiteks Bluetoothi abil nutiseadmega ühendada, suurendades sellega täpsust. GNSS abil positsioneerimine toimib ka siseruumides, kui kasutada näiteks pseudoliite. Käesolevas töös testitud sensoripõhise jälgimismeetodiga rakendused töötasid oluliselt paremini võimekamate nutiseadmete korral. Üldjuhul rakendused toimisid, kuid peamiseks probleemiks oli mudeli paiknemise väike täpsus (10...20 meetrit) ning mudeli triivimine. Sensoripõhist jälgimismeetodit on soovitatav kasutada suurte objektide (ehitiste) kuvamiseks ja eemalt vaatlemiseks, kuna võimaldab kasutajale suurt liikumisulatust (erinevalt markerist, mis peab olema kogu aeg vaateväljas) ja mudeli võimalik ebatäpne asukoht mõjutab vaatlustulemust suhteliselt vähe.

Käesoleva töö autorid töötasid välja 17 erinevat kriteeriumit, mis ehitusvaldkonna liitreaalsuse rakendustes olla võiksid. Rakendused võimaldavad mudeli vaatlemist ja lihtsamate animatsioonide kasutamist. Liitreaalsuse igapäevaseks kasutamiseks on kindlasti vaja suurendada rakenduste funktsionaalsust, võimaldades vähemalt järgnevat:

- ilma markerita töökindlat positsioneerimislahendust, mis töötab nii sise- kui ka väliskeskkonnas;
- mudeliosade sisse- ja väljalülitamist;
- mudeli omaduste muutmist rakenduses;
- märkmete lisamist ja jagamist;
- tegevusjuhiste edastamist reaalsajas;
- ekraanipildi jagamist reaalsajas;
- haldusmudeli info olemasolu;
- täiendavate andurite kasutamise võimalust;
- reaalsete objektide kaotamist ekraanivaates.

Tehnoloogia jätkuva arengu ja lahenduste täienemisel on oodata, et liitreaalsusest saab BIM-i kasutusvõimalusi mitmekülgseks laiendav lahendus. Praegused peamised põhjused, mis piiravad liitreaalsuse kasutuselevõttu ehitussektoris, on tehnoloogiast ja inimfaktorist tingitud probleemid:

1) Kuvar

Liitreaalsusseadmete kuvarid peavad olema sobivad ettenähtud töö tegemiseks vastavas keskkonnas. Enamik tänapäeval kasutatavatest liitreaalsuse rakendustest kasutavad ekraanipõhiseid kuvareid. Nende kasutamine välitingimustes päikesepaistelise ilmaga on raskendatud (peegeldumine) ja seetõttu on need sobilikumad kasutamiseks sisetitingimustes. Ekraanipõhised kuvarid on sobilikud kasutamiseks ehitise kavandamise ja haldamise faasis, kuid hoone ehitamise faasis on pigem tarvis, et kasutaja käed oleksid vabad. Sellisel juhul oleks võimalik kasutada nutiprille. Tulevased erialaseks kasutuseks mõeldud nutiprillid peavad lahendama probleemid, mis mõjutavad kasutajate tervist ja turvalisust, nutiseadme töökindlust ettenähtud keskkonnas ja nende kandmise sotsiaalset mõju.

2) Jälgimine

Hoone ehituse ja haldamise faasis peab liitreaalsuse jälgimissüsteem toimima kogu ehitise ulatuses ja samas tagama piisava täpsuse. Mitmekorruseliste hoonete puhul peab jälgimissüsteem toetama kõrguse muutumise registreerimist ja suutma arvestada nutiseadme kasutaja pikkusega kuvades virtuaalseid objekte. Tänapäevased jälgimissüsteemid ei ole veel piisavalt arenenud, et suudaksid tagada piisava täpsuse ja vajaliku töökindluse erinevates olukordades. GNSS poolt tagatav positsioneerimise täpsus jääb vahemikku 5-20 m – selle täpsust mõjutavad nt ilmastikutingimused ja ümbritsev keskkond. Satelliitnavigatsiooni abil positsioneerimise täpsust on võimalik lisaseadmetega mõnevõrra parandada. Lisaks töötab GNSS peamiselt välitingimustes. Sisetitingimustes kasutatakse liitreaalsuse tekitamiseks valdavalt markereid. Markerite puudusteks on, et ajapikku võivad nad oma kujult deformeeruda,

ehitustööd võivad need ära varjata ning nende tuvastamine jälgimissüsteemi poolt sõltub keskkonna valgustingimustest ja kaamera vaateväljast. Tulevikus lahendab need probleemid ilmselt kombineeritud jälgimismeetodite kasutamine, mida hetkel aktiivselt arendatakse.

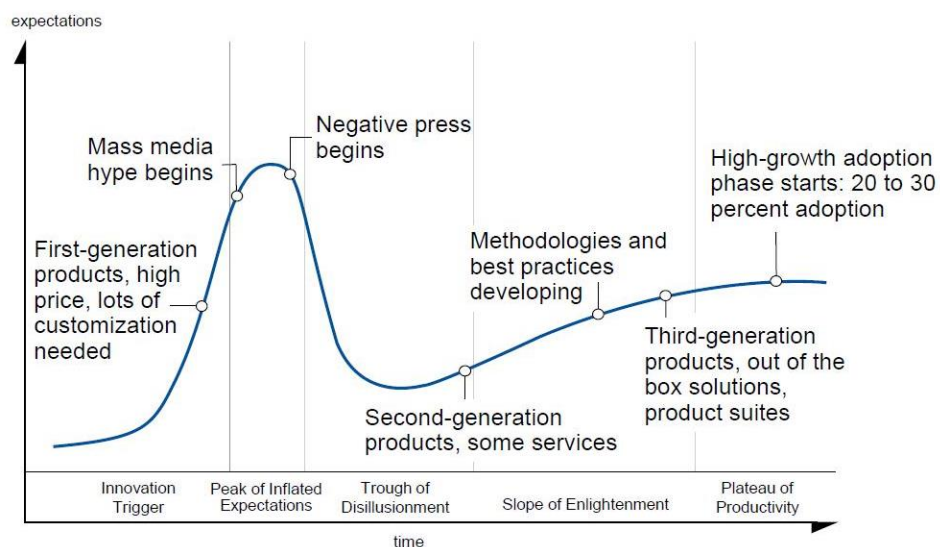
3) Failiformaat ja andmetöötlus

Virtuaalsete mudelite valmistamine on liitreaalsuse jaoks problemaatiline, sest BIM protsessis kasutatavad tarkvarad valmistavad mudeleid mitmes erinevas formaadis, kuid liitreaalsuse tarkvaras on neist võimalik kasutada väheseid. Mudeli sobilikule formaadile viimisel võib esineda informatsiooni kadu ja sobiliku formaadi korral vajab mudel üldiselt täiendavat optimeerimist ja seadistamist. Liitreaalsuse kasutatavuse lihtsustamiseks tuleks kasutusele võtta failiformaat, mis võimaldab kadudeta informatsiooni edastamist. Sobiliku formaadi väljatöötamisel on liitreaalsuse kasutatavusel järgmiseks kitsaskohaks nutiseade, mis on veel piiratud võimekusega. Enamikele tänapäeval müügis olevatest nutiseadmetest on realistlike liitreaalsuse stseenide loomine üle jõu käiv.

4) Inimfaktor

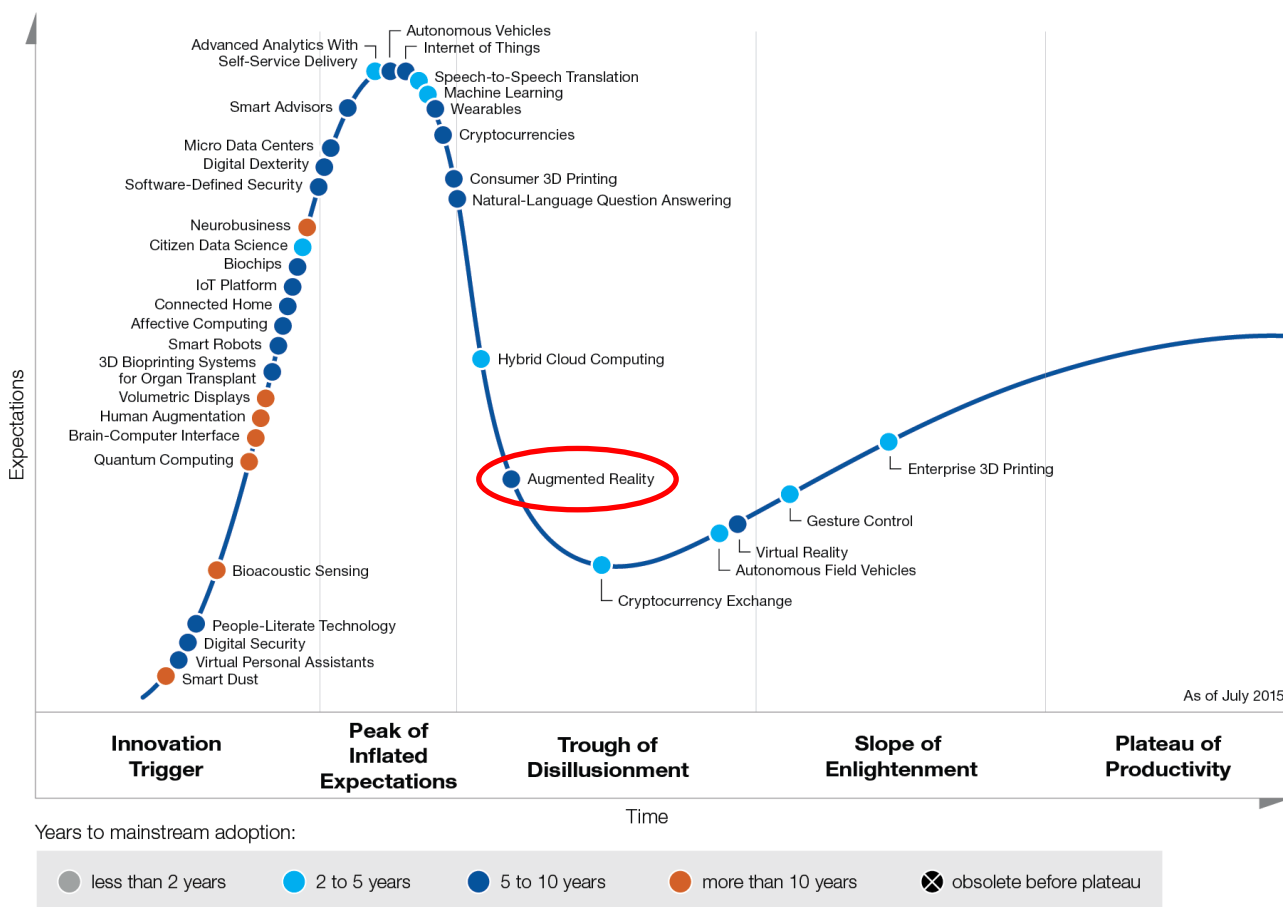
Liitreaalsuse lahenduste kasutuselevõtu soodustamiseks peavad rakendused olema piisavalt kasutajasõbralikud, et neid saaks kasutada ilma täiendava juhendamiseta. Lisaks on liitreaalsussüsteemi lahutamatuks osaks kaamera, millel võib olla märgatav mõju vaatevälja jäävale inimesele ning mis tekitab inimeses stressi ja muuta tema käitumist. Liitreaalsuse rakendused, mille eesmärk on suurendada tööohutust ehitusplatsil, ei tohi tekitada olukorda, kus kasutaja tugineb ohtude märkamiseks ainult rakenduse poolt esitatud informatsioonile.

Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia konsultatsiooniettevõtte Gartner on koostanud arenevate tehnoloogiate innovatsioonitsükli (joonised 25 ja 26). Selle järgi paiknes liitreaalsus 2015. aasta juuli seisuga faasis, kus on läbitud nn ülespuhutud ootuste etapp ning eeldatavalt 5...10 aasta pärast jõuab etappi, kus ta on igapäevases kasutuses. Praeguses etapis huvi liitreaalsuse vastu pigem väheneb, kuna olemasolevad rakendused ei täida kasutajate kõrgendatud ootuseid. Liitreaalsuse tulevik sõltub sellest, mida praegu arendajad turule toovad, kas arendamisse paigutatakse piisavalt ressursse ning kas entusiastide jaoks on see piisavalt atraktiivne.



Joonis 25. Innovatsioonitsükkel (The Hype Cycle of Innovation)¹⁵

¹⁵ Allikas: <http://romainiacs.com/wp-content/uploads/2013/08/hypecycle-clean.jpg>



Joonis 26. Arenevate tehnoloogiavaldkondade innovatsioonitsükkel (Emerging Technology Hype Cycle) seisuga juuli 2015¹⁶

¹⁶ Allikas: http://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2015/10/EmergingTech_Graphic.png

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] T. P. Caudell ja D. W. Mizell, Augmented reality: an application of headsup display technology to manual manufacturing processes, Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, Volume: ii, 1992, pp. 659-669.
- [2] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi ja F. Kishino, Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum, ATR Communication Systems Research Laboratories, 1994.
- [3] P. Milgram ja F. Kishino, A taxonomy of mixed reality visual displays, IEICE Transactions on Information Systems, 1994.
- [4] R. T. Azuma, A survey of augmented reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4, 1997, pp. 355-385.
- [5] F. Zhou, H. B.-L. Duh ja M. Billinghurst, Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR, 2008, pp. 15-18.
- [6] S. Mann, Mediated Reality with implementations for everyday life, Presence: Teleoperators and Virtual Environments., 2002.
- [7] S. Siltanen, Theory and applications of marker-based augmented reality, VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.
- [8] C. Arth, L. Gruber, R. Grasset, T. Langlotz, A. Mulloni, D. Schmalstieg ja D. Wagner, The History of Mobile Augmented reality, Inst. for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, Austria, 2015.
- [9] M. L. Heilig, Sensorama Simulator (Patent), 1962.
- [10] I. E. Sutherland, A head-mounted three dimensional display, Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference, 1968, pp. 757-764.
- [11] A. C. Kay, A Personal Computer for Children of All Ages, Xerox Palo Alto Research Center, 1972.
- [12] „World's First Laptop,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://thelongestlistofthelongeststuffatthelongestdomainnameatlonglast.com/first407.html>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [13] „IBM Simon Personal Communicator,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/IBM_Simon_Personal_Communicator.png. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [14] J. Rekimoto, Augmented reality using the 2d matrix code, Proceedings of the Workshop on Interactive Systems and Software (WISS'96), 1996.
- [15] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer ja A. Webster, A touring machine: prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, IEEE International Symposium on Wearable Computers, 1997, pp. 74-81.
- [16] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. De Bondi, M. Morris ja W. Piekarski, Arquake: an outdoor/indoor augmented reality first person application, IEEE International Symposium on Wearable Computers.
- [17] M. Möhring, C. Lessig ja O. Bimber, Video see-through ar on consumer cell-phones, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp. 252-253.
- [18] G. Reitmayr, Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2006, pp. 109-118.
- [19] Q. Pan, C. Arth, G. Reitmayr, E. Rosten ja T. Drummond, Rapid scene reconstruction on mobile phones from panoramic images, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011, pp. 55-64.
- [20] Jordankeyes, „Device Review: Epson Moverio BT-200 Smart Glasses,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.xda-developers.com/epson-moverio-bt-200-review/>. [Kasutatud 26. aprill 2016].
- [21] „M100 Smart Glasses,“ Vuzix, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.vuzix.com/Products/m100-smart-glasses>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [22] V. Europe, „Essert's Remote Support System with Vuzix M100 Smart Glasses,“ YouTube, 2015.

- [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=snjcrRJ49Sw>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [23] „Vuzix M100 Smart Glasses Hands-Free Mobile Computing,“ Vuzix, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.vuzix.com/Content/pdfs/Vuzix-M100-Product-Sheet-01-01-2016.pdf>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [24] „ODG R-7 Smartglasses,“ Osterhout Design Group, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.osterhoutgroup.com/products-r7-glasses>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [25] D. Rubino, „These are the full hardware specifications of the Microsoft HoloLens,“ Microsoft, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.windowscentral.com/hololens-hardware-specs>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [26] M. Fitzsimmons, „Hands on: Microsoft HoloLens review,“ Techradar, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.techradar.com/reviews/wearables/microsoft-hololens-1281834/review>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [27] M. Haughn, „Holographic processing unit (HPU),“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/holographic-processing-unit-HPU>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [28] T. Hussain, „Microsoft HoloLens Specs and Features Detailed,“ GameSpot, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gamespot.com/articles/microsoft-hololens-specs-and-features-detailed/1100-6435187/>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [29] „Google Project Tango,“ Google Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <https://get.google.com/tango/>. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [30] „Lenovo Phab 2 Pro,“ Lenovo Group Limited, [Võrgumaterjal]. Available: <http://shop.lenovo.com/us/en/tango/#>. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [31] „GSMarena.com,“ GSMarena, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.gsmarena.com/lenovo_phab2_pro-8145.php. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [32] „Google Play,“ Google Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <https://play.google.com/store/apps/developer?id=Project+Tango&hl=en>. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [33] „Computerworld,“ Computerworld Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.computerworld.com/article/3018733/mobile-wireless/how-googles-project-tango-will-change-your-life.html>. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [34] „Tom's Guide,“ Purch, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tomsguide.com/us/project-tango-preview,news-22710.html>. [Kasutatud 25. juuni 2016].
- [35] „Learn more about Augment tracking modes,“ Augment, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.augment.com/trackers/>. [Kasutatud 25. veebruar 2016].
- [36] D. Huber, Background Positioning for Mobile Devices -, School of Electrical and Computer Engineering, Technical University Berlin.
- [37] „GPS Status & Toolbox (5.3.112),“ Google Play, [Võrgumaterjal]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eclipsim.gpsstatus2>. [Kasutatud 13. november 2015].
- [38] „GPS Outline (3.0),“ iTunes, [Võrgumaterjal]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/gps-outline-your-position/id564505681?mt=8>. [Kasutatud 13. november 2015].
- [39] M. Reinhold, Aespa laululava puitkonstruktsioonide põhiprojekt, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2015.
- [40] „General 3D guidelines,“ Augment, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.augment.com/help/3d-file-format-guidelines/>. [Kasutatud 03. aprill 2016].
- [41] „Urbasee Help,“ Urbasee, [Võrgumaterjal]. Available: <https://classic.urbasee.com/help.php>. [Kasutatud 03. aprill 2016].
- [42] S. Nightingale, „GPS Tracking Down to the Centimeter,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ucrtoday.ucr.edu/34932>. [Kasutatud 17. veebruar 2016].
- [43] „Newton Message Pad (OMP),“ Apple-history, [Võrgumaterjal]. Available: <http://apple-history.com/nmp>. [Kasutatud 23. aprill 2016].
- [44] „Nokia Museum - Nokia 9000,“ Nokia, [Võrgumaterjal]. Available: <http://nokiamuseum.info/nokia-9000/>. [Kasutatud 23. aprill 2016].

- [45] Augment Help Center, „Opening a Model,“ Augment, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.augment.com/help/opening-a-model/>. [Kasutatud 6. mai 2016].
- [46] Augment Help Center, „Plugins and preferred export formats,“ Augment, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.augment.com/help/plugins-and-preferred-formats/>. [Kasutatud 6. mai 2016].
- [47] „SightSpace Pro: 3D AR & VR,“ Google Play, [Võrgumaterjal]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.limitlesscomputing.sightspacepro>. [Kasutatud 03. aprill 2016].
- [48] „EKI,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.eki.ee/dict/its/index.cgi?Q=world+coordinates&F=M&C06=et&C10=1>.
- [49] EVS 2382-33:2003 Infotehnoloogia. Sõnastik. Osa 33: Hüpermeedium ja multimeedium, Eesti Standardikeskus.
- [50] R. Abboud, Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction, and Post-Completion, 2014.

LISA 1 – KASUTATUD SEADMETE SPETSIFIKATSIOONID

		Samsung SM-G800 (Galaxy S5 mini)	Samsung Galaxy Note 10.1 GT-N8000	Sony Xperia Compact Z3 D5803	Samsung Galaxy Express 2	iPad Air 2	LG-P880	Samsung I9100 Galaxy S2	iPhone 5	Samsung Galaxy Trend GT-S7560
Operaator		Elisa	Elisa	Tele 2	Tele 2	Elisa	Elisa	Telia	Telia	Elisa
Väljalase		2014 juuli	2012 august	2014 september	2013 oktoober	2014 oktoober	2012 veebruar	2011 veebruar	2012 september	2012 juuni
Mälu	RAM (GB)	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	1,0	1,0	1,0	0,7
	Mälu (GB)	12	16	16	8	128	16	16	16	4
Protsessor	Platvorm	Android, v4.4.2, uuendatav v5.1.1-ks	Android, v4.1.2	Android, v4.4.4, v5.0, uuendatav v6.0-ks	Android, v4.2.2	iOS 8.1, uuendatav iOS 9.2-ks	Android OS, v4.0, uuendatav v4.1-ks	Android OS, v2.3.4, v4.0.4, uuendatav v4.1-ks	iOS 6, uuendatav iOS 9.2-ks	Android OS, v4.0
	CPU	4-tuumaline, 1,4 GHz, Cortex-A7	4-tuumaline, 1,4 GHz, Cortex-A9	4-tuumaline, 2,4 GHz, Krait 400	2-tuumaline, 1,7 GHz, Krait	3-tuumaline, 1,5 GHz, Typhoon	4-tuumaline, 1,5 GHz, Cortex-A9	2-tuumaline, 1,2 GHz, Cortex-A9	2-tuumaline, 1,3 GHz, Swift	1,0 GHz
Kaamera	Video	1080p, 30fps	720p, 30fps	2160p, 30fps; 1080p, 60fps; 720p, 120fps; HDR	720p, 30fps	1080p, 30fps; 720p, 120fps	1080p, 30fps	1080p, 30fps	1080p, 30fps	720p, 30fps
	Kaamera (MP)	8,0	5,0	20,7	5,0	8,0	8,0	8,0	8,0	5,0
Ekraan	Suurus	4,5"	10,1"	4,6"	4,5"	9,7"	4,7"	4,3"	4,0"	4,0"
	Resolutsioon	720×1280 (HD)	800×1280	720×1280 (HD)	540×960 (qHD)	1536×2048	720×1280	480×800	640×1136	480×800
	Tüüp	Super AMOLED	WXGA	TRILUMINOS™	TFT	LED-backlit IPS LCD	HD-IPS LCD	Super AMOLED Plus	LED-backlit IPS LCD	TFT
Suurus	Mõõtmed (mm)	131,1×64,8×9,1	262×180×8,9	127,3×64,9×8,64	132,4×65,7×9,8	240×169,5×6,1	132,4×68,1×8,9	125,3×66,1×8,5	123,8×58,6×7,6	121,5×63,1×10,5
	Kaal (g)	120	600	129	134,2	437	133	116	112	122
WiFi		802.11 a/b/g/n 2,4+5GHz	802.11 a/b/g/n 2,4GHz	802.11 a/b/g/n/a c 5GHz	802.11 b/g/n	802.11 a/b/g/n/a c	802.11 a/b/g/n	802.11 a/b/g/n	802.11 a/b/g/n	802.11 b/g/n
GPS		A-GPS, GLONASS	A-GPS, GLONASS	A-GPS, GLONASS	A-GPS, GLONASS	A-GPS, GLONASS	A-GPS	A-GPS	A-GPS, GLONASS	A-GPS
GPRS		Jah	Klass 12	Kuni 107 kbps	Jah	Jah	Klass 33	Klass 12	Jah	Jah
Mob. andme-side	2G GSM	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
	3G	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
	4G	Jah	-	Jah	Jah	Jah	-	-	Jah	-
Aku	Mahutavus	Li-Ion 2100 mAh	Li-Ion 7000 mAh	Li-Ion 2600 mAh	Li-Ion 2100 mAh	Li-Po 8820 mAh	Li-Ion 2150 mAh	Li-Ion 1650 mAh	Li-Po 1440 mAh	Li-Ion 1500 mAh
Sensorid	Kiirendusmõõtur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Sõrmejäljelugeja	✓				✓				
	Güroskoop	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Geomagn. andur	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Halliandur	✓								
	Valgussensor	✓	✓			✓				
	Lähedussensor	✓			✓		✓	✓	✓	✓
	Pulsimõõtja	✓								
	Küllastusandur	✓								
	Baromeeter			✓		✓				
Sammulugeja			✓							

LISA 2 – RAKENDUSTE HINDAMISE TULEMUSED

Funktsioon	Nutiseade	Hinne vastavale rakendusele																
		A++ AR	ARHouse	ARMedia Player	Augment	Globe AR	Bimar	Cityscape Tower	IKEA	ROAR	Quadrum	SightSpace Pro	SmartReality +	Unity ARchitecture	Urbasee Future	Urbasee Project	VividWorks	Xcite 3D
F1	S1	0	-	5	5	0	0	0	0	2	0	-	0	0	4	4	-	0
	S2	-	0	5	5	0	-	0	0	2	0	5	0	0	4	4	0	0
	S3	0	-	5	5	0	0	0	0	2	0	5	0	0	4	4	-	0
	S4	0	-	5	5	0	0	0	0	2	0	-	0	0	4	4	-	0
	S5	0	-	5	5	0	0	0	0	-	0	-	0	0	4	4	-	0
	K	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	5,0	0,0	0,0	4,0	4,0	0,0	0,0
F2	S1	5	-	5	4	3	3	3	1	3	3	-	3	3	5	3	-	3
	S2	-	4	5	4	3	-	3	1	3	3	5	3	3	5	3	3	3
	S3	5	-	5	4	3	3	3	1	3	3	5	3	3	5	3	-	3
	S4	5	-	5	4	3	3	3	1	3	3	-	3	3	5	3	-	3
	S5	5	-	5	4	3	3	3	1	-	3	-	3	3	5	3	-	3
	K	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	3,0	5,0	3,0	3,0	5,0	3,0	3,0	3,0
F3	S1	4	-	5	5	5	5	0	2	5	5	-	5	5	3	5	-	5
	S2	-	3	5	5	5	-	5	2	5	5	1	5	5	3	5	3	5
	S3	4	-	5	5	5	5	0	2	5	5	1	5	5	3	5	-	5
	S4	4	-	5	5	5	5	5	2	5	5	-	5	5	3	5	-	5
	S5	4	-	5	5	5	5	5	2	-	5	-	5	5	3	5	-	5
	K	4,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	2,0	5,0	5,0	1,0	5,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0
F4	S1	2	-	4	5	5	4	4	3	1	5	-	5	5	2	5	-	5
	S2	-	5	5	5	5	-	5	5	1	5	2	5	5	3	5	2	5
	S3	3	-	5	5	5	5	4	5	1	5	2	5	5	2	5	-	5
	S4	3	-	5	5	5	4	4	5	1	5	-	5	5	2	5	-	5
	S5	2	-	5	5	5	5	4	1	-	5	-	5	5	3	5	-	5
	K	2,5	5,0	4,8	5,0	5,0	4,5	4,2	3,8	1,0	5,0	2,0	5,0	5,0	2,4	5,0	2,0	5,0
F5	S1	2	-	5	5	5	5	4	3	5	5	-	5	5	3	5	-	5
	S2	-	4	5	5	5	-	5	3	5	5	2	5	5	4	5	4	5
	S3	2	-	5	5	5	5	4	3	5	5	3	5	5	4	5	-	5
	S4	2	-	5	5	5	4	0	3	5	5	-	5	5	4	5	-	5
	S5	2	-	5	5	5	5	5	0	3	-	5	-	5	4	5	-	5
	K	2,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,8	2,6	3,0	5,0	5,0	2,5	5,0	5,0	3,8	5,0	4,0	5,0
F6	S1	0	-	0	0	3	3	0	0	0	0	-	1	0	0	0	-	3
	S2	-	2	0	0	3	-	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3
	S3	0	-	0	0	3	3	0	0	0	0	3	1	0	0	0	-	3
	S4	0	-	0	0	3	3	0	0	0	0	-	1	0	0	0	-	3
	S5	0	-	0	0	3	3	0	0	-	0	-	1	0	0	0	-	3
	K	0,0	2,0	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
F7	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F8	S1	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	S3	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	1	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
F9	S1	1	-	3	1	1	0	0	0	0	0	-	3	0	1	2	-	1
	S2	-	0	3	1	1	-	0	0	0	0	0	3	0	1	2	0	1
	S3	1	-	2	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	1	2	-	1
	S4	1	-	3	1	1	0	0	0	0	0	-	3	0	1	2	-	1
	S5	1	-	3	1	1	0	0	0	-	0	-	3	0	1	2	-	1
	K	1,0	0,0	2,8	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	1,0	2,0	0,0	1,0

Funktsioon	Nutiseade	Hinne vastavale rakendusele																
		A++ AR	ARHouse	ARMedia Player	Augment	Globe AR	Bimar	Cityscape Tower	IKEA	ROAR	Quadrum	SightSpace Pro	SmartReality +	Unity ARchitecture	Urbasee Future	Urbasee Project	VividWorks	Xcite 3D
F10	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F11	S1	4	-	0	5	0	0	4	0	5	5	-	5	0	5	5	-	0
	S2	-	0	0	5	0	-	5	0	5	5	5	5	0	5	5	4	0
	S3	5	-	0	5	0	0	5	0	5	5	5	5	0	5	5	-	0
	S4	5	-	0	5	0	0	4	0	5	5	-	5	0	5	5	-	0
	S5	4	-	0	5	0	0	4	0	-	5	-	5	0	5	5	-	0
	K	4,5	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	4,4	0,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0	5,0	5,0	4,0	0,0
F12	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F13	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F14	S1	0	-	1	1	0	0	1	1	1	0	-	0	0	0	0	-	1
	S2	-	0	1	1	0	-	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
	S3	0	-	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	-	1
	S4	0	-	1	1	0	0	1	1	1	0	-	0	0	0	0	-	1
	S5	0	-	1	1	0	0	1	1	-	0	-	0	0	0	0	-	1
	K	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
F15	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F16	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F17	S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S2	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	S4	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0
	S5	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	0
	K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kokku		1,12	1,12	1,68	1,82	1,35	1,19	1,07	0,64	1,29	1,35	1,68	1,59	1,06	1,42	1,71	1,06	1,35

LISA 3 – PEAMISED MODELLEERIMISTARKVARADES KASUTATAVAD FORMAADID

Formaat	Selgitus/sisu	Programmid
.dwg	AutoCadi raalprojekteerimise formaat	Adobe Illustrator, AutoCAD, Autodesk DWG TrueView, CorelCAD
.dws	Joonestamise standard	Autodesk AutoCAD
.dxf	AutoCADi koostalitusvõimeline failiformaat	Adobe Illustrator, AutoCAD, CorelCAD, Open Office, PaintShop Pro
.dwt	Veebilehtede ja jooniste mall	Adobe Dreamweaver, Autodesk AutoCAD
.dwf	Formaat, mis võimaldab projekteeritud andmete kerget jaotamist ja tagasisidestamist	Autodesk Design Review, IMSI TurboCAD, CorelCAD, Autodesk AutoCAD 360
.dgn	Microstationi ja Interactive Graphics Design Systemi ja raalprojekteerimise formaat	Autodesk AutoCAD, Bentley Microstation
.rvt	BIM andmed	Autodesk- Revit, Architecture, AutoCAD MEP
.rfa	BIM andmed	Autodesk- Revit, Architecture, AutoCAD MEP
.max	Kolmemõõtmeline stseeni fail; võib sisaldada sõrestikmudeleid, tekstuure, valgusefekte, varjestust, animatsioone jne	Autodesk 3DS Max
.3ds	Geomeetria, tekstuuri ja valguse info	Autodesk 3DS Max, IMSI TurboCAD, Trimble SketchUp, MeshLab, Adobe Photoshop
.kmz	Koordinaadid ja mudeli info	SketchUp, Google Earth
.kml	Kaardid, koordinaadid ja muu info	Google Earth, Merkaartot
.skp	3D modelleerimine ja tekstuur	SketchUp, IMSI TurboCAD
.obj	3D geomeetria ja tekstuur	Wavefront Technologies
.stl	3D geomeetria	SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Inventor, IronCad
.sat	Tekstifailina talletatud 3D geomeetria	Spatial 3D ACIS Modeler, Autodesk AutoCAD, Autodesk Fusion 360, IMSI TurboCAD, Adobe Acrobat
.stp	3D geomeetria andmevahetusformaad	Spatial 3D ACIS Modeler, Autodesk AutoCAD, Autodesk Fusion 360, IMSI TurboCAD, Adobe Acrobat
.iges, .igs	2D ja 3D vektorgraafika formaat	Autodesk AutoCAD, Autodesk Fusion 360, IMSI TurboCAD
.dae	3D info vahetusformaat	Trimble SketchUp, Adobe Photoshop, Autodesk AutoCAD
.bimx	3D vaatlemine	ArchiCAD
.bpm	Projekti varundusformaat	ArchiCAD
.fbx	2D ja 3D geomeetria ja info	Autodesk- Mata, 3ds Max, AutoCAD, FBX Converter
.ifc	Objektipõhine andmevahetuse failiformaat	ADOMI, Autodesk Revit, ArchiCAD, OpenStudio, Tekla BIMsight, Trimble SketchUp, Vico Office Navisworks, MicroStation, VectorWorks Architect