

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvorna različica doktorske disertacije.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is an original PDF file of doctoral thesis.

When citing, please refer as follows:

Meža, S. 2014. Razširjena resničnost kot infrastruktura za izboljšanje komunikacije v gradbenih projektih. Doktorska disertacija. = Augmented reality as infrastructure for improvement of communication in construction projects. Doctoral dissertation. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (Mentor Turk, Ž.)

<http://drugg.fgg.uni-lj.si>

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DOKTORSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM III. STOPNJE
GRAJENO OKOLJE

Kandidat:

SEBASTJAN MEŽA

**RAZŠIRJENA RESNIČNOST KOT INFRASTRUKTURA
ZA IZBOLJŠANJE KOMUNIKACIJE
V GRADBENIH PROJEKTIH**

Doktorska disertacija števil.: 12/GO

**AUGMENTED REALITY AS INFRASTRUCTURE FOR
IMPROVEMENT OF COMMUNICATION
IN CONSTRUCTION PROJECTS**

Doctoral thesis No: 12/GO

Soglasje k temi doktorske disertacije je dala Komisija za doktorski študij Univerze v Ljubljani na 27. seji 11. aprila 2012.

Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Žiga Turk.

Ljubljana, 10. julij 2014



Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi:

- prof. dr. Žiga Turk,
- doc. dr. Matevž Dolenc,
- prof. dr. Danijel Rebolj, UM FG,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 27. redni seji dne 25. januarja 2012.

Komisijo za oceno doktorske disertacije v sestavi:

- prof. dr. Danijel Rebolj, UM FG,
- prof. dr. Aleš Krainer, UL FGG, upok.,
- doc. dr. Matevž Dolenc,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 10. redni seji dne 7. maja 2014.

Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi:

- prof. dr. Matjaž Mikoš, dekan UL FGG, predsednik,
- prof. dr. Žiga Turk, mentor,
- prof. dr. Danijel Rebolj, UM FG,
- prof. dr. Aleš Krainer, UL FGG, upok.,
- doc. dr. Matevž Dolenc,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 12. Redni seji, dne 2. julija 2014.

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **SEBASTJAN MEŽA** izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom:
**»RAZŠIRJENA RESNIČNOST KOT INFRASTRUKTURA ZA IZBOLJŠANJE
KOMUNIKACIJE V GRADBENIH PROJEKTIH«.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Ljubljana, 10. julij 2014

A handwritten signature in blue ink that reads "Sebastjan Meza". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

(podpis)

ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	69:004.946(043)
Avtor:	Sebastjan Meža
Mentor:	prof. dr. Žiga Turk
Naslov:	Razširjena resničnost kot infrastruktura za izboljšanje komunikacije v gradbenih projektih
Tip dokumenta:	Dokt. dis. – B.
Obseg in oprema:	141 str., 51 sl., 36 priv. sl., 22 graf., 4 preg.
Ključne besede:	Razširjena resničnost, mobilno računalništvo, projektna dokumentacija, BIM.

Izvleček:

Kljub napredku na področju informacijskega modeliranja zgradb, se na gradbiščih še vedno v veliki večini uporablja dokumentacija izrisana na papir. Interpretacija in smiselna uporaba načrtov ostajata tehnološko enako nepodprti kot v času, ko so načrtovali brez računalnikov.

V doktorski disertaciji smo se spraševali o možnosti reševanja tega problema z uporabo razširjene resničnosti (RR) – tehnologije, ki sliko resničnega sveta razširi z računalniško generiranimi informacijami. Naša hipoteza je, da je z uporabo RR mogoče pomembno izboljšati razumevanje projektne dokumentacije.

Izdelali smo prototip aplikacije za mobilne naprave, ki omogoča integracijo 4D-informacijskega modela v živo sliko realne okolice. Ker je pregled stanja pokazal, da obstajajo komponente, iz katerih je mogoče sestaviti sistem, ki na podatkovni strani podpira delo z informacijskimi modeli zgradb, na uporabniški pa omogoča prikaz teh v obliki RR, smo uporabili komponentni razvojni model.

Naš pristop ima naslednje originalne prvine: (1) Originalno sistemsko arhitekturo, ki se naslanja na BIM strežnik. (2) Rabo generičnega prikazovalnika razširjene resničnosti. (3) Sistem omogoča ogled informacijskih modelov v dveh gradbenih fazah. Omogoča prikaz tridimenzionalnih modelov v fazi urbanističnega planiranja in pregled skladnosti stanja na gradbišču s terminskim planom. Prototip smo preizkusili na primeru gradnje realnega večstanovanjskega objekta v Ljubljani.

Hipotezo smo preverili s samoevalvacijo prototipa in z vodenimi intervjuji. Primerjali smo konvencionalne predstavitvene tehnike in RR. Navkljub trenutnim pomanjkljivostim tehnologije rezultati potrjujejo hipotezo: da je projektna dokumentacija razumljivejša, če jo prikažemo z orodji razširjene resničnosti. Po oceni intervjuvancev je RR pomembno boljša - vsaj toliko boljša od 3D kot je 3D boljši od 2D načina prikaza projektne dokumentacije.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	69:004.946(043)
Author:	Sebastjan Meža
Mentor:	prof. dr. Žiga Turk
Title:	Augmented Reality as infrastructure for improvement of communication in construction projects
Document type:	Doctoral Dissertation – B.
Notes:	141 pg., 51 fig., 36 adopt. fig., 22 graph..., 4 tab.
Key words:	augmented reality, mobile computing, project documentation, BIM

Abstract:

Despite advances in the field of information modeling of buildings, a vast majority of the project documentation is still composed and used in paper form. Technologically the interpretation and logical use of plans therefore remains as unsupported as it was in times prior to the onset of computer aided designing.

The thesis studies how to address this problem with Augmented Reality, a technology that augments the real environment with computer generated information. We have set the hypothesis that AR can significantly ease the process of interpreting the project documentation.

We have developed a prototype of the application which can be used on mobile devices and allows the integration of 4D building model information into real surroundings. Since it was established that components needed to implement a BIM based AR system exist, Component Based Software Engineering was used.

Our approach has the following original elements: (1) Original system architecture that is based on a BIM server. (2) The use of a Generic AR component for the visualization function. (3) The system enables the preview of information models in two building stages. It enables use in the phase of urban planning, to visualize 3D BIM, and monitoring of the progress of the construction process. The prototype was tested on an actual construction site of a multi-residential high rise building located in Ljubljana.

We have evaluated the hypothesis with theoretical self-evaluation of the prototype and with structured interviews. Conventional presentation techniques were compared with the AR approach. Despite the technological drawback, it has been established that project documentation is understood easier if it is displayed with augmented reality. According to interviews AR is superior to 3D at least to the extent that 3D is superior to the 2D display method of project documentation.

ZAHVALA

Prof. dr. Žigi Turku za mentorstvo in dobre nasvete pri pisanju naloge. Dali ste mi priložnost in mi odprli vrata v svet znanosti.

Doc. dr. Matevžu Dolencu za mnenja, nasvete in vsestransko pomoč. Tvoja vrata so mi bila vedno odprta, za kar se ti iskreno zahvaljujem.

Maji posebna zahvala za brezpogojno ljubezen in podporo. Z besedami je težko povedati, kako sem ti hvaležen.

Staršem in bratu za podporo, brez katere pričujočega dela ne bi bilo.

Marku Kramarju za informacijski model, ki sem ga uporabil pri testiranju prototipa.

Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za financiranje doktorskega študija in raziskovalnega usposabljanja v okviru programa mladih raziskovalcev.

Na koncu bi se rad zahvalil vsem, ki so sodelovali v uvodnih raziskavah in intervjujih ob zaključku naloge. Brez vaše pomoči naloge ne bi bilo mogoče kritično oceniti.

Jezikovni pregled je opravila Anica Krčmar, za kar se ji najlepše zahvaljujem.

Sebastjan Meža

~ Maji in Maksu ~

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problematike.....	2
1.2	Hipoteza in cilji doktorske disertacije.....	4
1.3	Metodologija.....	4
1.3.1	Vprašanja.....	5
1.3.2	Reševanje inženirskih problemov.....	5
1.4	Struktura naloge.....	6
2	IDENTIFIKACIJA PROBLEMOV PRI UPORABI INFORMACIJ.....	7
2.1	Izhodišča.....	7
2.2	Namen in cilji.....	7
2.3	Metoda raziskovanja.....	8
2.3.1	Planiranje raziskave.....	8
2.3.2	Priprava vprašalnikov in poizkus na testnem vzorcu.....	9
2.3.3	Izvedba raziskave in selekcija pridobljenih podatkov.....	10
2.4	Analiza in rezultati.....	11
2.4.1	Rezultati raziskave o poznavanju in uporabi informacijsko komunikacijskih tehnologij v slovenskih gradbenih podjetjih.....	11
2.4.2	Rezultati raziskave o prenosu podatkov in razumevanju projektne dokumentacije v gradbeništvu.....	13
2.5	Primerjava z drugimi raziskavami.....	19
3	TEORETIČNE IN TEHNOLOŠKE OSNOVE.....	22
3.1	Odnosi med koncepti, simboli in objekti.....	23
3.1.1	Filozofski pogled.....	24
3.1.2	Kognitivna psihologija.....	26
3.1.3	Lingvistika.....	30
3.2	Pomenski trikotnik.....	33
3.2.1	Objekt.....	34
3.2.2	Simbol.....	35
3.2.3	Misel oziroma koncept.....	36
3.2.4	Fenomenološki pristop samozavedanja – predreflektivnega delovanja.....	36
3.3	Modeliranje – gradnja.....	38
3.4	Zaznava situacije.....	39
3.5	Informacijsko modeliranje zgradb/ informacijski model zgradbe.....	39
3.5.1	Pregled prednosti BIM-pristopa.....	40
3.5.2	Standardi in interoperabilnost.....	42
3.6	Razširjena resničnost.....	45

3.6.1	Razvoj razširjene resničnosti	49
3.6.2	Delovanje razširjene resničnosti	52
3.6.3	Področja uporabe razširjene resničnosti	53
3.6.4	Glavne tehnične težave razširjene resničnosti in obstoječe rešitve	56
3.7	Razširjena resničnost v grajenem okolju	58
3.8	Mobilno in nosljivo računalništvo	63
3.9	Google Glass	65
4	ARHITEKTURA IN IMPLEMENTACIJA PREDLAGANE REŠITVE	66
4.1	Rational Unified Process (RUP) pristop razvoja programske opreme	66
4.2	Zametek	67
4.3	Dodelava	68
4.3.1	Izmenjava informacij v gradbenem procesu	68
4.3.2	Primeri uporabe	69
4.4	Izgradnja sistema	70
4.4.1	Arhitekturna zasnova	70
4.4.2	Mobilna aplikacija	70
4.4.3	Prikazovalnik razširjene resničnosti	73
4.4.4	BIM-strežnik	74
4.4.5	FTP-strežnik	76
4.4.6	Spletni servis	76
4.4.7	Delovanje sistema	78
4.5	Testiranje sistema	79
4.5.1	Testni primer 1 – EKO srebrna hiša	79
4.5.2	Testni primer 2 – predstavitveni model Revit 2013	88
4.5.3	Testni primer 3 – predstavitveni model Revit 2014	97
4.6	Prehod	99
4.6.1	Predstavitev idejne študije projekta (3D BIM)	99
4.6.2	Spremljanje poteka gradnje	102
5	OCENA UPORABNOSTI TEHNOLOGIJE IN PROTOTIPA	112
5.1	Metoda raziskovanja	112
5.2	Izhodišča	113
5.2.1	Namen in cilji	113
5.2.2	Okvir preučevanja populacije in vzorca	114
5.3	Izvedba in selekcija pridobljenih podatkov	114
5.4	Analiza vsebinskega dela raziskave	115
5.4.1	Kvantitativna primerjava predstavitvenih tehnik	115
5.4.2	Ocena delovanja prototipa	120
5.4.3	Sklepni del raziskave	122

6 SKLEP	127
6.1 Povzetek ugotovitev	127
6.2 Nadaljnje delo in odprta vprašanja.....	129
VIRI	131

KAZALO SLIK

Slika 3-1: Modeliranje – gradnja	38
Slika 3-2: Razširjena in virtualna resničnost	48
Slika 4-1: IDEF0-diagram pretoka podatkov	69
Slika 4-2: Komponentni diagram sistema	70
Slika 4-3: Prikaz delovanja na pametnem telefonu	72
Slika 4-4 : Diagram poteka delovanja mobilne aplikacije.....	73
Slika 4-5: Sekvenčni diagram delovanja aplikacije Layar	74
Slika 4-6: Spletni uporabniški vmesnik BIM-strežnika.....	75
Slika 4-7: Delovanje sistema – diagram zaporedja.....	78
Slika 4-8: Faze testiranja prototipa.....	79
Slika 4-9: Vizualizacija okolice zgradbe	80
Slika 4-10: Originalni model EKO srebrne hiše.....	81
Slika 4-11: Prilagojen model EKO srebrne hiše.....	82
Slika 4-12: Testni IFC-model EKO srebrne hiše.....	83
Slika 4-13: Pseudokoda za odstranjevanje elementov iz IFC STEP datotek.....	84
Slika 4-14: Funkcija za branje IFC STEP datotek.....	85
Slika 4-15: Funkcija za odstranjevanje elementov iz IFC STEP datotek.....	85
Slika 4-16: Funkcija za dodajanje elementov v IFC STEP datoteko.....	86
Slika 4-17: Testni L3D-model EKO srebrne hiše	87
Slika 4-18: Originalni model drugega testnega primera.....	88
Slika 4-19: Drugi primer IFC-modela	89
Slika 4-20: Lastnosti IfcWall materiala.....	90
Slika 4-21: Definicija materialov v IFC datoteki	91
Slika 4-22: Povezave med IFC- elementi	92
Slika 4-23: Definicija povezav med IFC-elementi	93
Slika 4-24: Avtomatično izdelan L3D-model drugega testnega primera	94

Slika 4-25: Materiali L3D-datoteke, dobljeni z avtomatsko transformacijo	94
Slika 4-26: Definicija materialov v Revitu.....	95
Slika 4-27: Končni L3D-model drugega testnega primera.....	96
Slika 4-28: Originalni model tretjega testnega primera	97
Slika 4-29: Prilagojen model tretjega testnega primera	97
Slika 4-30: Tretji primer IFC-modela	98
Slika 4-31: Primerjava različic pretvornikov IfcOpenShell	98
Slika 4-32: RR-vizualizacija paviljona – Samsung Galaxy S3	99
Slika 4-33: RR-vizualizacija projekta Revit 2013 – Nexus 2013.....	100
Slika 4-34: RR-vizualizacija projekta Revit 2014 – Nexus 2013.....	100
Slika 4-35: Test zmogljivost Nexus (2013).....	101
Slika 4-36: Lokacija gradbišča.....	102
Slika 4-37: Okolica gradbišča	103
Slika 4-38: Jugozahodna opazovalna točka.....	104
Slika 4-39: Severovzhodna opazovalna točka.....	104
Slika 4-40: Pregled ustreznosti modela in zmanjševanje velikosti 3D-modela - ArchiCAD.....	106
Slika 4-41: IFC-model; pregled skladnosti - Solibri	106
Slika 4-42: 4D-model; povezovanje IFC in CSV datotek - Nawisvorks.....	107
Slika 4-43: OBJ/MTL-model: odkrivanje napak, ki so posledica transformacije - Blender.....	107
Slika 4-44: L3D-model za odkrivanje napak, ki izvirajo iz pretvorbe modelov	108
Slika 4-45: Zaslonski posnetek mobilnega RR-sistema.....	109
Slika 4-46: Obdelan render 4D-modela.....	110
Slika 5 – 5-1: Primerjava predstavitvenih metod pri vizualizaciji idejnih študij	116
Slika 5-2: Primerjava predstavitvenih metod pri nadzoru gradnje.....	118
Slika 5-3: Prikaz delovanja prototipa	121

KAZALO PREVZETIH SLIK

Prevzeta slika 3-1 Interdisciplinarnost (Bermúdez, 2010)	23
Prevzeta slika 3-2: Hermenevtični krog (Sandbothe M., 2003, cit. po Krainer A., 2012)	25
Prevzeta slika 3-3: Sestavljanje tridimenzionalnih objektov (Windston, 1970).....	27
Prevzeta slika 3-4: Kocka Escher (Elber, 2002).....	28
Prevzeta slika 3-5: 3D-tisk Escherjeve kocke (Elber, 2002)	29
Prevzeta slika 3-6: Tok informacij med realnim okoljem in našim dojemanjem (Marr, 1982)	30
Prevzeta slika 3-7: Semantični model elementov (PJM, 2008).....	31
Prevzeta slika 3-8: Proces zaznavanja hiše s konceptualnimi grafi (Sowa, 1984)	32
Prevzeta slika 3-9: Pomenski trikotnik (Ogden & Richards, 1989)	33
Prevzeta slika 3-10: Sporočilna zanka (Ogden & Richards, 1989)	34
Prevzeta slika 3-11: Refleksivna zanka (Turk, 2001).....	37
Prevzeta slika 3-12: Povratna zanka zavedanja o situaciji (Endsley, 2000).....	39
Prevzeta slika 3-13 Shema domen IFC standarda 2x3 (BuildingSMART, 2013).....	43
Prevzeta slika 3-14: Kontinuum mešane resničnosti (Milgram & Takemura, 1994)	46
Prevzeta slika 3-15: Potencial realnosti RR in VR princip (Klinker et al., 2001)	46
Prevzeta slika 3-16: Stopnja realnosti (Schnabel, 2006)	47
Prevzeta slika 3-17: Prvi tridimenzionalni naglavni zaslon (Southerland, 1968).....	49
Prevzeta slika 3-18: Projekt KARMA (Feiner et al., 1993)	50
Prevzeta slika 3-19: RR-brskalnik Wikitude (Wikitude, 2010).....	50
Prevzeta slika 3-20: Ikea, mobilna RR-aplikacija	51
Prevzeta slika 3-21: Gartner 2013 Hype Cycle (Gartner's, 2013)	52
Prevzeta slika 3-22: RR pri prenosu športnih dogodkov (Imoran, 2009).....	54
Prevzeta slika 3-23: RR v vojski (Imoran, 2009)	55
Prevzeta slika 3-24: RR v avtomobilih (Harman, 2013)	56
Prevzeta slika 3-25: Odpravljanje vizualnega prekrivanja (Dong et al., 2012).....	57
Prevzeta slika 3-26: Anatomija arhitekture (Webster, 1996)	58

Prevzeta slika 3-27: Navigacijski stroj (Hollerer et al., 1999)	59
Prevzeta slika 3-28: Sistem ARTUR (Broll et al., 2001)	59
Prevzeta slika 3-29: RR-simulacija delovnega procesa (Behzadan & Kamat, 2006)	60
Prevzeta slika 3-30: RR-prikaz vgrajenih komponent (Woodward & Hakkarainen, 2011).....	61
Prevzeta slika 3-31: RR-spremljanje procesa gradnje (Woodward & Hakkarainen, 2011).....	61
Prevzeta slika 3-32: RR-urbanistično planiranje (Woodward et al., 2012).....	62
Prevzeta slika 3-33: Sistem Vidente (Shall, 2012).....	63
Prevzeta slika 3-34: Nosljive in prenosne naprave (Stein, 2013).....	64
Prevzeta slika 3-35: Google Glass (Glass, 2013).....	65
Prevzeta slika 4-1: Direktne in indirektne povezave med IFC-elementi (Vanlande et al., 2008)	77

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 4-1: Podrobni podatki o modelu	87
Preglednica 4-2: Posodobitev MTL-datoteke.....	96
Preglednica 4-3: Podrobnejši podatki o modelu.....	105
Preglednica 4-4: Terminski plan Eko srebrna hiša.....	108

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 2-1: Uporaba programske opreme v slovenskih gradbenih podjetji leta 2010.....	11
Grafikon 2-2: Opravila, pri katerih se uporablja BIM (2010)	12
Grafikon 2-3: Razlogi za neuporabo BIM	12
Grafikon 2-4: Splošno mnenje o kvaliteti projektne dokumentacije	13
Grafikon 2-5: Vpliv informacijske tehnologije na kvaliteto projektne dokumentacije	14
Grafikon 2-6: Pogostost spreminjanja projektne dokumentacije.....	14
Grafikon 2-7: Načini ogleda projektne dokumentacije	15
Grafikon 2-8: Načini usklajevanja projektne dokumentacije	15
Grafikon 2-9: Dostopnost projektne dokumentacije.....	16
Grafikon 2-10: Dejavniki tveganja v gradbenem procesu	16
Grafikon 2-11: Identifikacija najbolj kritičnih faz prenosa gradbene dokumentacije	17
Grafikon 2-12: Kritične stopnje GDCPP, razporeditev po dejavnostih.....	17
Grafikon 2-13: Opravila, pri katerih se uporablja BIM (2012)	18
Grafikon 2-14: Razlogi za neuporabo BIM	19
Grafikon 2-15: Zavedanje in uporaba BIM v letu 2010	21
Grafikon 2-16: Zavedanje in uporaba BIM v letu 2012	21
Grafikon 5-1: Razumljivost projektne dokumentacije pri vizualizacijah idejnih študij	117
Grafikon 5-2: Uporabnost projektne dokumentacije pri vizualizacijah idejnih študij.....	117
Grafikon 5-3: Razumljivost projektne dokumentacije pri nadzoru gradnje	119
Grafikon 5-4: Uporabnost projektne dokumentacije pri nadzoru gradnje	119
Grafikon 5-5: Glavne prednosti uporabe RR.....	122
Grafikon 5-6: Potencialno najbolj obetavna področja za uporabo RR	124

LIST OF FIGURES

Figure 3-1: Modeling – construction.....	38
Figure 3-2: Augmented and Virtual Reality	48
Figure 4-1: IDEF0 diagram of information flow.....	69
Figure 4-2: System component diagram	70
Figure 4-3: Demonstration of operation on a smartphone	72
Figure 4-4: Mobile application functioning flowchart.....	73
Figure 4-5: Layar functioning sequence diagram.....	74
Figure 4-6: BIM server web interface	75
Figure 4-7: Functioning of system - sequence diagram	78
Figure 4-8: Stages of the prototype testing	79
Figure 4-9: Visualization of building surrounding.....	80
Figure 4-10: Original model EKO silver house	81
Figure 4-11: Modified model EKO silver house.....	82
Figure 4-12: IFC test model EKO silver house.....	83
Figure 4-13: Remove elements from IFC STEP file pseudo code	84
Figure 4-14: Read IFC STEP file funkcija.....	85
Figure 4-15: Remove elements from IFC STEP file function.....	85
Figure 4-16: Add elements to IFC STEP file	86
Figure 4-17: L3D test model EKO silver house.....	87
Figure 4-18: Original model 2nd test example.....	88
Figure 4-19: IFC-model 2nd example	89
Figure 4-20: IfcWall material properties.....	90
Figure 4-21: IFC materials definition.....	91
Figure 4-22: IFC element connections	92
Figure 4-23: IFC element connections definition.....	93
Figure 4-24: Automatically created L3D model 2nd test example	94

Figure 4-25: Materials L3D file obtained by the automatic transformation.....	94
Figure 4-26: Definition of materials in Revit	95
Figure 4-27: Final L3D model of the second test example	96
Figure 4-28: Original model 3rd test example.....	97
Figure 4-29: Modified model 3rd test example.....	97
Figure 4-30: IFC-model 3rd example.....	98
Figure 4-31: Comparison of IfcOpenShell convertera	98
Figure 4-32: AR visualization of a pavilion – Samsung Galaxy S3.....	99
Figure 4-33: AR visualization of Revit project 2013 – Nexus 2013	100
Figure 4-34: AR visualization of Revit project 2013 – Nexus 2013	100
Figure 4-35: Nexus (2013) performance test.....	101
Figure 4-36: Construction site location	102
Figure 4-37: Construction site surrounding.....	103
Figure 4-38: Southeast observation point.....	104
Figure 4-39: Northeast observation point.....	104
Figure 4-40: Verification of compliance and size reduction of 3d model - ArchiCAD	106
Figure 4-41: IFC-model; conformity assessment - Solibri.....	106
Figure 4-42: 4D- model; assesment of complexity of assembly IFC & CSV - Nawisvorks.....	107
Figure 4-43: OBJ/MTL- model; detection of error arising in the conversion - Blender	107
Figure 4-44: L3D-model detection of error arising in the conversion.....	108
Figure 4-45: Screenshot of AR system.....	109
Figure 4-46: Render of a 4D model.....	110
Figure 5 – 5-1: Comparison of presentation methods for visualizing preliminary studies.....	116
Figure 5-2: Comparison of presentation methods construction process monitoring	118
Figure 5-3: Demonstration of the prototype functioning.....	121

LIST OF ADOPTED FIGURES

Adopted figure 3-1: Interdisciplinary (Bermúdez, 2010).....	23
Adopted figure 3-2: Hermeneutic circle (Sandbothe M., 2003, cit. po Krainer A., 2012).....	25
Adopted figure 3-3: Aggregation of 3D objects (Windston, 1970).....	27
Adopted figure 3-4: Escher's (Elber, 2002).....	28
Adopted figure 3-5: 3D print of Escher's cube (Elber, 2002)	29
Adopted figure 3-6: The flow of information from the environment to its perception (Marr, 1982) ...	30
Adopted figure 3-7: Semantic model of elements (PJM, 2008).....	31
Adopted figure 3-8: The process of perceiving house via conceptual graph (Sowa, 1984).....	32
Adopted figure 3-9: Meaning triangle (Ogden & Richards, 1989)	33
Adopted figure 3-10: Communication loop (Ogden & Richards, 1989).....	34
Adopted figure 3-11: The reflection loop (Turk, 2001)	37
Adopted figure 3-12: Situation awareness feedback loop (Endsley, 2000)	39
Adopted figure 3-13: Domain scheme IFC 2x3 (BuildingSMART, 2013).....	43
Adopted figure 3-14: Mixed Reality continuum (Milgram & Takemura, 1994)	46
Adopted figure 3-15: Potential Realism of AR vs. VR approaches (Klinker et al., 2001)	46
Adopted figure 3-16: Depth of realm (Schnabel, 2006).....	47
Adopted figure 3-17: First Head Mounted 3D display (Southerland, 1968).....	49
Adopted figure 3-18: Project KARMA (Feiner et al., 1993)	50
Adopted figure 3-19: AR browser Wikitude (Wikitude, 2010)	50
Adopted figure 3-20: Ikea mobile AR application.....	51
Adopted figure 3-21: Gartner's 2013 Hype Cycle (Gartner's, 2013).....	52
Adopted figure 3-22: AR in sport (Imoran, 2009)	54
Adopted figure 3-23: AR in military (Imoran, 2009).....	55
Adopted figure 3-24: AR in car (Harman, 2013).....	56
Adopted figure 3-25: Elimination of the visual correct occlusions (Dong et al., 2012)	57
Adopted figure 3-26: Architectural Anatomy (Webster, 1996)	58

Adopted figure 3-27: Touring machine (Hollerer et al., 1999)	59
Adopted figure 3-28: System ARTUR (Broll et al., 2001).....	59
Adopted figure 3-29: AR simulation of work process (Behzadan & Kamat, 2006)	60
Adopted figure 3-30: AR display installed components (Woodward & Hakkarainen, 2011).....	61
Adopted figure 3-31: AR monitoring of construction progress (Woodward & Hakkarainen, 2011)....	61
Adopted figure 3-32: AR in urban planning (Woodward et al., 2012).....	62
Adopted figure 3-33: System Vidente (Shall, 2012)	63
Adopted figure 3-34: Wearable and mobile devices (Stein, 2013).....	64
Adopted figure 3-35: Google Glass (Glass, 2013)	65
Adopted figure 4-1: Direct and indirect links between IFC elements (Vanlande et al., 2008)	77

LIST OF TABLES

Table 4-1: Model details.....	87
Table 4-2: MTL file update	96
Table 4-3: Model details.....	105
Table 4-4: Eko silver house: construction schedule	108

LIST OF GRAPHS

Graph 2-1: Software use in Slovenian construction sector in 2010	11
Graph 2-2: Tasks in which recourse BIM (2010).....	12
Graph 2-3: The reasons for non-use of BIM	12
Graph 2-4: General opinion about project documentation	13
Graph 2-5: Influence of information technology on project documentation.....	14
Graph 2-6: The frequency of changing of the project documentation	14
Graph 2-7: Examination of project documentation.....	15
Graph 2-8: Coordination of project documentation	15
Graph 2-9: Project documentation availability	16
Graph 2-10: Risk factors in construction process	16
Graph 2-11: Critical stages in lifecycle of a building	17
Graph 2-12: Critical GDCPP phases distribution by profession.....	17
Graph 2-13: Tasks in which recourse BIM (2012).....	18
Graph 2-14: The reasons for non-use of BIM	19
Graph 2-15: Awareness and use of BIM: comparison 2010	21
Graph 2-16: Awareness and use of BIM: comparison 2012	21
Graph 5-1: Understandability of project documentation in the visualization preliminary studies.....	117
Graph 5-2: Usability of project documentation in the visualization preliminary studies.....	117
Graph 5-3: Understandability of project documentation in monitoring of construction	119
Graph 5-4: Usability of project documentation in monitoring of construction.....	119
Graph 5-5: The main advantages of AR.....	122
Graph 5-6: Potentially the most promising areas for the application of AR.....	124

KRATICE IN OKRAJŠAVE

AR	Augmented Reality	razširjena resničnost (RR)
BIM	Building Information Modeling	informacijsko modeliranje zgradb
CAAD	Computer Aided Architectural Design	računalniško podprto arhitekturno načrtovanje
CAD	Computer Aided Design	računalniško podprto načrtovanje ali računalniško podprto konstruiranje
CBSE	Component Based Software Engineering	komponentni model razvoja programske opreme
COBIE	Construction Operations Building Information Exchange	angleški standard zapisa; standard, ki določa, katere podatke je potrebno zbrati med načrtovanjem in gradnjo
CSV	Coma Separated Value File	običajni format za besedilno datoteko, ki vsebuje z vejico ločene vrednosti
DOF	Depth Of Focus	globinska ostrina
FTP	File Transfer Protocol	protokol za prenos datotek
GDCPP	Generic Design and Construction Protocol	generični procesni model načrtovanja in gradnje
GPS	Global Positioning System	sistem za globalno pozicioniranje
GSM	Global System for Mobile Communication	sistem mobilne telefonije, ki se v svetu največ uporablja
GUID	Globally Unique Identifier	globalna identifikacijska oznaka elementa v IFC-modelu
HMD	Head Mounted Display	naglavni prikazovalnik
HUD	Head Up Display	prozoren zaslon, ki vidni sliki dodaja podatke, npr. na vetrobranskem steklu prikazuje hitrost vozila
IAI	International Alliance for Interoperability	mednarodno združenje za zagotavljanje interoperabilnosti
IFC	Industry Foundation Classes	temeljni razredi za industrijo
KMZ	Keyhole Markup Language Zipped	stisnjen zapis modelov, namenjenih za prikaz v programu Google Earth
L3D	Layar 3D	standard zapisa modelov, namenjenih za prikaz v programu Layar
LTE	Long Term Evolution	Nadgradnje GSM omrežja, ki omogoča široko pasoven dostop do spleta

MTL	Material Library File	datoteka, v kateri so zapisane lastnosti materialov, ki pripadajo elementom, ki so definirani v objektnih datotekah.
OBJ	Objective File	objektna datoteka, v kateri je zapisana geometrija modelov
OS	Operating System	operacijski sistem
PDA	Personal Digital Assistant	osebni organizator - majhen osebni računalnik, ki ga je mogoče držati v eni roki in upravljati z drugo
POI	Point of Interest	interesna točka; shranjena lokacija oz. lokacija, ki omogoča uporabniku hitro oz. ponovno najdbo te lokacije
RAM	Random Access Memory	bralno-pisalni pomnilnik
REST	Representational State Transfer	oblika programske arhitekture, posebej značilna za spletne storitve
RUP	Rational Unified Process	procesni model za razvoj informacijskih sistemov
RR	Razširjena resničnost	
SDK	Software Development Kit	paket za razvoj programske opreme
SOAP	Simple Object Access Protocol	protokol za spletne storitve, ki temelji na XML
SQL	Structured Query Language	jezik za poizvedovanje po relacijskih zbirkah podatkov
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem
VR	Virtual Reality	virtualna / navidezna resničnost
WiFi		zaščitni znak združenja Wi-Fi Alliance, ki označuje izdelke za vzpostavitev in delovanje brezžičnih lokalnih omrežij (WLAN) (standardi IEEE 802.11)
XML	Extensible Markup Language	razširljiv označevalni jezik

1 UVOD

Gradbeništvo je panoga, ki so jo v preteklosti obšli nekateri trendi, ki so zaznamovali razvoj drugih sektorjev industrije in storitev, predvsem na področju industrializacije, avtomatizacije in sodobnih načinov upravljanja. Pogosto navedeni razlogi za to so posebnosti panoge: ukvarja se z enkratnimi izdelki, ni utečenih partnerskih odnosov, saj se za vsak projekt zbere druga skupina, partnerji so na zelo različnih tehnoloških nivojih itd. Priprava projektne dokumentacije je zato pogosto otežena – deloma zaradi nepredvidljivosti, deloma zato, ker bo načrt uporabljen le enkrat (Turk, 2006). Zaradi pogostega spreminjanja načrtov še med gradnjo ter nenehnega prilagajanja in usklajevanja dokumentacije s stanjem na gradbišču pogosto prihaja do težav z dostopnostjo pravih informacij.

Stvari so se začele bistveno spreminjati z digitalnim načrtovanjem zgradb. V osemdesetih letih prejšnjega stoletja se je informacijska tehnologija razvila do mere, da je postala primerna za inženirsko rabo. CAD-sistemi so v veliki meri zamenjali risalne deske, to je bil prvi korak digitalizacije projektne dokumentacije (Eastman, 1992), ki je sicer pospešil izdelavo načrtov, ni pa vplival na njihovo interpretacijo. Drugi korak digitalizacije načrtovanja, planiranja in gradnje se je pričel v devetdesetih letih prejšnjega stoletja s pojavom informacijskega modeliranja zgradb¹ (*angl. »Building Information Modeling« – BIM*) (Cerovšek et al., 2002). Namesto risb in besedil v digitalni obliki uvaja strukturiran digitalni model produkta. Proces modeliranja in dokumentiranja informacij je teoretično dobro raziskan (Woksepp & Olofsson, 2008), v praksi pa problemi ostajajo, saj komercialna programska oprema še ni medsebojno popolnoma kompatibilna, zato prihaja do težav pri izmenjavi podatkov (Northwood, 2013).

Še najmanj se je digitalizacija procesa gradnje dotaknila faze uporabe (torej interpretacije) projektne dokumentacije. Na terenu se še vedno največ uporabljajo načrti, izrisani na papir, podobno kot pred pojavom računalnikov. Pri uporabi projektne dokumentacije v digitalni obliki na gradbišču naletimo na nemalo težav. Še do pred kratkim so bile edine naprave, primerne za prikaz projektne dokumentacije, prenosni osebni računalniki. Ti so se in se še vedno uporabljajo v gradbiščnih pisarnah, ne pa na mestu, na katerem dejansko poteka gradnja, obnova ali rušenje objektov. Mobilne naprave, kot na primer dlančniki (*angl. »Personal Digital Assistant« - PDA*), so bili na voljo že v preteklosti, vendar je bila njihova uporabna vrednost omejena zaradi majhnosti, nizke ločljivosti zaslonov, nezadostne procesorske moči, počasnosti prenosa podatkov itd. (Rebolj & Mazel, 2004). Sodobne naprave, kot na primer tablični računalniki (*angl. »Tablet computers«*), pa že zadostujejo kriterijem velikosti in mobilnosti ter so primerne za prikaz projektne dokumentacije na terenu (Dong et al., 2013).

¹ Proces informacijskega modeliranja zgradb je podrobno predstavljen v poglavju 3.5.

Sodobna programska oprema omogoča pripravo projektne dokumentacije v digitalni obliki, ki lahko vsebuje (1) prostorske informacije, (2) terminski plan gradnje, (3) smernice za vzdrževanje objektov itd. Problem pa predstavlja prenos teh informacij iz digitalne oblike v fizično resničnost. To je pokazala tudi naša raziskava (poglavje 2.4.2). Res je, da že obstajajo pregledovalniki, ki lahko zamenjajo papirnat obliko načrtov, ampak to ne spremeni samega koncepta dojetja načrtov. Še vedno so inženirji tisti, ki morajo uporabiti svojo prostorsko predstavo za preslikavo 2D-slik, tlorisov, prerezov in ostalih 3D-projekcij (še vedno le 2D-medij prikaza) v realni 3D-prostor oziroma fizično resničnost gradbišča. Interpretacija načrtov tako ostaja v izključni domeni človekovega dojetja in predstave.

V preteklosti so raziskovalci že poskušali poenostaviti proces gradnje oziroma preslikavo digitalne dokumentacije v realno 3D-okolje z dodajanjem virtualnih elementov živi sliki realne okolice (Broll et al., 2001), (Behzadan & Kamat, 2006), (Shin & Dunston, 2009), (Lange, 2011) (Craig, 2013). Takšen princip mešanja virtualnih informacij z realnim okoljem navadno označujemo s terminom razširjena resničnost (*angl. »Augmented Reality« – AR*).

1.1 Predstavitev problematike

Gradbišče je prostor, na katerem se projektna dokumentacija opredmeti. Tam se srečata fizična resničnost in načrt oziroma informacijski model. Vzrok za številne napake v procesu gradnje je ravno v napačno razumljeni, uporabljeni ali preneseni informaciji iz projektne dokumentacije v fizično resničnost. Uporaba BIM je količino napak že zmanjšala (Boddy et al., 2007), vendar je dostop do relevantnih informacij na terenu še vedno pogosto otežen (Sacks et al., 2010).

Odnosi med partnerji v grajenem okolju so kompleksni. Zaznamovani so s parametri, ki vključujejo tehnične, funkcionalne, poslovne in človeške dimenzije (Wikforss, 2007). Nove načrtovalske paradigme, inovativni produkti, tehnologije in procesi pa so eksponentno povečali količino podatkov, ki so udeležencem v procesu gradnje na voljo in ki jih je potrebno upoštevati. Tako je bilo v preteklosti že ugotovljeno, da je učinkovita izmenjava podatkov ključnega pomena za uspešno končanje gradbenih projektov (Isikdag & Underwood, 2010). Uporaba elektronskih medijev komunikacije, npr. elektronske pošte, je pospešila pretok informacij, ni pa v celoti rešila vprašanja izmenjave, predvsem pa organizacije velike količine informacij (Woo, 2004) in izmenjave strukturiranih podatkov. Z uporabo informacijskih modelov zgradb smo dobili bistveno bogatejšo in uporabnejšo obliko zapisa načrtov in planov gradnje. Toda to je le eden od korakov digitalizacije gradbene dejavnosti. Potrebno je poiskati tudi opravila in z njimi povezane udeležence, ki upočasnjujejo digitalizacijo gradbišča in zmanjšujejo izkoriščanje razpoložljivega potenciala sodobnih tehnologij – tudi informacijsko bogatejših virov, kot so BIM-modeli.

To je mogoče na dva načina – s teoretično analizo procesov graditve in z opazovanjem prakse. Teoretično je možno naloge posameznih udeležencev predstaviti s procesnimi modeli. Eden takšnih je generični protokol projektiranja in gradnje (*angl. »Generic Design and Construction Protocol«* – *GDCPP*) (Aouad et al., 1998). V tej disertaciji je GDCPP uporabljen kot osnova za identifikacijo kritičnih stopenj v življenjskem ciklu objekta.

Kritične faze v procesu gradnje (po modelu GDCPP) smo identificirali z raziskavami, ki smo jih opravili v podjetjih slovenskega gradbenega sektorja. Ugotovljeno je bilo, da so kritične faze, povezane z zaključkom priprave projektne dokumentacije in z razumevanjem le-te v fazi gradnje. V tej disertaciji smo pozornost posvetili predvsem procesu razumevanja projektne dokumentacije.

Formalno gledano je projektna dokumentacija, ki je obvezna pri gradnji, definirana v Zakonu o graditvi objektov (ZGO). Drugi člen pravilnika o projektni dokumentaciji Zakona o graditvi objektov uvršča projektno dokumentacijo glede na namen uporabe na naslednje projekte (ZGO, 2008):

- idejno zasnovo (IDZ), katere namen je pridobitev projektnih pogojev oziroma soglasij za priključitev pristojnih dajalcev soglasij,
- idejni projekt (IDP), katerega namen je izbor najustrežnejše variante nameravanega objekta oziroma načina izvedbe del, ki se izdelajo, če je tako določeno s posebnimi predpisi ali če to izrecno pisno zahteva investitor,
- projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), katerega namen je pridobitev gradbenega dovoljenja,
- projekt za izvedbo (PZI), katerega namen je izvedba gradnje,
- projekt izvedenih del (PID), katerega namen je pridobitev uporabnega dovoljenja.

V tej doktorski disertaciji je besedna zveza projektna dokumentacija uporabljena širše, kot je formalno definirana v ZGO. Pri dokazu hipoteze namreč izhajamo iz izhodišča, da so podatki, potrebni za gradnjo, pripravljene digitalno, in sicer zapisani v obliki informacijskega modela zgradbe BIM. S terminom projektna dokumentacija so tako v tej disertaciji označene vse informacije, ki jih je mogoče pridobiti iz informacijskega modela zgradbe.

1.2 Hipoteza in cilji doktorske disertacije

Hipoteza doktorske naloge je naslednja:

»Z uporabo sintetičnega okolja, ki omogoča integracijo 4D-informacijskega modela zgradbe v živo sliko realne okolice, je mogoče izboljšati razumevanje projektne dokumentacije.«²

Cilje doktorske naloge lahko razdelimo v dva sklopa. Namen prve skupine je neposreden izvirni prispevek k razvoju znanosti, v drugo skupino pa sodi razvoj tehnologij, uporabnih za inženirsko delo tako v projektivnih birojih kot na gradbišču. Rezultati doktorske naloge so torej deloma teoretični in deloma praktični.

Prispevki k razvoju znanosti so naslednji:

- boljše razumevanje procesov, v katerih se srečujejo digitalna informacija, človekova predstava in otipljiv realni svet,
- boljše razumevanje komponentnega načina razvoja programske opreme in uporabnosti generičnih tehnologij za gradbeništvo,
- kvantificirana ocena potenciala tehnologij razširjene resničnosti (RR) v povezavi z mobilnim računalništvom v gradbeništvu.

Razvita tehnologija bo gradbenikom, ki svoje delo opravljajo na terenu:

- olajšala dostop do informacij in izboljšala njihovo uporabnost,
- povečala udobnost dostopa do relevantnih informacij,
- predstavila prednosti, ki jih tehnologija prinaša, in s tem pospešila digitalizacijo gradbišča, s tem pa vplivala tudi na še hitrejšo digitalizacijo predhodnih faz graditve.

1.3 Metodologija

V gradbeni informatiki lahko razlikujemo med dvema vrstama raziskav: med odgovarjanjem na vprašanja socialno-tehnične narave (predmet raziskovanja ni naravni pojav, ampak človekov tehnološki, organizacijski ali konceptualni konstrukt informacijske narave) in reševanjem inženirskih problemov (Turk, 2006). Namen prvega je spoznavanje in razumevanje socialno-tehničnega okolja, podobno kot naravoslovje spoznava naravo. Namen drugega je reševanje splošnih inženirskih problemov, kar je

² Štiridimenzionalni model je sestavljen iz treh prostorskih komponent in časovne komponente.

osnova za izdelavo računalniških aplikacij, ki jih bo mogoče uporabiti v praksi in na konkretnih primerih.

1.3.1 Vprašanja

Zanimali so nas vzorci komunikacij v grajenem okolju s poudarkom na relaciji med informacijskimi modeli in fizično resničnostjo. Na podlagi ugotovitev smo identificirali opravila, pri katerih lahko prihaja do napak pri razumevanju, uporabi ali prenosu informacij v fizično resničnost in bi jih bilo mogoče odpraviti s pomočjo sintetičnega okolja, ki omogoča umestitev informacijskih modelov v živo sliko fizične resničnosti.

Analizirali smo aktualno stanje uporabe informacijskih modelov in mobilnega računalništva v različnih fazah gradnje, in sicer z vidika načrtovalcev, ki svoje delo opravljajo v pisarni, kot z vidika izvajalcev, ki svoje delo opravljajo na terenu. Ugotovitve smo primerjali z rezultati raziskav, ki so bile opravljene v tujini.

Odnos med stvarnostjo in človekovim dojetjem le-te smo preučili še s teoretičnega vidika. V disertaciji so predstavljeni mehanizmi, kako človek dojema okolje, ki ga obdaja. Analiza človekovih miselnih procesov je v nadaljevanju uporabljena kot izhodišče za dokaz hipoteze, da je mogoče z dodajanjem informacij v vidno polje izboljšati in olajšati dojetje prostorskih informacij.

Rezultat je boljše razumevanje odnosa med stvarnostjo, digitalno simulacijo in človekovim dojetjem obojega ter potenciala tehnologije za izboljšanje tega odnosa.

1.3.2 Reševanje inženirskih problemov

Na podlagi zgoraj naštetih študij smo se v doktorski disertaciji lotili iskanja praktičnih rešitev problemov, ki jih odpira teoretična obravnava problema preslikave projektne dokumentacije iz virtualnega okolja v fizično resničnost.

Razvili smo prototip aplikacije, ki omogoča integracijo informacijskega modela BIM v živo sliko realne okolice. Pri razvoju aplikacij v tehničnih znanostih je težko natančno definirati vse zahteve in omejitve, zato smo uporabili Rational Unified Process (RUP), ki postavlja okvire za razvoj programske opreme tekom celotnega cikla načrtovanja in gradnje. Delovanje in uporaba sistema sta bila najprej preizkušena v testnem okolju, nato pa še na realnem primeru gradnje večstanovanjskega objekta.

Oceno izdelanega okolja smo pridobili tudi z vodenimi intervjuji. Prikaz RR smo primerjali s predstavitvenimi tehnikami 2D in 3D. Želeli smo pridobiti podatke za kvantitativno oceno uporabnosti RR. Iskali smo potrditev, da lahko RR pomembno pripomore k razumevanju projektne dokumentacije.

1.4 Struktura naloge

Naloga je razdeljena na šest poglavij.

- Prvo poglavje je bilo namenjeno predstavitvi tematike in raziskovalnega problema, definirana je temeljna hipoteza in opisane so metode raziskovanja.
- V drugem poglavju so identificirana opravila, pri katerih potencial sodobnih tehnologij v gradbenem procesu še ni popolnoma izkoriščen. Ugotovitve temeljijo na teoretični analizi in na rezultatih anketiranja, opravljenega v slovenskem gradbenem sektorju. Dodana je tudi primerjava s podobnimi tujimi raziskavami.
- Tretje poglavje je namenjeno predstavitvi znanstvenih in tehnoloških področij, povezanih z obravnavano problematiko. Pojem razširjene resničnosti je utemeljen na podlagi teoretične študije odnosa med realnostjo in človekovim dožemanjem le-te. Predstavljen je zgodovinski pregled razvoja RR.
- Na podlagi ugotovitev iz drugega in tretjega poglavja so v četrtem poglavju koncepti verificirani z načrtovanjem, izdelavo in s preskusom delovanja sistema RR, namenjenega spremljanju procesa gradnje. Poglavje se zaključuje s predstavitvijo rezultatov terenskih testiranj.
- V petem poglavju so predstavljeni rezultati strukturiranih intervjujev, v katerih smo ocenjevali razumljivost in uporabnost konvencionalnih predstavitvenih tehnik in razširjene resničnosti. Rezultati predstavljajo osnovo za potrditev hipoteze.
- Sklepno šesto poglavje je namenjeno končni analizi spoznanj, ki so predstavljena v tej disertaciji. Predstavljene so tudi smernice za nadaljnje raziskave.

Na koncu naloge je seznam uporabljene literature in priloge.

2 IDENTIFIKACIJA PROBLEMOV PRI UPORABI INFORMACIJ

V tem poglavju so najprej predstavljeni povzetki rezultatov dveh raziskav, opravljenih v letih 2010 in 2011. V nadaljevanju poglavja je primerjava izsledkov raziskav s podobnimi obstoječimi domačimi in tujimi raziskavami. Na podlagi ugotovitev empiričnega dela raziskovanja in povezave le-tega s teoretično študijo obravnavanega področja so v poglavju 3.7 postavljene smernice za razvoj prototipa.

2.1 Izhodišča

Razumevanje komunikacijskih procesov je ključno, še posebej v razdrobljeni panogi, kakršno je gradbeništvo. Izmenjava informacij med udeleženci v projektu je kompleksno vprašanje, na katerega vpliva mnogo dejavnikov. Do problemov lahko pride tekom celotnega poteka gradbenih projektov – od idejnih zasnov, preko priprave projektne dokumentacije pa vse do interpretacije le-te. Ključnega pomena za nadaljnje delo je bilo pridobiti globlji vpogled v posamezne faze gradnje. Naš namen je bil identificirati procese, ki jih je mogoče optimizirati. Izhajali smo iz dejstva, da na trgu obstaja množica komercialnih programskih orodij, s katerimi je mogoče učinkovito pripraviti kvalitetno projektno dokumentacijo v 3D-obliki, da je mogoče 3D-modele nadgraditi s časovno komponento in na ta način ustvariti virtualne simulacije gradnje 4D BIM.

Pri določanju ciljne populacije smo izhajali iz predpostavke, da mora biti vsem, ki so kakorkoli povezani z gradnjo objektov, v vsakem trenutku omogočen nemoten dostop do bistvenih informacij. Ciljna skupina raziskav so bili vsi, ki so na kakršen koli način povezani z gradnjo objektov (inženirji, arhitekti idr.).

2.2 Namen in cilji

Z raziskavami smo želeli odgovoriti na naslednja vprašanja.

- Kakšno je splošno mnenje o kvaliteti projektne dokumentacije?
- Kako poteka prenos podatkov iz projektnih birojev na gradbišče?
- Kakšna je dostopnost do aktualne verzije projektne dokumentacije?
- Kako se projektna dokumentacija usklajuje?
- V kateri fazi gradbenega projekta največkrat prihaja do težav?
- Kakšna je prisotnost BIM v slovenskih gradbenih podjetjih?
- Katera BIM-orodja so poznana in za katera opravila se uporabljajo v praksi?
- Kakšno je mnenje anketirancev o BIM?

Odgovore na postavljena vprašanja smo poskušali pridobiti z dvema spletnima raziskavama in s primerjavo ugotovitev z obstoječimi študijami.

Cilj prve raziskave je bil preveriti poznavanje informacijskega modeliranja zgradb v slovenskem gradbenem sektorju in identifikacija orodij, ki se uporabljajo v praksi. Cilji druge raziskave pa so bili (1) identifikacija problemov, povezanih z izdelavo, izmenjavo in interpretacijo projektne dokumentacije, (2) identifikacija kritičnih faz gradbenega procesa, (3) ponovno preverjanje poznavanja informacijskega modeliranja zgradb.

2.3 Metoda raziskovanja

Uporabili smo raziskovalno metodo anketiranja. Anketiranje ni zgolj postavljanje vprašanj in iskanje odgovorov nanje, ampak je postavljanje točno določenih vprašanj vnaprej določeni skupini ljudi na točno določen način (Pokorny et al., 2012). V zadnjem času je vedno več raziskav opravljenih s pomočjo spletnih vprašalnikov. Splet je omogočil, da postanejo raziskave cenovno ugodnejše, hitrejše in enostavnejše. Vseeno pa je potrebno izpostaviti tudi slabosti uporabe spletnih vprašalnikov. Wright izpostavlja dve glavni težavi spletnega anketiranja: vzorčenje in dostopnost (Wright, 2005). Lahko se zgodi, da rezultati, pridobljeni s spletnimi anketami, niso reprezentativni.

Pri spletnih anketah lahko naletimo na težave z reprezentativnostjo rezultatov, kadar želimo sklepati o splošni populaciji na osnovi spletnih anket, ki so jih izpolnile osebe, za katere ne vemo, s kakšno verjetnostjo so bile rekrutirane (Castillo, 2012). Statistično sklepanje z vzorca na populacijo – ki običajno vključuje interval zaupanja kot merilo za tveganje, da se motimo – namreč temelji na tem, da verjetnosti za vključitev poznamo vnaprej, in to za celotno populacijo (EKA, 2013).

Da bi se izognili zgoraj navedenim težavam, smo se raziskovanja lotili sistematično. Raziskovalno delo smo opravili v naslednjih korakih: (1) planiranje raziskave, (2) priprava vprašanj na podlagi zastavljenih ciljev, (3) preizkus vprašalnika na testnem vzorcu, (4) anketiranje, (5) analiza in interpretacija rezultatov, (6) primerjava s podobnimi raziskavami.

2.3.1 Planiranje raziskave

Pri anketiranju je potrebno pred izvedbo ankete določiti ciljno skupino. Jasno določanje ciljne populacije je še toliko pomembnejše pri uporabi spletnih vprašalnikov, saj je pri analizi rezultatov potrebno dokazati, da pridobljeni podatki jasno odražajo dejansko stanje celotne populacije. Ciljna populacija naše raziskave so bila slovenska podjetja, ki so na kakršen koli način povezana z grajenim okoljem.

Trendi izvedbe raziskav, povezanih z gradbeno dejavnostjo v Sloveniji, nakazujejo, da je zelo težko pridobiti zadostno količino odgovorov (Pazlar et al., 2004), (Klinc, 2010). Pri izvedbi omenjenih raziskav sta bila uporabljena dva principa vzorčenja. Pazlar je s soavtorji uporabil klasični verjetnostni način vzorčenja. Kljub intenzivni promociji prek spletne pošte in oglaševanju v revijah je bil odziv skromen. Klinc je uporabil vzorčenje po principu snežne kepe. Tudi v tem primeru je bilo število odgovorov relativno skromno: 52 izpolnjenih vprašalnikov.

Mi smo pri izvedbi uporabili oba pristopa. Pri izvedbi prve raziskave smo vprašalnik poslali v 100 gradbenih podjetij, odgovor smo prejeli od 35. V drugem poizkusu pa smo vprašalnik poslali 30 osebam iz podjetij, katerih registrirane dejavnosti so gradbeništvo, gradbeni inženiring in projektiranje. Prosili smo jih, naj vprašalnik izpolnijo in ga posredujejo osebam, ki so prav tako povezane z grajenim okoljem. Ob zaključku druge raziskave smo prejeli 49 ustrezno izpolnjenih vprašalnikov.

2.3.2 Priprava vprašalnikov in poizkus na testnem vzorcu

Spletni vprašalnik prve ankete je bil sestavljen iz dveh sklopov.

- Prvi sklop vprašanj je vseboval splošna identifikacijska vprašanja (starost, področje dela ...). Namen prvega dela je bil pridobiti splošne podatke, na podlagi katerih je v nadaljevanju mogoče zagovarjati reprezentativnost rezultatov.
- Drugi sklop vprašanj je bil posvečen informacijskemu modeliranju zgradb. Vprašanja smo pripravili splošno, saj smo želeli dobiti širši vpogled v trenutno stanje v praksi.

Spletni vprašalnik druge ankete je bil sestavljen iz treh sklopov.

- Prvi sklop vprašanj je vseboval splošna identifikacijska vprašanja (starost, področje dela ...). Pri tej raziskavi je ta sklop še posebej pomemben, saj smo raziskavo opravili po principu snežne kepe. Pri tej metodi raziskovanja obstaja večje tveganje, da rezultati niso reprezentativni, saj se lahko zgodi, da struktura populacije ne ustreza realnemu stanju.
- Drugi sklop vprašanj je bil posvečen projektni dokumentaciji. Vprašanja smo zastavili na način, da bi dobili kar najboljši pregled nad kvaliteto projektne dokumentacije in načinom, kako poteka pretok informacij med projektivnimi biroji in gradbiščem.
- Zadnji sklop vprašanj je bil posvečen informacijskemu modeliranju zgradb. Vprašanja so bila podobna tistim iz drugega dela prve raziskave.

Obe raziskavi smo izvedli v dveh korakih. Najprej smo delovanje spletnega vprašalnika preizkusili tako iz tehničnega kot tudi iz vsebinskega vidika. Manjšo skupino anketirancev (5 oseb pri vsaki anketi) smo

povabili, naj ocenijo vsebinsko jasnost, razumljivost posameznih vprašanj in dolžino ankete. Upoštevali smo komentarje in pripombe ter pripravili končno verzijo vprašalnikov. Vsa vprašanja prve in druge raziskave se nahajajo v prilogi A – I in A – II.

2.3.3 Izvedba raziskave in selekcija pridobljenih podatkov

Prva raziskava je bila opravljena decembra 2010. Vprašalnik je bil poslan 100 naključno izbranim podjetjem, katerih registrirane dejavnosti so gradbeništvo, gradbeni inženiring in projektiranje. Z izborom podjetij smo želeli v največji meri pridobiti podatke od vseh velikostnih skupin gradbenih podjetij in od vseh pod dejavnosti gradbenega sektorja. Odgovor smo prejeli od 35 oseb iz 17 podjetij.

Najprej smo analizirali odgovore na splošna identifikacijska vprašanja, ki so bila namenjena preverjanju reprezentativnosti raziskave. Reprezentativnost odgovorov je mogoče zagovarjati z dejstvom, da smo odgovore prejeli od vseh ciljnih skupin. Odgovore smo prejeli od podjetij, ki se ukvarjajo z gradnjo (32 %), s projektiranjem (44 %), z gradbenim inženiringom (24 %). Največji odstotek odgovorov smo prejeli od zelo velikih podjetij z več kot 100 zaposlenimi (37 %) in zelo majhnih z manj kot 5 zaposlenimi (34 %). Razporeditev odgovorov, glede na velikost podjetij, se ujema s podatki o takrat obstoječih gradbenih podjetij (ZRSZ, 2011). Leta 2010, pred propadom velike večine slovenskih gradbenih velikanov, je bil največji delež zaposlenih v majhnih in velikih gradbenih podjetjih (SURS, 2012). Pred začetkom gospodarske krize je bil slovenski gradbeni sektor primerljiv s svetovnim povprečjem. Pred začetkom krize v gradbenem sektorju je bilo v slovenskih gradbenih podjetjih zaposlenih 88 tisoč ljudi, to število se je v zadnjih letih skoraj prepolovilo. Propadla so številna večja gradbena podjetja, ki so imela svoje razvojne oddelke.

V drugi raziskavi smo upoštevali učinek propada velikih podjetij, zato smo velikostne razrede prilagodili razmeram v letu 2012 (SURS, 2013). Druga raziskava je bila opravljena v avgustu 2012. Vprašalnik je bil 29. avgusta poslan 30 osebam v podjetjih, katerih registrirane dejavnosti so gradbeništvo, gradbeni inženiring ali projektiranje. Anketirance smo prosili, naj izpolnijo vprašalnik in ga posredujejo sodelavcem in znancem iz drugih podjetij, povezanih z gradbeno industrijo. Anketo smo zaključili po dveh tednih, v tem času pa smo prejeli 49 odgovorov. V prvem delu smo anketirance vprašali, kaj je glavna dejavnost podjetja, kakšna je njihova vloga v podjetju in kakšna je velikost podjetja. Odgovori se ujemajo s podatki o takrat obstoječih gradbenih podjetjih (EUROSTAT, 2013).

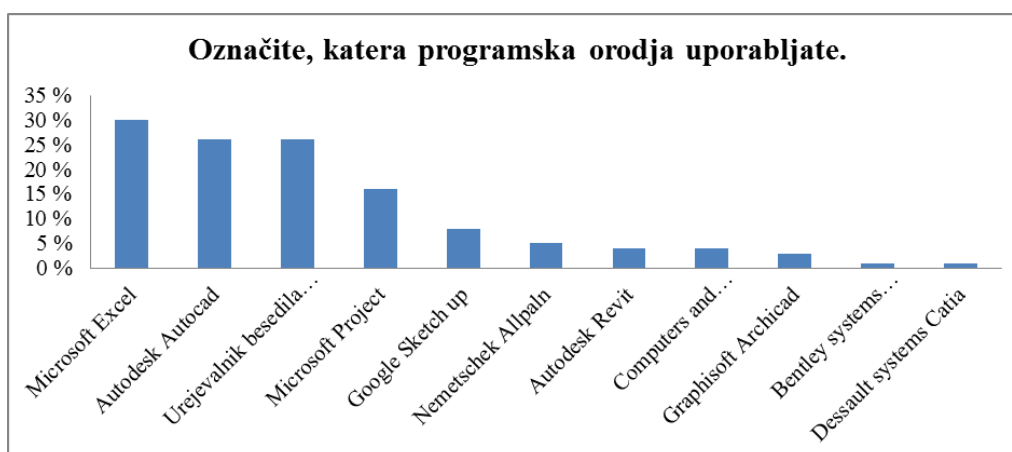
V splošnem delu raziskave nas je zanimala tudi velikost podjetij. S tem podatkom smo želeli pokazati, da so vsa podjetja enakomerno zastopana. Želeli smo pokazati, da se rezultati ujemajo s statistiko o velikosti dejanskih gradbenih podjetij. Velikosti gradbenih podjetij se ujemajo z velikostmi takrat obstoječih gradbenih podjetij (EUROSTAT, 2013).

2.4 Analiza in rezultati

V tem poglavju so predstavljene glavne ugotovitve raziskav. Vsi odgovori prve in druge raziskave se nahajajo v prilogi A – I in A – II.

2.4.1 Rezultati raziskave o poznavanju in uporabi informacijsko komunikacijskih tehnologij v slovenskih gradbenih podjetjih

Rezultati ankete kažejo, da podjetja spremljajo razvoj sodobnih tehnologij, saj je na vprašanje »Ali vaše podjetje sledi trendom v razvoju gradbene informatike?« 75 % anketirancev odgovorilo pritrdilno. Kljub dobremu mnenju anketirancev o uporabi sodobnih tehnologij, pa je uporaba BIM- orodij še dokaj skromna. Več kot polovica anketirancev (59 %) je že slišala za BIM, uporabljalo pa bi ga naj 38 %. Odstotek uporabnikov, ki meni, da pri svojem delu uporabljajo BIM, je presenetljivo visok (38 %), to trditev je mogoče potrditi s pregledom uporabe komercialnih programov, kjer še vedno močno prevladuje uporaba CAD-programov in programov iz paketa MS Office (Grafikon 2-1).

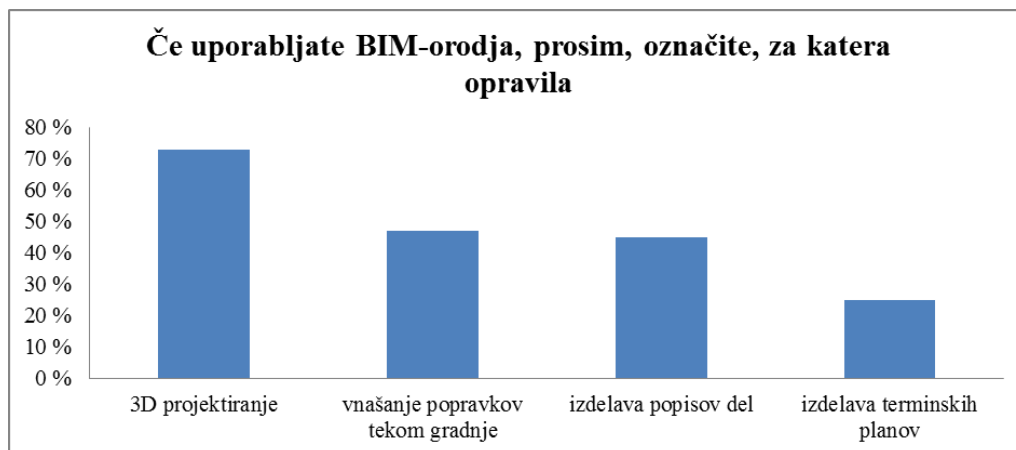


Grafikon 2-1: Uporaba programske opreme v slovenskih gradbenih podjetjih leta 2010

Graph 2-1: Software use in Slovenian construction sector in 2010

Poleg ponujenih orodij so anketiranci navedli: Tower, Dietrichs, Cinema 4D, Green Building Studio, Ecotect, SCIA Engineer, Matlab, PRINS.

Na grafikonu (Grafikon 2-2) so prikazana opravila, pri katerih anketiranci uporabljajo BIM. Anketiranci so lahko označili več odgovorov, zato vsota presega 100 %.

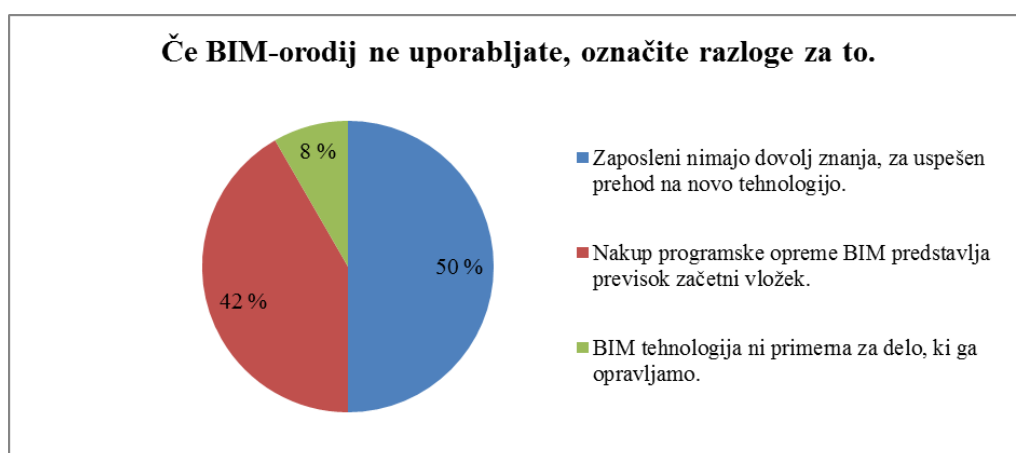


Grafikon 2-2: Opravila, pri katerih se uporablja BIM (2010)

Graph 2-2: Tasks in which recourse BIM (2010)

Zanimivi sta primerjavi med letom zaključka šolanja in odstotkom anketirancev, ki uporabljajo BIM, ter razmerje med velikostjo podjetja in uporabo BIM. BIM razen redkih izjem uporabljajo osebe, ki so svoje šolanje zaključile po letu 2006 in so zaposlene manjših podjetjih (do 5 zaposlenih).

Iz analize odgovorov je mogoče sklepati, da BIM tudi v slovenski gradbeni panogi počasi postaja realnost. Kljub temu pa smo želeli izvedeti, kaj najbolj ovira vpeljavo BIM-a v prakso. Glavni razlogi, ki jih navajajo anketiranci, zakaj ne uporabljajo BIM, so previsoki začetni vložki, pomanjkljivo znanje in nedosežena kritična masa, ki bi prisilila udeležence v uporabo BIM. Anketiranci so imeli na voljo zgolj tri odgovore (Grafikon 2-3). Sklicevanje na nedoseženo kritično maso pa smo izpostavili, ker so jo anketiranci večkrat navedli v komentarju ankete.



Grafikon 2-3: Razlogi za neuporabo BIM

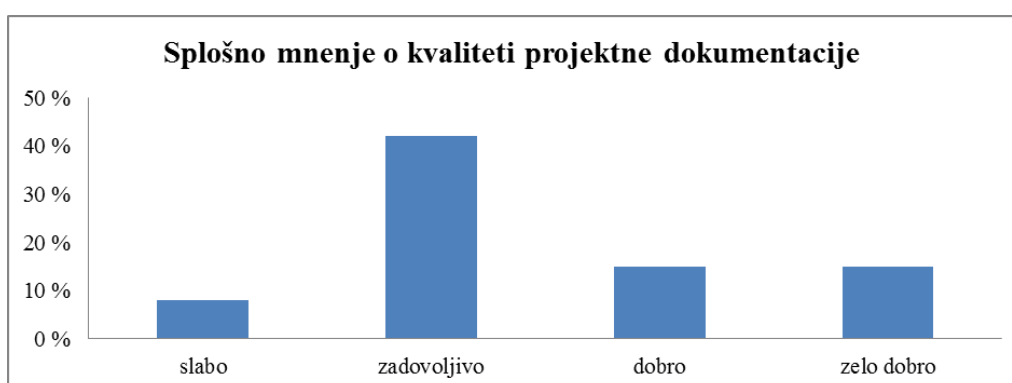
Graph 2-3: The reasons for non-use of BIM

2.4.2 Rezultati raziskave o prenosu podatkov in razumevanju projektne dokumentacije v gradbeništvu

Pri analizi rezultatov smo glede na funkcijo anketirance razdelili v štiri skupine; (1) arhitekti in projektanti 41 %, (2) priprava dela, vodje gradbišč in obračunski tehniki 31 %, (3) direktorji in nadzorniki 22 % in (4) drugo 6 %. Zaradi relativno majhnega števila odgovorov smo nekatere skupine združili, menimo pa, da združevanje v večje skupine ni problematično, saj ne vpliva na končne ugotovitve.

Anketirance smo prav tako vprašali, kje opravljajo svoje delo: (1) v pisarni 35 %, (2) na terenu 12 % in (3) oboje 53 %. Dejstvo, da največji delež anketiranih delo opravlja na terenu in v pisarni, je zelo dobro, saj je bil glavni namen ankete pridobiti mnenje o tem, kako poteka pretok informacij med pisarnami in gradbiščem. Da bi zagotovili ustreznost raziskave, so anketirance vprašali, ali njihovo podjetje sledi trendom informacijske tehnologije in kakšna strojna oprema jim je na voljo. Velik odstotek anketirancev (86 %) se strinja z izjavo, da njihovo podjetje sledi trendom informacijske tehnologije. Vsem anketirancem sta na voljo bodisi mobilni ali pametni telefon in osebni ali prenosni računalnik. Razveseljiv je tudi podatek, da ima več kot 60 % vseh anketirancev pametni telefon. Odstotek tabličnih računalnikov in dlančnikov pa je dosti manjši: 20 %.

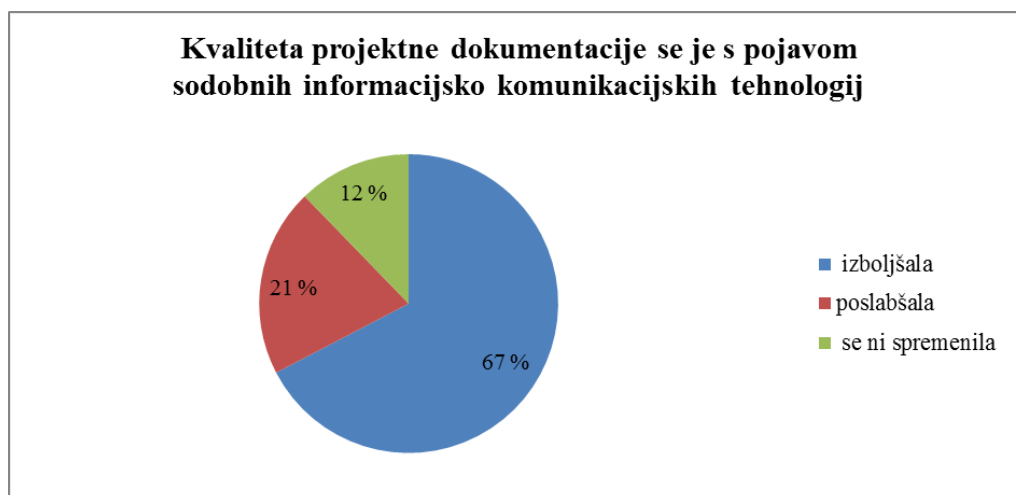
Drugi sklop vprašanj je bil namenjen projektne dokumentaciji. Intervjuvance smo prosili, naj izrazijo svoje mnenje o kakovosti projektne dokumentacije in o vplivu sodobnih tehnologij na njeno kvaliteto. Velika večina se strinja, da je najmanj zadovoljiva (Grafikon 2-4).



Grafikon 2-4: Splošno mnenje o kvaliteti projektne dokumentacije

Graph 2-4: General opinion about project documentation

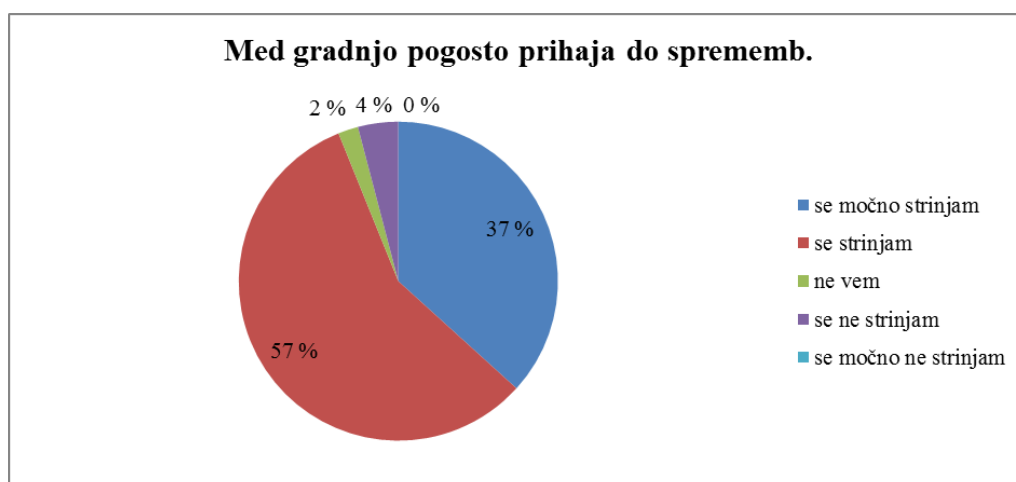
Iz odgovorov je mogoče sklepati, da uporaba sodobnih tehnologij pozitivno vpliva na kvaliteto projektne dokumentacije (Grafikon 2-5). Anketiranci menijo, da glede kvalitete ni razlike pri projektne dokumentaciji javnih in zasebnih projektov.



Grafikon 2-5: Vpliv informacijske tehnologije na kvaliteto projektne dokumentacije

Graph 2-5: Influence of information technology on project documentation

Anketirance smo spraševali, ali med gradnjo pogosto prihaja do sprememb. Iz rezultatov je mogoče sklepati, da se projektna dokumentacija med gradnjo večkrat spremeni. Več kot 50 % anketirancev se močno strinja s trditvijo, da med gradnjo pogosto prihaja do sprememb projektne dokumentacije, zato je potrebno zagotoviti mehanizme za avtomatizacijo tega procesa.



Grafikon 2-6: Pogostost spreminjanja projektne dokumentacije

Graph 2-6: The frequency of changing of the project documentation

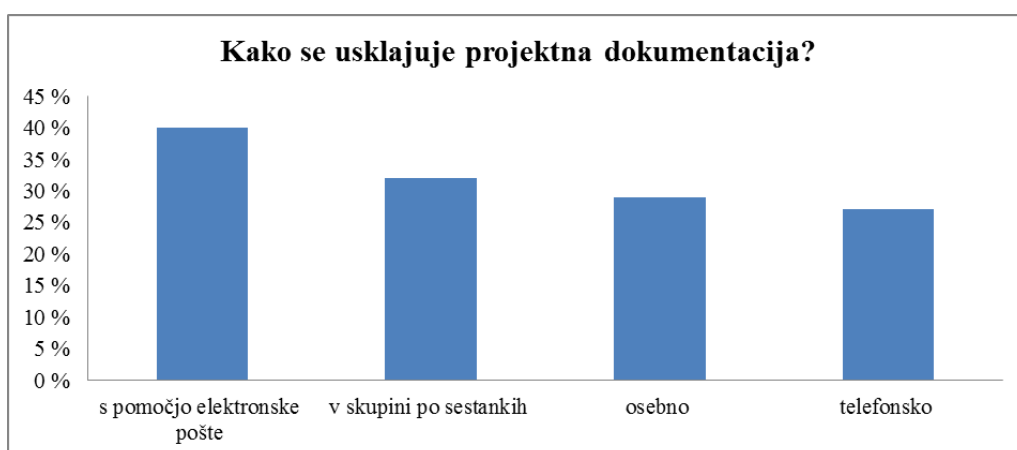
Že pred izvedbo ankete smo predvideli, da med gradnjo pogosto prihaja do sprememb, zato nas je zanimalo, kako se usklajuje projektna dokumentacija in kako so informacije prenesene na gradbišče. Mogoče je trditi, da prenos še vedno poteka »ročno«, saj so načrti v veliki meri še vedno natisnjeni in v fizični obliki prineseni na gradbišče (Grafikon 2-7).



Grafikon 2-7: Načini ogleda projektne dokumentacije

Graph 2-7: Examination of project documentation

Mnenja o tem, kako se usklajuje projektna dokumentacija, so zelo deljena (Grafikon 2-8). Anketiranci so lahko označili več odgovorov, zato vsota presega 100 %.

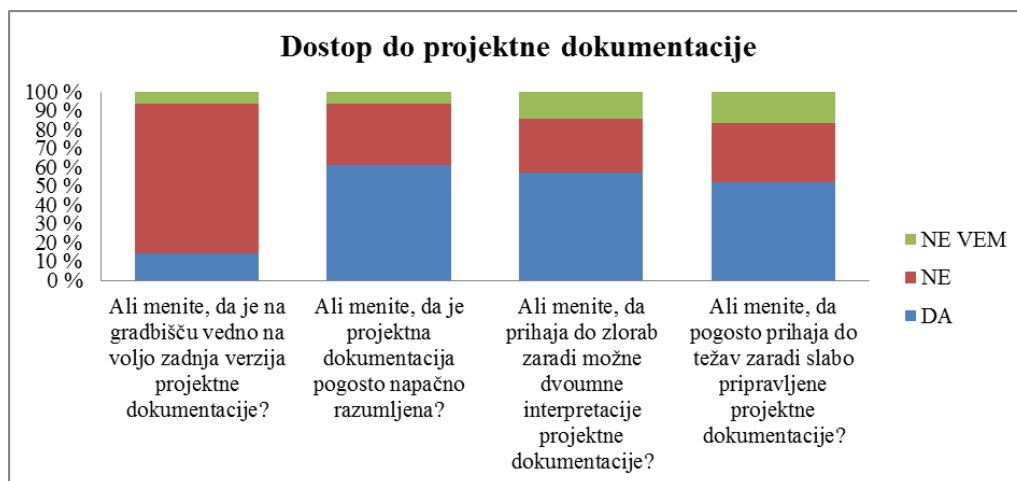


Grafikon 2-8: Načini usklajevanja projektne dokumentacije

Graph 2-8: Coordination of project documentation

Kvalitetna projektna dokumentacija pa je le prvi korak za uspešnost gradbenih projektov. Drugi, mogoče še pomembnejši koraki, so prenos, koordinacija in končno interpretacija le-te. Interpretacija je povezana

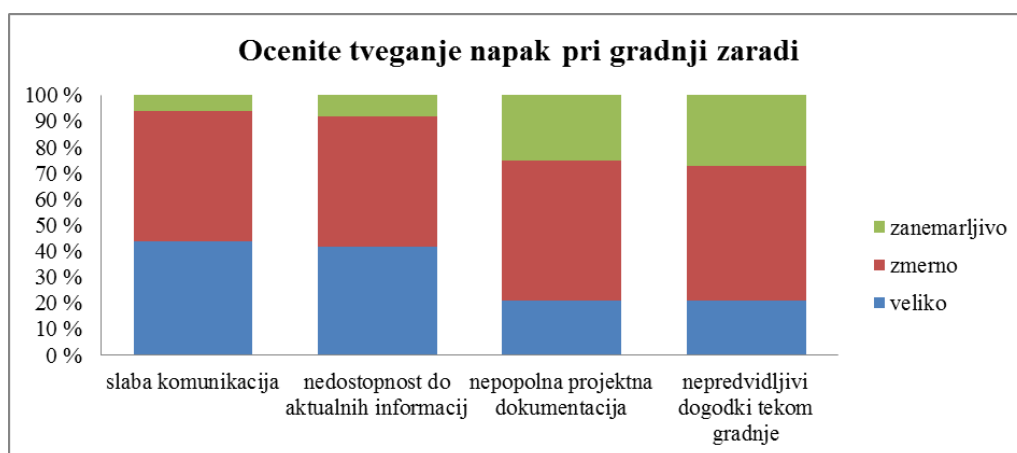
z razumevanjem, kar bo obravnavano v nadaljevanju. Mnenje anketirancev o dostopnosti projektne dokumentacije smo preverili z mrežnim tipom vprašanj. Odgovori jasno povedo, da velik problem predstavlja nedostopnost projektne dokumentacije. Kar 79 % anketirancev meni, da na gradbišču ni vedno na voljo zadnja verzija projektne dokumentacije (Grafikon 2-9).



Grafikon 2-9: Dostopnost projektne dokumentacije

Graph 2-9: Project documentation availability

Rezultati ankete kažejo, da sta glavna dejavnika tveganja, zaradi katerih se pojavljajo težave pri gradnji, slaba komunikacija in nedostopnost aktualnih informacij (Grafikon 2-10). Tudi ta ugotovitev potrjuje naša doumevanja, da glavni vzrok težav v procesu gradnje ni slabo pripravljena projektna dokumentacija, ampak interpretacija le-te.

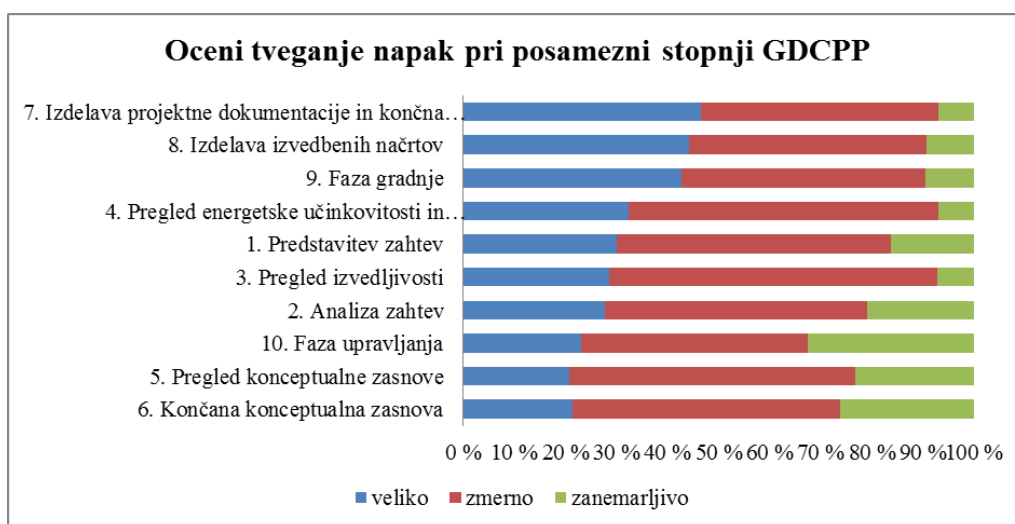


Grafikon 2-10: Dejavniki tveganja v gradbenem procesu

Graph 2-10: Risk factors in construction process

2.4.2.1 Identifikacija najbolj tveganih procesov

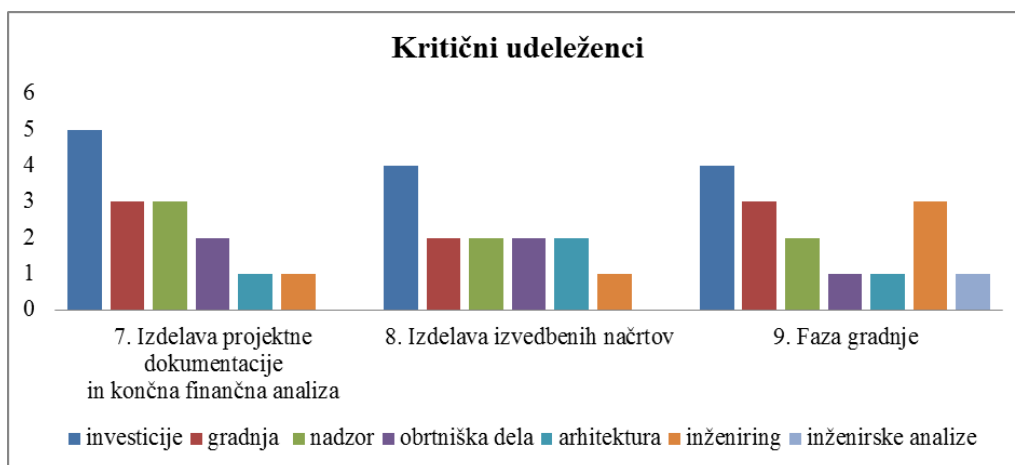
Četrti sklop vprašanj je bil namenjen identifikaciji najbolj kritičnih stopenj v celotnem življenjskem ciklu objekta. Od anketirancev smo želeli, naj stopnje GDCPP ocenijo z možnostjo tveganja za napake (Grafikon 2-11).



Grafikon 2-11: Identifikacija najbolj kritičnih faz prenosa gradbene dokumentacije

Graph 2-11: Critical stages in lifecycle of a building

Tri najbolj kritične faze GDCPP smo razdelili po dejavnostih podjetja (Grafikon 2-12). Številke na vertikalni y osi grafa predstavljajo absolutno število odgovorov. Rezultat kaže, da so najbolj kritična podjetja, ki se ukvarjajo z investicijami.



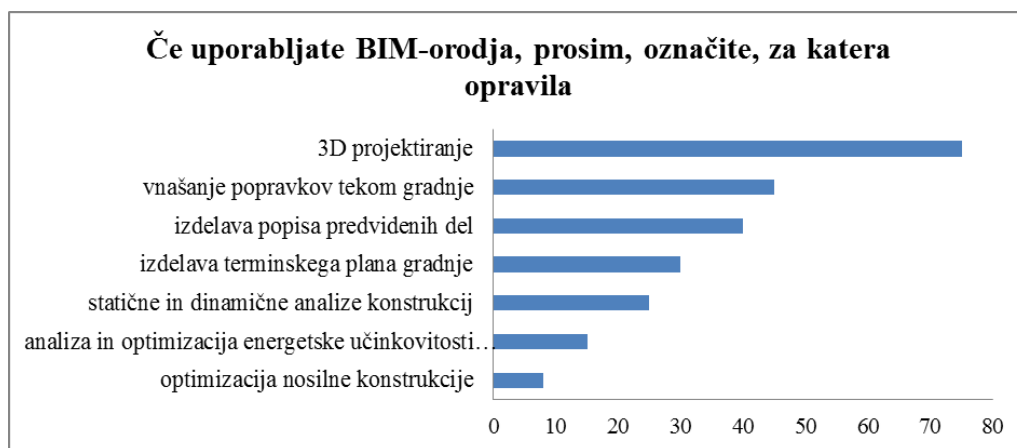
Grafikon 2-12: Kritične stopnje GDCPP, razporeditev po dejavnostih

Graph 2-12: Critical GDCPP phase distribution by profession

2.4.2.2 Poznavanje in uporaba BIM

Zadnji sklop raziskave je bil namenjen ponovni evalvaciji poznavanja in razumevanja načina gradnje, podprtega s tehnologijo BIM. Glede na to, da je bila ta raziskava opravljena le leto po prvi (opisana je v poglavju 2.4.1), nismo pričakovali velikih sprememb. Rezultati so primerljivi v vseh pogledih. Uporaba se ni spremenila: pri tej raziskavi je 37 %, v prvi je bila uporaba 38 %. Primerjati je potrebno Grafikon 2-2 in Grafikon 2-13.

Rezultati so primerljivi tudi v opravilih, zakaj se BIM uporablja. Še vedno prevladuje 3D- projektiranje s 75 %, v prvi raziskavi 73 %. Ker je odstotek uporabe BIM v praksi relativno nizek, smo želeli izvedeti glavni razlog (Grafikon 2-13). Anketiranci so lahko označili več odgovorov, zato vsota presega 100 %.

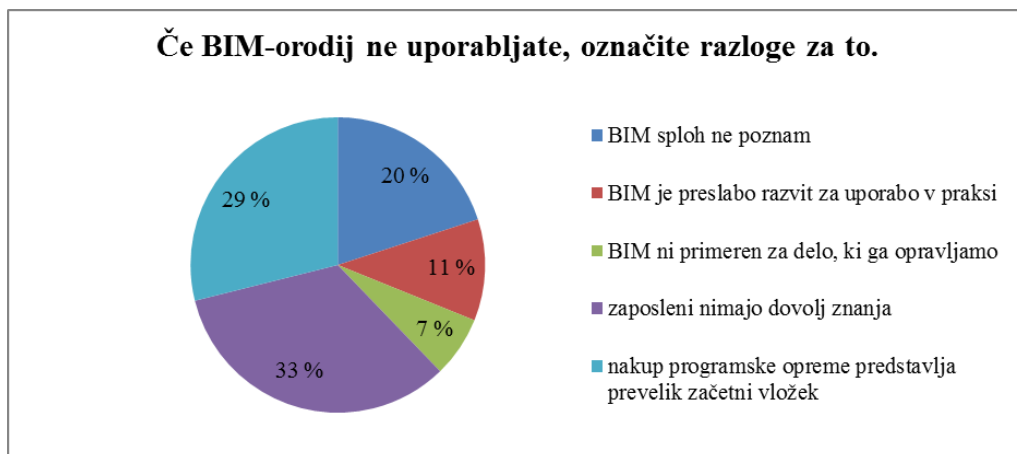


Grafikon 2-13: Opravila, pri katerih se uporablja BIM (2012)

Graph 2-13: Tasks in which recourse BIM (2012)

Med komercialnimi BIM-orodji še vedno prevladujejo trije Autodesk Revit 49 %, Graphisoft ArchiCAD 53 %, Nemetschek Allplan 15 %. Pri tem vprašanju so anketiranci lahko označili več odgovorov, zato vsota presega 100 %.

Tudi razlogi za neuporabo BIM se v enem letu niso bistveno spremenili. Primerjava grafov Grafikon 2-3 in Grafikon 2-14. Poglavitna razloga ostajata, prevelik začetni vložek in neznanje zaposlenih.



Grafikon 2-14: Razlogi za neuporabo BIM

Graph 2-14: The reasons for non-use of BIM

V tej raziskavi smo želeli izvedeti tudi, ali poznajo format zapisa IFC (*angl. »Industry Foundation Classes« - IFC*) in kakšno je njihovo mnenje o IFC. Iz odgovorov je razvidno, da več kot polovica anketirancev ne pozna IFC, mnenja med tistimi, ki ga poznajo, pa so deljena od zelo pozitivnih do negativnih. Poznavanje IFC smo primerjali s podatkom o uporabi BIM.

Med komentarji ankete pa je mogoče izpostaviti enega, ki se neposredno nanaša na IFC:

»IFC je kot standard za dokumentacijo objekta dober, nikakor pa ne kot standard za izmenjavo podatkov med različnimi aplikacijami, saj različni ponudniki programske opreme za projektiranje nimajo in nikoli ne bodo imeli interesa deliti svojega celotnega modela z ostalimi ponudniki.«

S trditvijo se načeloma strinjamo če jo postavimo v kontekst odprtega BIM (*angl. »Open BIM«*), ki je predstavljen v poglavju 3.5.2.2.

2.5 Primerjava z drugimi raziskavami

Pretekle raziskave, povezane z IKT v slovenskem gradbenem sektorju, so bile predvsem posvečene ugotavljanju, ali imamo v Sloveniji zadostno tehnološko infrastrukturo (Pazlar et al., 2004) (Klinc, 2010). Namen naših raziskav pa je bil predvsem ugotoviti, zakaj, kje in na kakšen način bi lahko bolje izkoristili prednosti, ki jih prinaša BIM.

Pazlar izpostavlja slabo ozaveščenost in uporabo informacijsko komunikacijskih tehnologij. Leta 2004 je 41 % anketirancev digitalizacijo označilo pozitivno. Ozaveščenost se je do leta 2012 bistveno izboljšala, odstotek anketirancev, ki IKT označujejo pozitivno, se je povzpela na 86 %. Način izmenjave

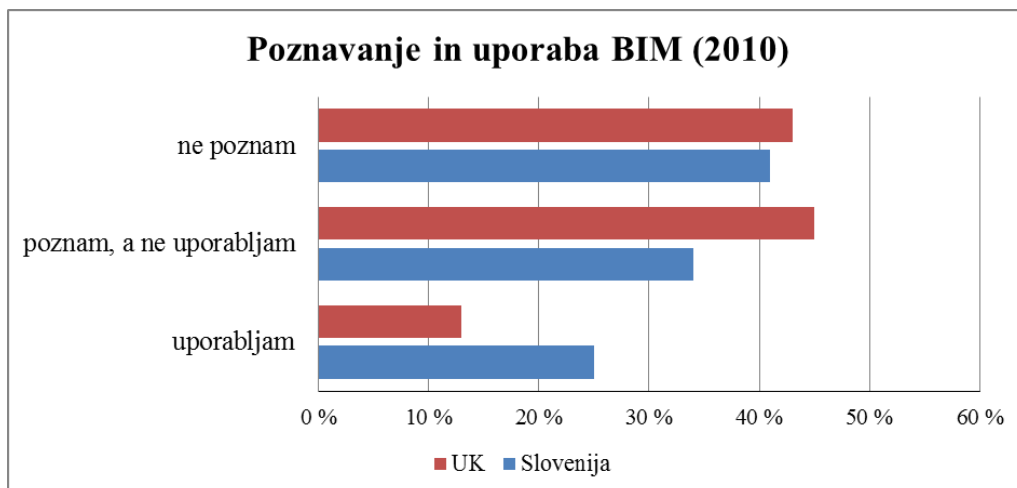
informacij se v zadnjih desetih letih ni bistveno spremenil. Že leta 2004 so anketiranci elektronsko pošto postavili na prvo mesto kot orodje za izmenjavo informacij. Klinc trdi, da slovenski gradbeni sektor po uporabi informacijsko-komunikacijskih tehnologij ne zaostaja za sektorjem v tujini. Pri tem se sklicuje na primerjavo rezultatov svoje ankete z raziskavo o uporabi IKT v Singapurju in raziskavo IT – Barometra na Danskem. Klinc ugotavlja, da naj bi slovenski gradbeni sektor presegal singapurskega tako po številu podjetij, ki imajo vzpostavljeno lokalno omrežje, kot tudi po deležu anketirancev s prenosnim računalnikom in dostopom do spleta ter po uporabi orodij za urejanje dokumentov in preglednic (Klinc, 2010).

Vpliv sodobnih informacijskih tehnologij na pretok informacij v gradbenem procesu so preučevali številni tuji avtorji. Prva raziskava, ki jo bomo omenili na tem mestu, se nanaša na identifikacijo prednosti uporabe informacijskih tehnologij v malezijskem gradbenem sektorju (Kareem & Bakar, 2011). Izsledki te raziskave kažejo, da se anketiranci zavedajo potencialnih koristi IT, problem pa je, ker učinek ob uvedbi pogosto ni takojšen. Pozitivne lastnosti se začnejo kazati šele na dolgi rok.

Bröchner skuša pojasniti razloge za spremembe in spremembe prakse ob uvedbi novih tehnologij. Izpostavljata dva glavna dejavnika, na katera lahko naletimo ob uvajanju sodobnih tehnologij: (1) pomanjkanje razumevanja osnovnih dejavnosti posameznih udeležencev in (2) slabo tehnično znanje (Bröchner & Badenfelt, 2011).

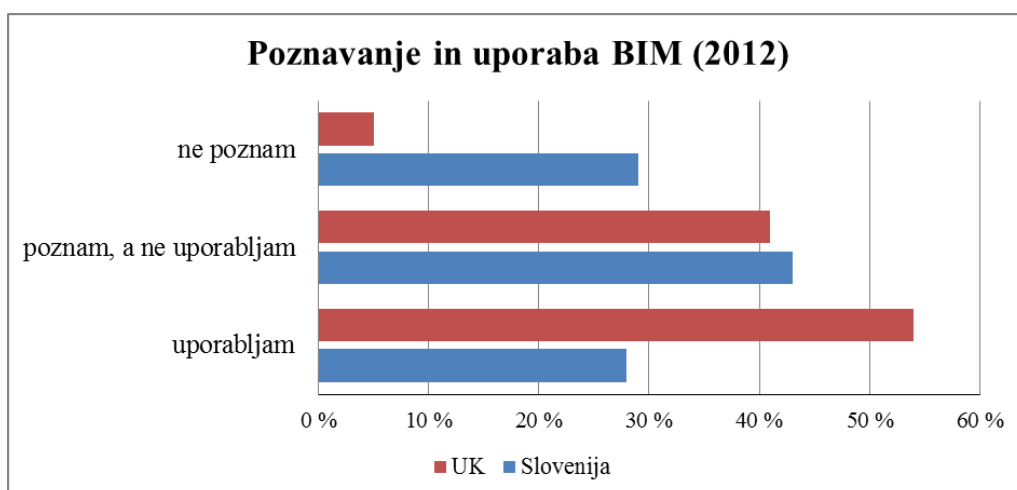
Težave, ki izhajajo iz uporabe ozko specializirane programske opreme v gradbeništvu, inženirstvu in arhitekturi je preiskoval Şenyapılı (Şenyapılı & Gökçen Bozdağ, 2012). S fragmentacijo programske opreme se je eksponentno povečala količina informacij, ki jih je potrebno uskladiti. Glavna ugotovitev te raziskave je, da je mogoče z BIM-orodji optimizirati le posamezne dejavnosti delovnega procesa, ne pa celovite obravnave gradnje v digitalni obliki, od začetne ideje do predaje objekta.

Naše podatke o poznavanju in uporabi BIM smo primerjali z rezultati poročila o uporabi BIM v Združenem kraljestvu (*angl. »UK National BIM Report 2013«* – UK – NBR) (Malleon, 2014). Rezultat je prikazan na grafikonih (Grafikon 2-15, Grafikon 2-16). Primerjava je pokazala, da se uporaba BIM v Sloveniji ni bistveno spremenila. V UK pa beležijo eksponenten porast uporabe BIM. UK – NBR skokovit porast uporabe BIM pripisuje predvsem UK zakonu, ki predpisuje, da bodo morala biti vsa javna naročila po letu 2016 načrtovana v obliki BIM (BCIS, 2011).



Grafikon 2-15: Zavedanje in uporaba BIM v letu 2010

Graph 2-15: Awareness and use of BIM: comparison 2010



Grafikon 2-16: Zavedanje in uporaba BIM v letu 2012

Graph 2-16: Awareness and use of BIM: comparison 2012

3 TEORETIČNE IN TEHNOLOŠKE OSNOVE

V tem poglavju je najprej obravnavan odnos med konceptom, simbolom in objektom v kontekstu gradbene informatike. Odnos med slednjima dvema je namreč tisto, kar lažje vzpostavljamo s pomočjo RR. Metodološko se naslanjamo na filozofske, psihološke, lingvistične in računalniške teorije. Razlog, zakaj je diskusija potrebna, relevantna in zanimiva, se skriva v odnosu med simbolnim in realnim svetom, ki je zgolj posredne narave. Predstavljeni so različni pogledi na odnos med realnim svetom in človekovim zavednim delovanjem, da bi olajšali prenos informacij iz resničnosti na simbolno raven in obratno.

S človekovim dojetjem stvarnosti se ukvarja kognitivna psihologija. Psihološki pogled na svet je predstavljen poglavju 3.1.2. Z odnosi med besedami in mentalnimi objekti, pravili sintakse in semantike se ukvarja lingvistika, ki je predstavljena v poglavju 3.1.3. Predstavljen je pojem konceptualnih grafov, ki se uporabljajo na področju umetne inteligence in s katerimi je mogoče razložiti razmerje med umom in stvarnostjo.

Pri povezavi med konceptom (idejo v mislih), simbolom (risbo, modelom) in objektom (na gradbišču) se je tudi v okviru gradbene informatike mogoče nasloniti na pomenski trikotnik, ki sta ga v začetku dvajsetega stoletja postavila Ogden in Richards (Ogden & Richards, 1989). Študija odnosa med konceptom, simbolom in objektom, ki je bila predstavljena leta 1920 v knjigi »Pomen pomena« (angl. »*The meaning of meaning*«), je povzeta v poglavju 3.2. V tem poglavju so predstavljene splošne in filozofske definicije ter aplikacija na realne primere iz gradbeništva. Proces modeliranja in gradnje sta definirana na podlagi pomenskega trikotnika in Heideggerjeve refleksijske zanke (Heidegger, 1962).

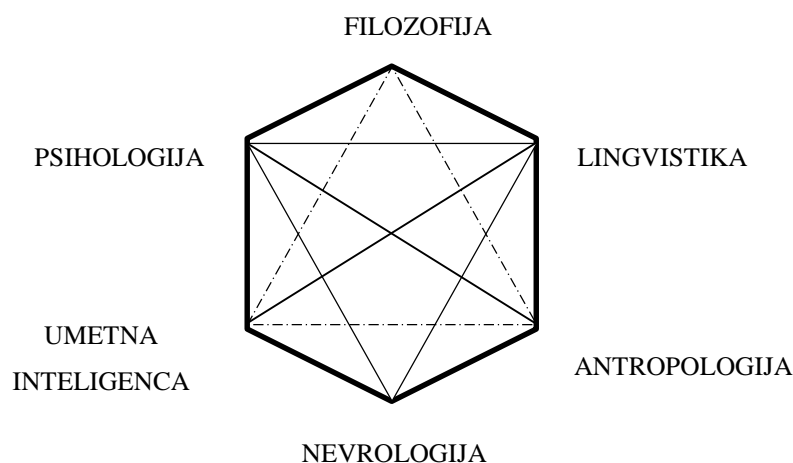
Iz zapisanega izhaja, da z izjemo robotike ni mogoče vzpostaviti avtomatične povezave med modelom in fizično resničnostjo, saj vsak človek simbolni svet projektne dokumentacije konstruira v koncepte in le-te skozi svoja dejanja v realnem okolju aplicira na stvarnost. Da bi bilo mogoče zmanjšati poljubnost konstrukcije razumevanja, je potrebno izdelati računalniško podprto okolje, ki vsebuje tako fizično resničnost kot informacije iz informacijskih modelov. Takšno okolje se imenuje razširjena resničnost.

V tem poglavju so torej postavljena teoretična izhodišča za uporabnost razširjene resničnosti. Predstavljen je razvoj strojne in programske opreme od pionirskih poizkusov šestdesetih let prejšnjega stoletja do najsodobnejših naprav, kot je npr. Google Glass. Zgodovinski pregled področij uporabe je ločen na tehnološko bolj razvita področja, kot sta npr. medicina in vojska, in na uporabo RR v grajenem okolju.

3.1 Odnosi med koncepti, simboli in objekti

Odnos med stvarnostjo in našim dojetjem le-te je eno od osnovnih vprašanj, s katerimi se filozofija ukvarja od svojega nastanka. Obstaja množica teorij, ki poskušajo pojasniti ta odnos in ki kombinirajo različne vede (Prevzeta slika 3-1) (Bermúdez, 2010).

- Filozofija (*angl. »Philosophy«*) je »veda, ki proučuje naravo sveta, njegov ustroj in položaj človeka v njem« (SSKJ, 2013). Odgovarja na vprašanja: Kakšen je odnos med znanjem, pomenom in mentalnimi modeli? Kako so ti modeli utemeljeni in kako jih je mogoče povezati s formalno logiko?
- Psihologija (*angl. »Psychology«*) je »veda, ki raziskuje človeško duševnost« (SSKJ, 2013). Odgovarja na vprašanja: Kako so modeli predstavljeni v možganih, kakšni so interakcijski mehanizmi dojetanja, pomnjenja in učenja ter kako ti mehanizmi vplivajo na naše obnašanje?
- Lingvistika (*angl. »Linguistics«*) je sopomenka jezikoslovja »veda o jeziku« (SSKJ, 2013). Odgovarja na vprašanja: Kakšni so odnosi med besedami, objekti in mentalnimi modeli? Kakšna so pravila sintakse in semantike, ki te objekte povezujejo v stavke?
- Umetna inteligenca (*angl. »Artificial intelligence«*) je »področje računalništva in informatike, ki se ukvarja z razumevanjem inteligentnega obnašanja in ustvarjanjem inteligentnih naprav ter inteligentne programske opreme« (STSI, 2012).
- Antropologija (*angl. »Anthropology«*) je »veda o človeku kot členu narave« (SSKJ, 2013).
- Nevrologija (*angl. »Neurology«*) je »veda o živčnem sistemu, živčnih boleznih in o njihovem zdravljenju« (SSKJ, 2013).



Prevzeta slika 3-1 Interdisciplinarnost (Bermúdez, 2010)

Adopted figure 3-1: Interdisciplinary (Bermúdez, 2010)

3.1.1 Filozofski pogled

V sodobni filozofiji ni enotnega mnenja o odnosu med realnimi objekti in simboli, ki jih uporabljamo za njihov opis, ter koncepti, na katere se nanašajo. Predvsem v dvajsetem stoletju so se filozofi pričeli ukvarjati z vprašanjem resničnega objekta tako z odnosom do koncepta (miselne predstave) kot v odnosu do simbola.

3.1.1.1 Metafizika

Metafizika po mnenju nekaterih velja za osnovno in najpomembnejšo filozofsko disciplino. Lahko je celo sinonim filozofije v celoti. Metafizika ima korenine v antiki. Nastala je, ko se je naravoslovje razvejalo v fiziko, to je v raziskovanje pojavov, ki jih je možno meriti, in v metafiziko, to je v razlaganje tistega dela vesolja, ki ga ni možno neposredno izmeriti. Metafizika skuša logično pojasniti tista dogajanja v vesolju, ki jih ni možno videti in meriti, ki na dogajanja v naravi vplivajo iz ozadja. Metafizika se je in se pojavlja ter razvija v vseh obdobjih; od antike preko srednjega veka do sodobne filozofije (Rozman, 2002). Metafizika je veja filozofije, ki poskuša sestaviti splošni spekulativni pogled na svet: popolno in sistematično pojasniti vse realnosti in vsa izkustva; običajno vključuje epistemologijo, ontologijo, etiko in estetiko (Palmer, 2002).

3.1.1.2 Ontologija

Ontologija je v filozofskem smislu »teorija biti«. Veja filozofije, ki se ukvarja z vprašanji: Kaj obstaja? Kakšna je razlika med videzom in realnostjo? Kakšen je odnos med duhom in telesom? Ali števila in koncepti zares obstajajo ali pa zares obstajajo le fizični objekti?« (Palmer 2002) Ontologija je eksplicitna specializacija konceptov (Gruber, 1995). V filozofiji je ontologija veda, ki se ukvarja z vprašanji obstoja. V sistemih umetne inteligence se vprašanje »kaj obstaja« nanaša na to, kaj je mogoče predstaviti. Ko je znanje o domeni predstavljeno z deklarativnim formalizmom, predstavlja množica objektov kot celoto diskurza. Tako lahko v kontekstu sistemov umetne inteligence ontologijo opredelimo kot množico imen entitet, s katerimi operirajo programi in ki so prav tako razumljivi ljudem (Gruber, 1992).

3.1.1.3 Fenomenologija

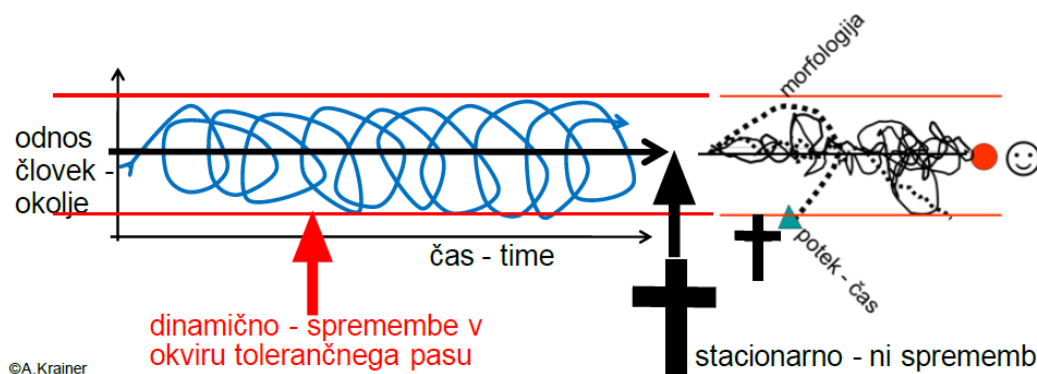
Fenomenologija je v filozofskem smislu študija o razvoju človekove zavesti in njegovega samozavedanja. Filozofsko gibanje opisuje formalno strukturo objektov o zavedanju, brez abstrakcije kakršnekoli trditve o obstoju. »Fenomenalizem je radikalna oblika empirizma. Kot spoznavnoteoretska

teorija trdi, da je treba vso vednost zgraditi iz čutnih podatkov. Kot ontološka teorija pa, da obstajajo samo čutni podatki.« (Palmer, 2002)

3.1.1.4 Hermenevtika

Fenomenologija in hermenevtika sta sestavni del interpretativne epistemologije. Njun primarni namen je razložiti koncept razumevanja povezan z človekovimi izkušnjami in dejani. Fenomenologija se ukvarja predvsem s preučevanjem pojavov, po drugi strani pa hermenevtika poskuša razložiti človekovo zavedno delovanje, in razumevanje sveta (Sokolowski, 2000).

Eden izmed utemeljiteljev sodobne hermenevtike je bil Martin Heidegger s svojim delom *Biti in čas* (nem. »*Sein und Zeit*«) (Heidegger, 1962). Heidegger trdi, da je človek bitje vrženo v svet, je v stalnem praktičnem odnosu do okolja in nima fiksnega biti. Se kontinuirano re-definira, odvisno od možnosti s katerimi projicira lastno prihodnost, interaktivno usmerja in razume vsakodnevene povezave s svetom. Heidegger pri strategiji svoje razlage uporablja »biti tu – Dasein«, kot izhodišče, fenomen osnovnih referenc človekovega obstoja v prihodnosti. To razdeli v dva dela (1) premik v prihodnost in (2) vračilo v sedanjost, odprtost v svet določen s preteklostjo (Sandbothe M., 2003, cit. po Krainer A., 2012).



Prevzeta slika 3-2: Hermenevtični krog (Sandbothe M., 2003, cit. po Krainer A., 2012)

Adopted figure 3-2: Hermeneutic circle (Sandbothe M., 2003, cit. po Krainer A., 2012)

Ciklično re-definiranje pojmuje kot hermenevtični krog, v katerem je v danem trenutku pojmovanje sveta kot celote strukturirano iz preteklih izkušenj, trenutnega stanja (delov sveta) in pred struktur predvidene prihodnosti (Palmer, 2002) (Fry, 2012). Če s Heideggerjevimi besedami še enkrat povemo isto: »ontološka eksplikacija biti ima za podlago neko pred-ontološko razmerje, ki že vlada med človekom in biti, namreč to, da je človek že vedno v razumevajočem odnosu do svoje biti, ta je lastna človeku kot generičnemu bitju, zaradi tega se lahko eksplicira v vprašanje po biti, kar je človekov biti

tu« (Heidegger, 1962), oziroma človek se mora s ponovno vzpostavitvijo vprašanja o smislu biti prevzeti kot biti tu (kar pa pred-ontološko že vedno je), potem se bo razsvetlila njegova tendenca k biti in bo (morda) začel živeti v vselej popolnosti svoje biti (Vele, 2006).

Pomen in beseda sta pri Heideggerju v Biti in času v prav posebnem razmerju: besede same nimajo pomenov, ampak se na pomene nekako priraščajo. Beseda je samo pokazatelj nečesa globljega – pomena. Tako je tudi jezik kot besedna celotnost le zunanji izraz, izrečenost govora. Torej je govor temelj jezika in ne obratno (Palmer, 2002).

3.1.2 Kognitivna psihologija

Glavna naloga kognitivne psihologije je razumevanje narave človekove inteligence in njeno delovanje (Anderson, 1995). Čeprav je okolje, ki nas obdaja, sestavljeno iz svetlobnih valov in zvokov, ga človek ne dojema na tak način. Ne vidimo svetlobnih valov, vidimo plakat. Ne slišimo zvočnih valov, slišimo glasbo.

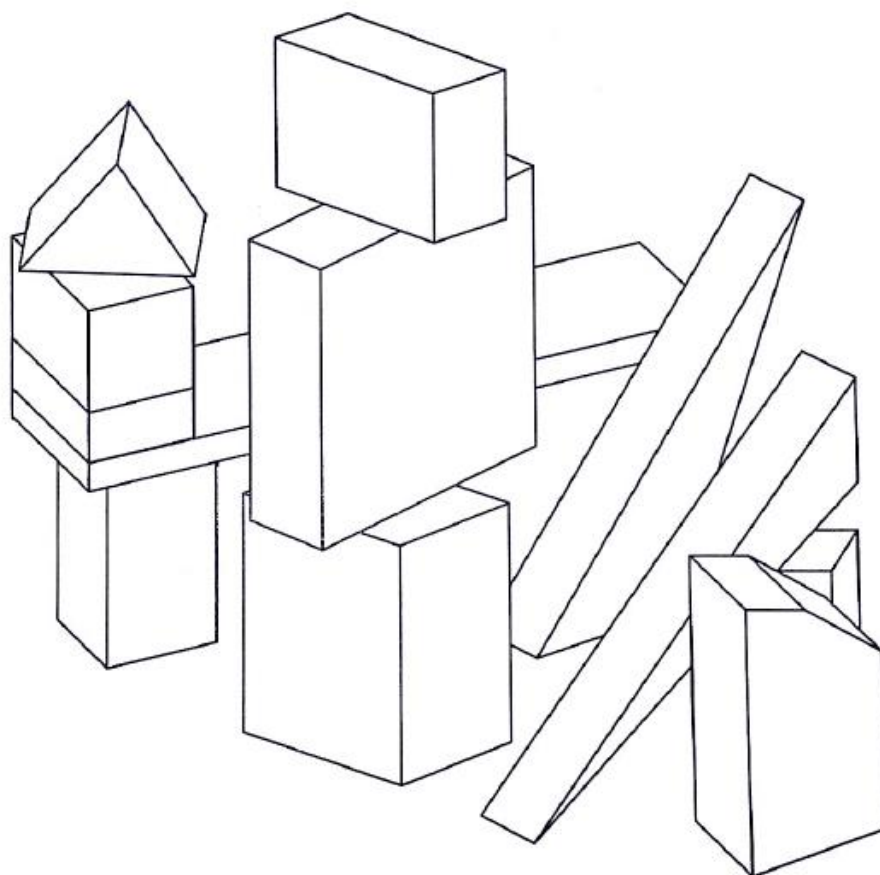
Zaznava nekega pojava je le prvi korak, potrebno je še nekaj več, da postanejo stvari smiselne (Cherry, 2010). Šele, ko stvari dobijo svoj pomen, se je mogoče nanje odzvati. Proces dojetja sprejete informacije obogati s plastmi interpretacije, ki v nadaljevanju služijo uspešnemu delovanju v prostoru. Lahko trdimo, da je vloga dojetja, dajanje pomena sprejetim informacijam. Proces dojetja izluščijo pomen ne konstantnih, pogosto celo kaotičnih vhodnih podatkih zunanjih virov energije.

Dojetje (*angl.* »Percept«) je nekaj, kar je bilo fenomenološko sprejeto ali izkušeno (Schacter et al., 2011). Končno dojetje ni ne fizični objekt niti ne slika fizičnega objekta na sprejemniku – čutilu, temveč psihični produkt procesa dojetja. Izraz dojetje v najširšem pomenu besede pomeni proces sprejemanja objektov in dogodkov zunanjega okolja. To so procesi zaznave, razumevanja, identifikacije, označevanja in priprave na odziv.

Dojetje je najlažje razumeti, če ga razdelimo na tri stopnje: zaznavo, organizacijo in identifikacijo / prepoznavo objekta. Zaznava se nanaša na pretvorbo fizične energije v možganom razumljive nevrološke signale. Zaznava zagotovi prve osnovne informacije o objektu. Druga stopnja – organizacija – osnovnim informacijam doda delovni opis zunanjega okolja. Tukaj objekti dobijo svojo velikost, orientacijo, težo in ostale fizične lastnosti. V tretji stopnji objekti dobijo svoj globlji pomen. Šele na tem mesu stene postanejo stene in okna postanejo okna (Levit, 2002).

3.1.2.1 Objektno orientirano zaznavanje

Glavni problem objektno orientirane zaznave sveta je razčlenjenost okolja. Vedenje o položaju črt v prostoru ne zadostuje razčlenitvi prostora v objekte. Potrebno je povezati črte, ki tvorijo objekt. To je lepo vidno s slike (Prezeta slika 3-3) (Windston, 1970); če dobro pogledamo, je na sliki le množica črt. Vseeno pa jih ljudje nekako uspemo sestaviti v smiselno celoto, ki jo v končni fazi dojamemo kot skupek tridimenzionalnih objektov. Ljudje težimo k organizaciji objektov z nizom načel. Ta načela imenujemo Gestalt³ načela organizacije (Wertheimer, 1912).



Prezeta slika 3-3: Sestavljanje tridimenzionalnih objektov (Windston, 1970)

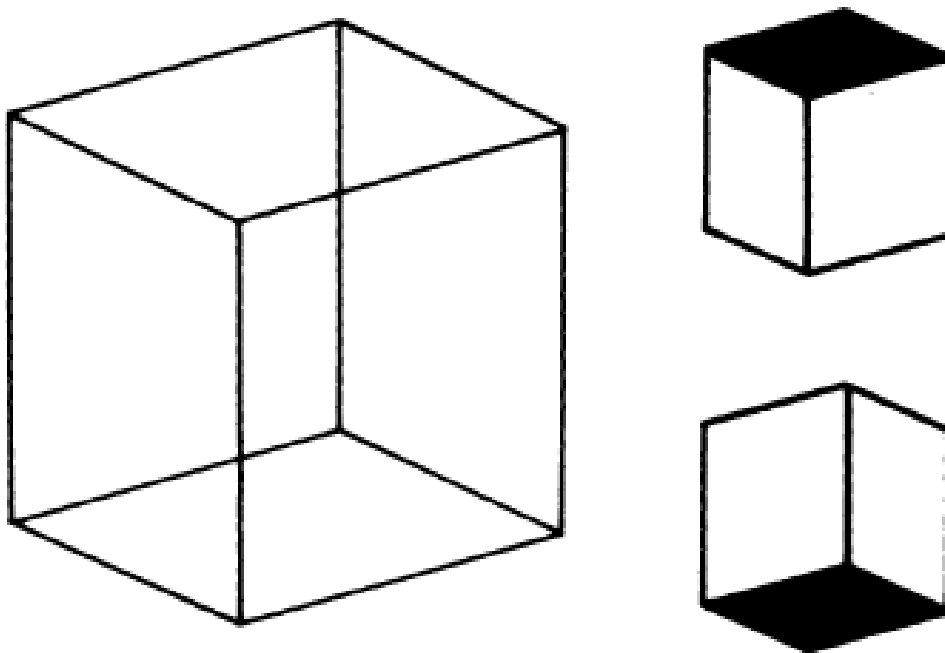
Adopted figure 3-3: Aggregation of 3D objects (Windston, 1970)

Skladno z Gestalt oblikovno teorijo ljudje svet dojemamo kot celotno enoto. Po tej teoriji objekt nikoli ni osamljen. Če pogledamo okoli sebe, ni osamljenega objekta, vendar se naša misel vedno osredotoči le na eno samo enoto (Banerjee, 1994). Poglavitni raziskovalci gestalt teorije razumevanja, Kurt Koffka,

³ Gestalt – bistvo ali oblika entitete in njene kompletne forme

Wolfgang Köhler in Max Wertheimer, trdijo da je mogoče materijo razumeti, ko pogled strukturiramo v celoto in ne ko ga razčlenimo v podelemente. Gestalt psihologija izpodbija atomistične stališča psihologije s trditvijo, da je celotna več kot le vsota njenih delov (Zimbardo & Gerrig, 2002).

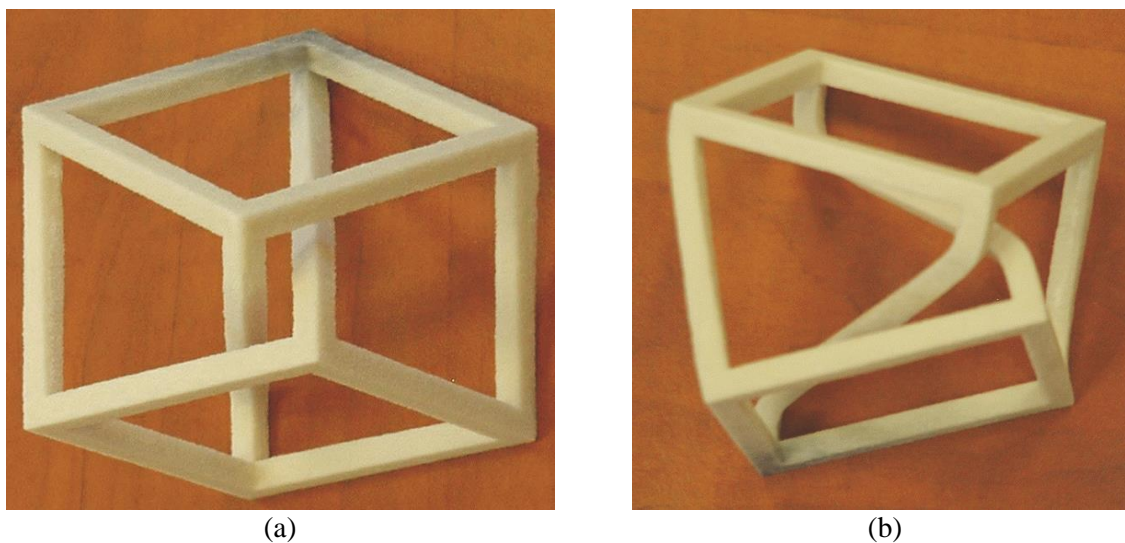
Primer objekta, pri katerem imajo človeški možgani težave z dojetjem, je viden na sliki (Prezeta slika 3-4). Problem pa ni le v človekovem tridimenzionalnem dojetanju, večje težave nastopijo, ko želimo takšne objekte prenesti v fizično resničnost.



Prezeta slika 3-4: Kocka Escher (Elber, 2002)

Adopted figure 3-4: Escher's (Elber, 2002)

Iz slike je razvidno, da je v 2D-prostoru mogoče ustvariti objekte, ki jih je mogoče prenesti v fizično resničnost, vendar le pod pogojem, da nanje gledamo samo z ene perspektive. Če kocko z zgornje slike natisnemo s 3D-tiskalnikom in pogledamo s prave perspektive, vidimo »pravilno« (Prezeta slika 3-5 a), če pa le-tega obrnemo, dobimo popačen objekt (Prezeta slika 3-3 b) (Elber, 2002).



Prevzeta slika 3-5: 3D-tisk Escherjeve kocke (Elber, 2002)

Adopted figure 3-5: 3D print of Escher's cube (Elber, 2002)

3.1.2.2 Vizualno razpoznavanje vzorcev

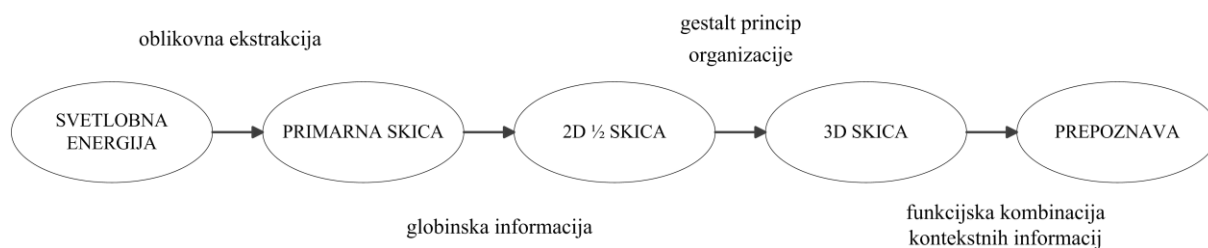
Vizualna razpoznavna vzorcev je mogoča s teorijo primerjalne analize, funkcionalne analize in objektne prepoznavne. Najbrž je najbolj očitna teorija dojemanja primerjalna analiza s podlogo ujemajočih se modelov (*angl.* »*Template - matching models*«). Po tej teoriji se retina⁴ slika objekta prenese v možgane, ti pa poskušajo poiskati že poznane primerjalne podloge .

Predstavljeno teorijo je mogoče nadgraditi s funkcionalno analizo (Kosslyn, 1994). Pri tem modelu so dražljaji mišljeni kot kombinacije vzorcev. To je mogoče ponazoriti s preprostim primerom črke »A«. Ta je v principu sestavljena iz treh črt / \ -, za njeno dojetje pa je potrebno vedeti še pravilo, kako so te črte sestavljene v celoto. Za dojetje črt pa še vedno potrebujemo podloge, ki smo jih predstavili v prvi teoriji. Glavna prednost teorije podlog je zmanjšanje potrebnega znanja o zunanjem svetu za uspešno zaznavanje. Če črko A definiramo kot skupek črt / in \, ki sta na vrhu sklenjeni pod kotom približno 30°, in črte – ki je nekje na sredini, in zanemarimo vse ostale detajle, bodo naši možgani kot A razpoznali tudi vzorce: **A**, *A*, **A**, **A**. Predstavljeno teoriji se bolj ali manj ujemata z lingvističnim pogledom dojemanja sveta in njunimi konceptualnimi modeli, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju (Posner, 1994). Zaznavanje objektov je mogoče razložiti tudi s teorijo prepoznavanja komponent (*angl.* »*Recognition by Components Theory*«). Biderman je leta 1987 predstavil tristopenjsko teorijo dojemanja (Biderman, 1988):

⁴Notranja, za svetlobo občutljiva plast zrkla; mrežnica

1. Objekt je razčlenjen v množico pod objektov.
2. Oseba zazna pod objekte.
3. Pod objekti v povezavi s konfiguracijo, pravili tvorijo objekt, ki ga oseba dojame – prepozna.

Prezeta slika 3-6: Tok informacij med realnim okoljem in našim dojetjem (Marr, 1982), poskuša predstaviti kot celoten tok dojetja in procesiranja vizualnih informacij na podlagi teorije objektno orientiranega zaznavanja, funkcionalne analize in predstavitve objektov. Dojetje se prične s svetlobno energijo zunanjega okolja. Receptorji na očesni mrežnici transformirajo energijo v nevrološke signale. Začetno procesiranje zadeva osnovno ekstrakcijo informacij. V naslednji stopnji so lastnosti združene z globinskimi informacijami, s čemer pridobimo lokacijo površin v prostoru. Marr to označuje z 2 ½ D-skico. Ti principi organizacije so uporabljeni za transformacijo elementov v 3D-objekte. V zadnjem koraku se združijo 3D-elementi s kontekstnimi informacijami. Izhodni podatek tega koraka je naše dojetje objektov stvarnosti. Te informacije so nadalje uporabljene pri zahtevnejših kognitivnih procesih (Marr, 1982).



Prezeta slika 3-6: Tok informacij med realnim okoljem in našim dojetjem (Marr, 1982)

Adopted figure 3-6: The flow of information from the environment to its perception (Marr, 1982)

3.1.3 Lingvistika

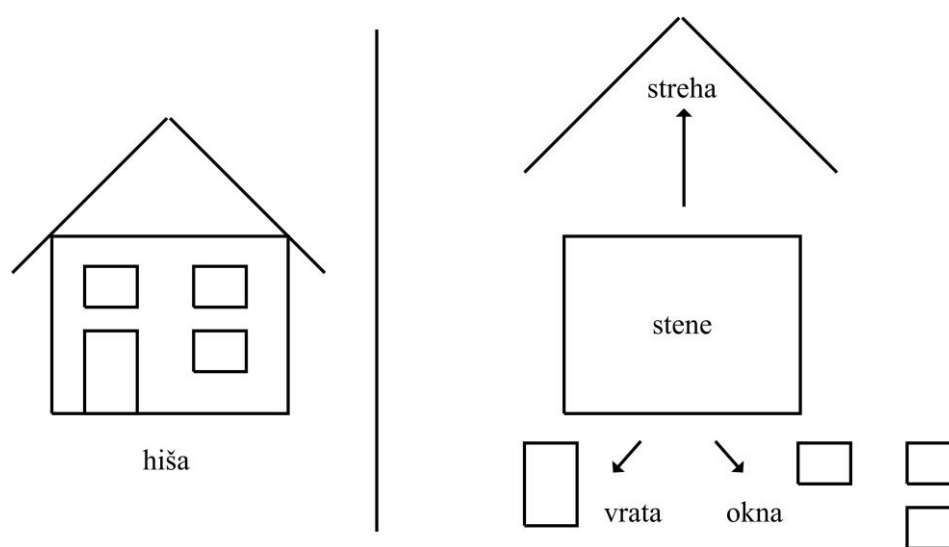
Lingvistika je disciplina, ki se primarno ukvarja s preučevanjem jezika⁵. Lingvistiko razdelimo na več pod nivojev, vsak izmed njih predstavlja svoj vidik v procesu komunikacije. Semantika je veda o pomenu samem. Semantiko je mogoče definirati tudi kot sredstvo za pripravo pomena besed, s katerimi se ukvarja lingvistika. Pragmatika je veda o tem, kako je primaren pomen povezan s trenutnim kontekstom in poslušalčevim pričakovanjem. Sintaksa je študija o slovnici, s katero se postavijo pravila tvorbe stavkov (Radford et al., 2009). Semiotika pa preučuje vlogo znakov in simbolov kot fizične abstrakcije realnih objektov (Saussure, 1983).

⁵ Jezik je sredstvo komunikacije, je organiziran sistem s kompleksnimi nivoji in pravili.

Razvijalci sistemov umetne inteligence so potrebovali teorijo o tem, kako lahko poteka komunikacija med človekom in strojem. Na področju razvoja umetne inteligence so konceptualni grafi (*angl.* »*Conceptual graphs*«) splošno uporabljeni pri podpori komunikacije med človekom in strojem (Sowa, 1984).

3.1.3.1 Semantični podatkovni modeli

S semantičnimi podatkovnimi modeli želimo definirati pomen stvari, ki nas obdajajo. Za nadaljnjo obravnavo okolja človekovega delovanja v informacijskem smislu moramo elemente okolice definirati na način, ki je spremenljiv tako za ljudi kot za stroje – računalnike. Na sliki (Prezeta slika 3-7) je prikazan primer pojmovanja elementov hiše (PJM, 2008).



Prezeta slika 3-7: Semantični model elementov (PJM, 2008)

Adopted figure 3-7: Semantic model of elements (PJM, 2008)

3.1.3.2 Proces dojemljanja stvarnosti

Proces dojemljanja stvarnosti je mogoče razložiti s konceptualnimi grafi. Konceptualni grafi tvorijo jezik predstavitve znanja, ki temelji na lingvistiki, psihologiji in filozofiji. V grafih so vozlišča znanja, predstavljajo entitete, stopnje in dogodke.

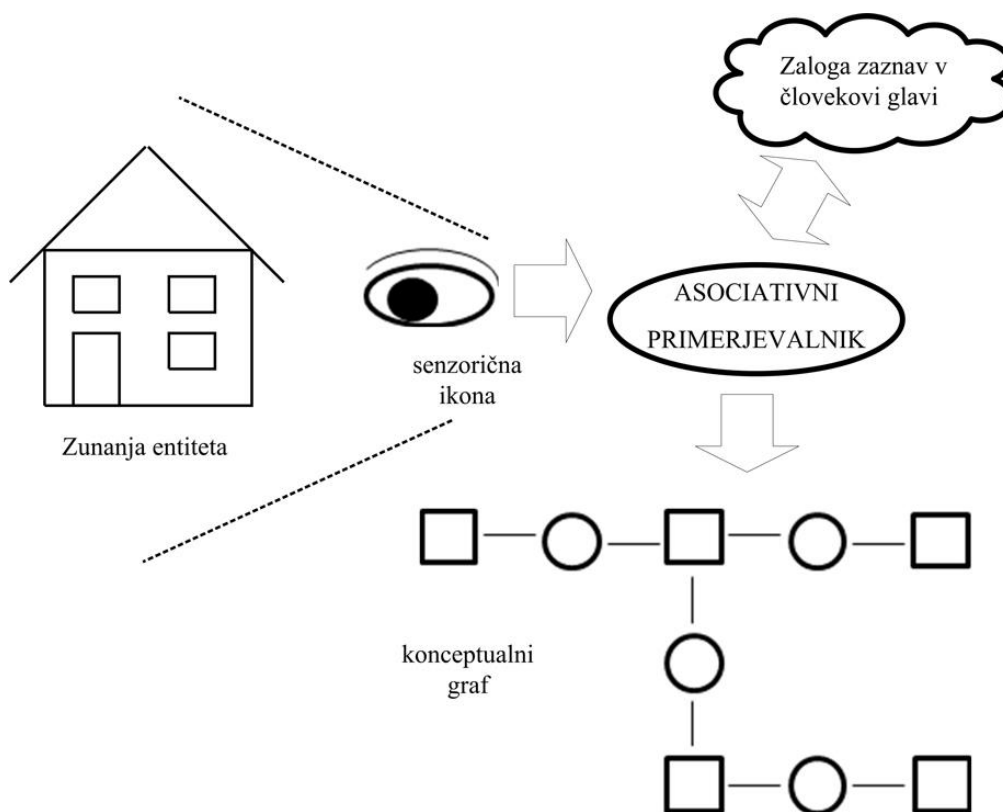
Dojemanje je proces izgradnje delujočega modela, ki predstavlja in interpretira senzorične vhodne podatke. Model je sestavljen iz dveh komponent: senzoričnega dela in zaznav. Vsaka izmed njiju se navezuje na element vhodnega podatka.

Druga komponenta je konceptualni graf, ki opisuje način, kako se zaznave sestavljajo v mozaik (Sowa, 1984). Dojemanje stvarnosti je sestavljeno iz sledečih mehanizmov:

- simulacija je zapis delčka sekunde v obliki senzorične ikone,
- asociacija, asociativni primerjalnik poišče podatek iz baze podatkov dolgotrajnega spomina, ki se ujema s senzorično ikono,
- sestavljanje, sestavljavce združi zaznave v delujoči model, ki predstavlja približek vhodnega podatka. Izhodni podatek sestavljavca se shrani v konceptualni graf.

3.1.3.3 Primer mehanizma zaznave stvarnosti

Ko oseba zagleda objekt, ta predstavlja simulacijo v obliki senzorične ikone. Asociativni primerjalnik poišče primerljive podatke iz zaloge dolgotrajnega spomina. Sestavljavce v nadaljevanju podatke združi v konceptualni graf. Pod pojmom konceptualni graf si lahko predstavljamo človekovo interpretacijo dane situacije (Prevzeta slika 3-8).



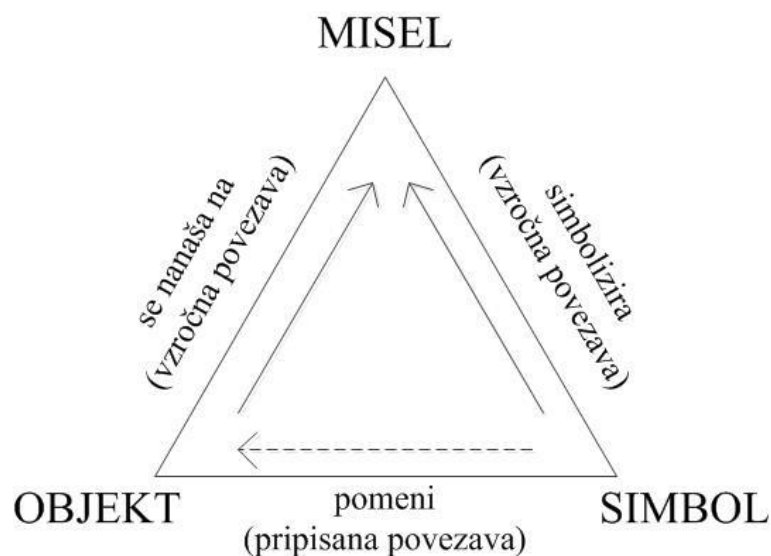
Prevzeta slika 3-8: Proces zaznavanja hiše s konceptualnimi grafi (Sowa, 1984)

Adopted figure 3-8: The process of perceiving house via conceptual graph (Sowa, 1984)

3.2 Pomenski trikotnik

Že Aristotel je zapisal sledečo hipotezo:

Izgovorjene besede so simboli izkušenj v psyche⁶. Zapisane besede so simboli izgovorjenih besed. Tako govor kot pisanje nista enaka za vse ljudi. Toda izkušnje ob relevantnem simbolu in upodobitve dotičnega objekta so. (Chakrayartty, 2007).



Prevzeta slika 3-9: Pomenski trikotnik (Ogden & Richards, 1989)

Adopted figure 3-9: Meaning triangle (Ogden & Richards, 1989)

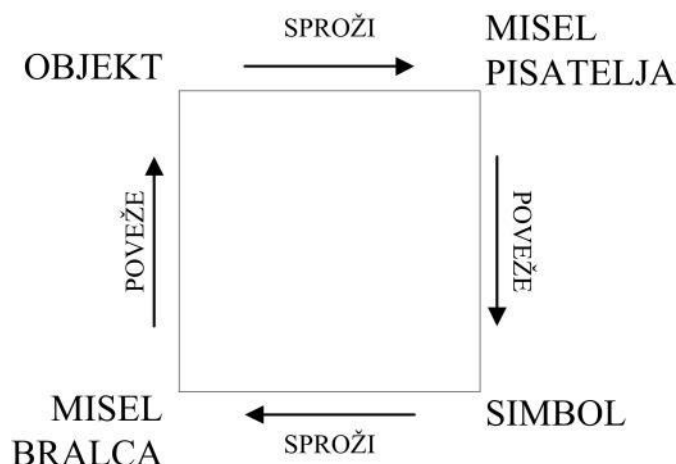
Pomenski trikotnik (*angl. »The meaning triangle«*) je model, s katerim je mogoče pojasniti odnose med koncepti, simboli in objekti. Trikotnik sta v svojem prelomnem delu »The meaning of meaning« predstavila Ogden in Richards (Ogden & Richards, 1989).

V smislu komunikacije je odnose med oglišči trikotnika mogoče natančneje razložiti s sledečim postopkom:

1. Objekt sproži misel osebe / pisatelja.
2. Oseba / pisatelj poveže misel s simbolom.
3. Simbol sproži misel osebe / bralca.

⁶ V psihologiji pojem *psyche* predstavlja celoto človeškega mišljenja tako zavednega kot nezavednega.

4. Oseba/ bralec poveže simbol z objektom.



Prevezeta slika 3-10: Sporočilna zanka (Ogden & Richards, 1989)

Adopted figure 3-10: Communication loop (Ogden & Richards, 1989)

Relaciji med objektom in konceptom ter konceptom in simbolom je mogoče ponazoriti tudi s primerom. V enem izmed oglišč imamo objekt. Koncept lahko ponazorimo z mislijo v človekovi glavi, ki se nanaša na prej omenjeni objekt. Simbol pa je vizualni oziroma zvočni signal, ki simbolizira misel o objektu. Iz predstavljenega primera je razvidno, da je mogoče relaciji koncept – objekt ter koncept – simbol neposredno definirati. Relacija med simbolom in objektom je nekoliko bolj zapletena, saj med njima ni mogoče vzpostaviti neposredne povezave. To pa je tudi razlog, zakaj je ta povezava toliko bolj zanimiva.

Če gradnjo razumemo kot tok informacij od simbola (torej načrtov in druge dokumentacije) do objekta (zgrajene zgradbe), in, kot vidimo, je povezava le posredna, je to mogoče le s procesom v človekovi glavi, s človekovo interpretacijo (Turk, 2001).

3.2.1 Objekt

Latinski izraz »ob-iectum« pomeni nekaj, kar smo se odločili postaviti predse. Na sliki smo se odločili postaviti predse dele hiše (streho, stene itd.) in tako so ti deli postali objekti. Na enak način bi lahko objekt predstavili na primeru črke A. »Objekt je nekaj materialnega, kar je mogoče zaznati s čutili, kar ob pogledu sproži emocijo. Prav tako si lahko pod pojmom objekt predstavljamo nekaj mentalnega oziroma fizičnega, kar je moč občutiti oziroma o čemer je mogoče preusmeriti tok misli« (MWD, 2013).

V gradbeništvu pa z objektom označujemo nekaj fizičnega, kar je zgrajeno, narejeno za zadovoljevanje določenih potreb, opravljanje določene dejavnosti. Objekte je mogoče graditi, obnavljati in vzdrževati. Reprezentativni primeri objektov so cestišča, jezovi in stavbe.

Kaj obstaja oziroma kaj je?

Ljudje za svoje intelektualno delovanje ne potrebujejo vedenja o tem, kaj dejansko je. V antični dobi na primer niso znali izračunati statičnih modelov zgradb, pa so bili vseeno sposobni izvesti izjemno kompleksne projekte. Tudi ljudje lahko, četudi ne poznajo dinamičnega modela gibanja kladiva, vseeno zabijejo žebelj. Povedano z drugimi besedami: ljudje živijo in delujejo v svetu, ki ga praviloma ne razbijejo na objekte z lastnostmi. Tukaj pridemo do vprašanja, kako objekti postanejo objekti. Kdaj začnemo skupino primarnih delcev materije – atomov dojemati kot objekt? Kdaj si ga »postavimo predse«. Ali ta stvar dejansko je ali je to le naš konstrukt (Turk, 2001). Platon v svoji metafiziki trdi, da stvari obstajajo tudi, če niso prisotne, s tem razloči prisotnost in obstoj. Tako po Platonovem prepričanju tema obstaja, in sicer v obliki neobstoja luči (Russel, 1991).

Obstoj stvari lahko preslikamo na odnos med gradbenikom oziroma inženirjem in arhitektom v smislu zaprtih prostorov. Za gradbenika ostajajo stene, stebri, plošče idr., kar dejansko je. Po drugi strani pa arhitekti trdijo, da obstajajo tudi praznine v obliki prostorov. Tako obstajata tudi kuhinja in kopalnica in zato ju je potrebno posebej predstaviti. Pojma kuhinja in kopalnica v fizični obliki ne obstajata, lahko pa si ju zamislimo in tako so v skladu s klasično teorijo metafizike zadovoljeni pogoji njunega obstoja (Turk, 2001).

3.2.2 Simbol

Simbol je mogoče v najbolj splošnem pomenu definirati kot objekt, sliko, zapisano besedo, določeno oznako, ki predstavlja nekaj, s čemer lahko predstavimo idejo. Simbol se v danem kontekstu razkriva kot nosilec globlje vsebine, z njim je mogoče predstaviti tako realne kot abstraktne pojme (MWD, 2013).

Globlji filozofski pogled na simbol poraja razmišljanje, da simbol v bistvu ni sredstvo za prenos informacij o realnem okolju s pomočjo simboličnih predstavitev objektov iz realnega sveta. Simbol je le sredstvo, s katerim dobimo sogovornikov odziv na govornikovo sporočilo (Rozman, 2002).

Simbol lahko v kontekstu gradbene informatike povežemo z modelom. Termin model ima več pomenov. Med drugim lahko z njim označimo predmet, izdelan za ponazoritev, prikaz načrtovanega ali obstoječega predmeta, predmet, po lastnostih, značilnostih podoben raziskovanemu predmetu in narejen po določenih pravilih (SSKJ, 2013). Lahko je miniaturna predstavitev nečesa, uporabljena analogija

oziroma opis vizualizacije, primer simulacije informacije. V gradbeništvu so termin model v začetku povezovali s strukturnimi in mehanskimi modeli, ki so omogočali simulacije vnaprej predvidenih dogodkov (Eastman, 1999).

Modeli se ne uporabljajo zgolj za predstavitev fizičnih in abstraktnih entitet, z namenom ustvarjanja slik in pogledov, temveč želijo splošno predstaviti njihove lastnosti, obnašanje in ravnanje. Modeli se uporabljajo v fiziki, sociologiji, matematiki in inženirstvu. Omogočajo simulacijo, testiranje in predvidevanje o ravnanju zmodeliranih entitet – modelov, z namenom razumevanja vizualizacije, eksperimentiranja in učenja. Modeli lahko pripomorejo k razumevanju kompleksnih sistemov z interaktivnimi komponentami in omogočajo diskusijo o efektih, ki nastanejo s spreminjanjem vhodnih parametrov (Foley, 1984).

3.2.3 Misel oziroma koncept

Veji filozofije, ki se ukvarjata z odnosi med zavednim in fizičnim svetom, sta hermenevtika in fenomenologija. Bolj podrobno bo ta tematika obravnavana v poglavju 3.2.4. Njun razvoj je močno zaznamoval Heidegger. Opozarja na človekovo zmožnost predreflektivnega delovanja, ko je soočen z dano situacijo v vsakdanjem življenju (Heidegger, 1962).

3.2.4 Fenomenološki pristop samozavedanja – predreflektivnega delovanja

Po fenomenološkem mnenju je minimalna oblika samozavedi stalna strukturna značilnost zavestne izkušnje (Sokolowski, 2000). Izkušnja pa se dogodi na neposredni način in je kot del te neposrednosti implicitno označena kot izkušnja – reflektivno zavedanje. Svet torej dojemamo tudi takrat, ko se tega ne zavedamo, ko ga ne dojemamo kot množico objektov, o katerih logično sklepamo.

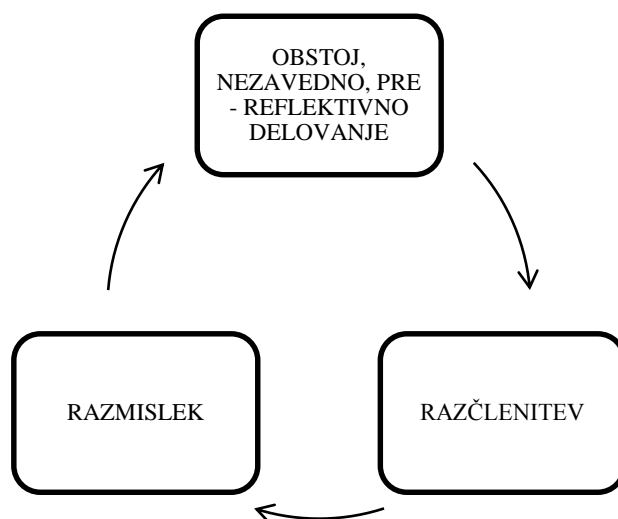
Če to ponazorimo s primerom štetja žeblice: v škatli imam občutek razkritja objektivnega dejstva, da je *v škatli deset žeblice*. Ta lastnost se v moji podzavesti odraža kot neizpodbitno dejstvo obstoja desetih objektov, ki obstajajo v svetu. Zelo verjetno se samega dejanja štetja v času početja niti ne zavedam, pa vseeno, ko ga zaključim, pridem do reflektivnega znanja, da je v škatli deset žeblice (Gallagher, 2008).

Po Heideggerjevem prepričanju za zabijanje žblja ne potrebujemo zavednega reflektivnega znanja o fizičnih lastnostih kladi in dinamike gibanja predmeta – kladi. Na podoben način lahko razložimo intuicijo oziroma čisto »zdravo pamet«, ki ju inženirji večkrat uporabijo pri vsakodnevnem kreativnem delovanju. Inženir lahko neuspešno rešuje kompleksen problem z uporabo poznanih postopkov. V nadaljevanju pa dobi idejo in problem reši intuitivno. Seveda jo mora znati racionalno utemeljiti, preveriti njeno varnost, izvedljivost ipd.

Heidegger ne trdi, da je človekovo delovanje le predreflektivno. Nasprotno, ko pride do težav, začne človek svet okoli sebe dojemati kot skupek objektov z danimi lastnostmi. Trenutek, ko se človek začne zavedati predmetov, Heidegger označi z »break – down«, razčlenitev. Trdi, da je glavna gonilna sila *Wille zum Sinn*, želja izvedeti (Frankl, 1989).

Stvarem želimo dati pomen; predvsem kadar pride do težav, želimo vedeti, kaj se dogaja z nami ali s svetom. Modeli oziroma teorije, ki jih ustvarimo, razvijemo, imajo ob razpadu tako pozitivne kot negativne posledice. Z njimi lahko preprečimo podobne razpade v prihodnosti, še več, teorijo lahko uporabijo tudi drugi, ko se znajdejo v podobni situaciji.

Ljudje lahko uporabijo že pripravljene modele in teorije. Lahko sledijo razvitim postopkom in s tem lažje rešujejo probleme (Schön, 1984). Celoten postopek Heideggerjeve fenomenološke diskusije je mogoče videti na (Prezeta slika 3-11).



Prezeta slika 3-11: Refleksivna zanka (Turk, 2001)

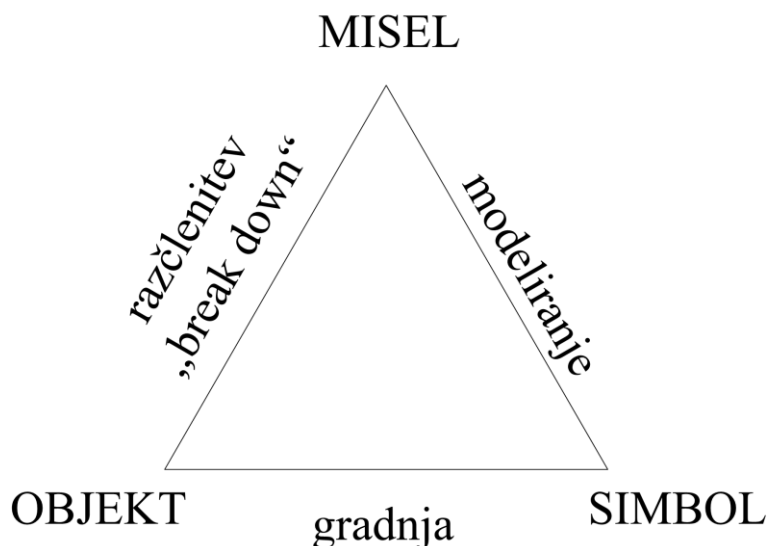
Adopted figure 3-11: The reflection loop (Turk, 2001)

3.3 Modeliranje – gradnja

Skladno s Heideggerjevo teorijo dojetja stvarnosti je človekovo delovanje pogosto predreflektivno (poglavje 3.2.4), svojega delovanja se ne zaveda oziroma deluje po pravilu intuicije. Svet okoli njega je amorfen. Človek začne svet v obliki objektov dojemati šele potem, ko pride do razpada. Razpad se zgodi, ko pridemo do problema, ko stvari intuitivno, brez racionalnega razmisleka, ne moremo rešiti. Ob razpadu si v človek v svoji zavesti ustvari objekt, ki ga je mogoče ponazoriti s simbolom. Ta proces lahko v gradbeni informatiki povežemo s procesom modeliranja.

Glavni namen modeliranja je dizajn in implementacija modelov, ki ustrezno odražajo dejansko stanje entitet – stvari, ki jih predstavljajo. Za to je potrebno uporabiti primerne in natančne kvantitativne formalizme. Če je možno, je potrebno modele primerjati z dejanskim stanjem v naravi, s čemer je mogoče modele prilagoditi in posledično izboljšati (Foley, 1984).

Proces, obraten procesu modeliranja, je proces prenosa informacij iz modela v fizično resničnost. To je preprosto povedano proces gradnje. Seveda bi želeli neposredno povezavo med simbolom in objektom, vendar ta **možnost ne obstaja** (Slika 3-1). Izjema, kot že rečeno, je robotika, ko robot bere simbolični model in njemu primerno izdeluje izdelek. Mehanizmi nadzora gradnje še vedno potekajo v človekovi zavesti.



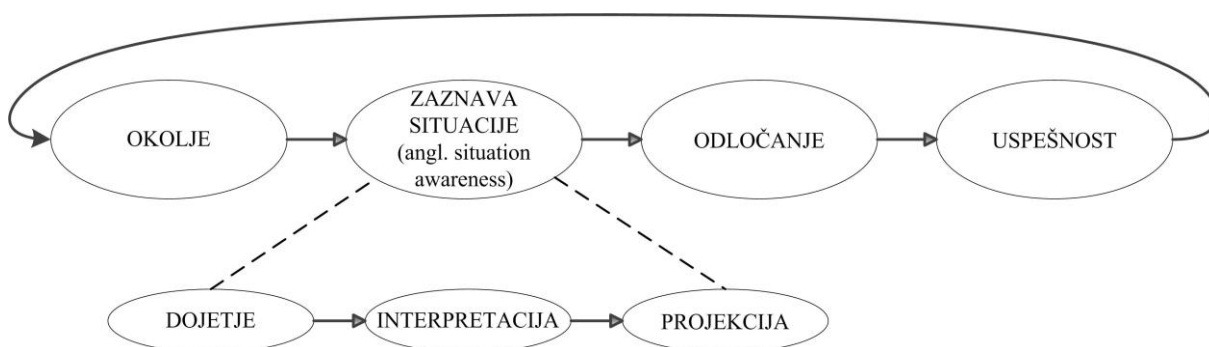
Slika 3-1: Modeliranje – gradnja

Figure 3-1: Modeling – construction

3.4 Zaznava situacije

Splošna definicija zaznave situacije (*angl. »Situation awareness«*) je: »Zaznava situacije je zavedanje o tem, kaj se dogaja, da lahko pripravimo reakcijo na dano situacijo« (Adams, 1993). Bolj formalno je zaznava situacije definirana kot »zaznavanje okoliških elementov v določenem času in prostoru, razumevanje njihovega pomena in projekcija njihovega pomena v bližnji prihodnosti« (Endsley, 2000).

Boljša zaznava situacije lahko pomaga pri odločanju v določni situaciji in posledično poveča uspešnost (Prevzeta slika 3-12). V procesu zaznave situacije mora oseba najprej dobiti relevantno informacijo, jo povezati s ciljem naloge in na koncu določiti nadaljnje delo na podlagi njenega razumevanja problema. V tej disertaciji zaznava situacije pomeni razumevanje informacij, ki so definirane v projektni dokumentaciji in so potrebne pri določeni odločitvi (Montoro, 2007).



Prevzeta slika 3-12: Povratna zanka zavedanja o situaciji (Endsley, 2000)

Adopted figure 3-12: Situation awareness feedback loop (Endsley, 2000)

Na gradbišču imamo na eni strani na razpolago veliko količino informacij, ki se nahajajo v projektni dokumentaciji, na drugi strani pa smo soočeni s konkretnim problemom. Naša naloga pa je pripraviti reakcijo na dano situacijo.

3.5 Informacijsko modeliranje zgradb/ informacijski model zgradbe

Informacijsko modeliranje zgradb je metodologija načrtovanja zgradb, pri kateri se izdelata digitalni model zgradbe, ki vključuje vse potrebne podatke za gradnjo, namesto da so ti podatki razpršeni po številnih skicah, načrtih, preglednicah, poročilih, dokumentih itd. Produkt takšnega pristopa je informacijski model zgradbe (*angl. »Building Information Model«*). V angleški literaturi avtorji s kratico BIM označujejo tako proces kot tudi končni produkt, to je model (Eastman et al., 2008).

Za razliko od sistema CAD (*angl.* »Computer Aided Design« – CAD), ki je dejansko le nadomestek risalne deske (Eastman, 1976), BIM za arhitekta in inženirje predstavlja veliko spremembo v principu načrtovanja. Gre za popolnoma drugačen princip načrtovanja. Namesto da ustvarimo 2D-risbo, ustvarimo model, ki poleg geometrije vsebuje tudi podatke o njenih gradnikih (Eastman, 1992), (Wiesel & Becker, 1996), (Anumba et al., 2000), (Haymaker et al., 2004).

Termina informacijsko modeliranje zgradb in informacijski model zgradbe sta se komercialno uveljavila šele v zadnjem desetletju. Princip parametričnega načrtovanja zgradb obstaja že od osemdesetih let prejšnjega stoletja. Pred pojavom BIM so raziskovalci to področje označevali s terminoma produktno modeliranje (*angl.* »Product Modeling«) in procesno modeliranje (*angl.* »Process Modeling«) (Laiserin, 2003).

Osnovno izhodišče BIM je sodelovanje različnih udeležencev (strok) v različnih fazah življenjskega cikla zgradbe, ki vnašajo, pridobivajo, posodablajo ali prilagajajo informacije v BIM in s tem upravičujejo bistvo svojih vlog kot udeleženci v procesu (NBMS, 2013), (Björk & Penttila, 1989).

Tako imenovani 4D-model vsebuje 3D-model zgradbe, nadgrajen s terminskim planom gradnje. V literaturi je mogoče zaslediti tudi 5D in 6D BIM. Peta in šesta dimenzija naj bi označevali stroškovno analizo in analizo upravljanja z objektom (Cerovšek, 2011).

Zaradi dejstva, da zgradbe postajajo vse kompleksnejše, postajajo izvajalci vedno bolj ozko specializirani. Posledično je za uspešno gradnjo potrebno dobro sodelovanje med izvajalci in načrtovalci (Kam & Fischer, 2004). Velika prednost BIM je, da se lahko gradbeniki, dobavitelji, podizvajalci, vzdrževalci idr. vključijo že v fazo projektiranja. Za takšen način sodelovanja pa je potrebno prilagoditi trenutno uveljavljen delovni proces, pri katerem si opravila sledijo zaporedno. Arhitekt izdelava dvodimenzionalen, lahko tudi tridimenzionalen načrt arhitekture, ki ga posreduje statiku. Ta preveri nosilnost predvidenih nosilnih elementov. Pozneje se v načrte vrišejo še strojne inštalacije in električna napeljava. Koncept računalniško integrirane gradnje temelji na sodelovanju vseh udeležencev od pričetka izdelave konceptov pa vse do zaključka gradnje (Gu, 2010).

3.5.1 Pregled prednosti BIM-pristopa

Uporaba BIM-tehnologije v gradbenih podjetjih omogoča prihranek časa in denarja. Pravilno izdelan gradbeni model ima pozitiven vpliv na vse udeležence v gradbenem procesu. Potrebno pa se je zavedati, da uporaba BIM sama po sebi še ne zagotavlja uspešnega projekta, vsekakor pa lahko pozitivno vpliva na končni rezultat.

Prednosti BIM-pristopa za investitorje (Eastman et al., 2008):

- **POVEČANA VREDNOST OBJEKTA;** *z uporabo BIM-programске opreme, ki omogoča načrtovanje porab energije, lahko izboljšamo lastnosti zgradb.*
- **SKRAJŠAN ČAS TRAJANJA PROJEKTA;** *od odobritve projekta do končanja gradnje lahko z uporabo modelov koordiniramo gradnjo, uporabljamo montažne elemente in s tem skrajšamo čas dela na terenu.*
- **ZANESLJIVE OCENE STROŠKOV;** *s samodejnimi ocenami količin, ki jih pridobimo iz izdelanih modelov, pridobimo povratne informacije že ob začetku projekta, ko imajo odločitve največjo vrednost.*
- **SKLADNOST PROGRAMA;** *lastniki lahko s pogledom 3D-modela pridobijo lažjo predstavo, ali je to res tisto, kar želijo.*
- **OPTIMIZACIJA UPRAVLJANJA OBRATOV IN VZDRŽEVANJA;** *z uporabo izdelanega modela lahko pripravimo plan pričakovanih vzdrževalnih del.*

Prednosti BIM-pristopa za arhitekta in inženirje (Eastman et al., 2008):

- **INTEGRACIJA NALOG ARHITEKTOV IN INŽENIRJEV;** *z BIM-pristopom je mogoče izboljšati dostop do relevantnih informacij v realnem času. BIM omogoča izmenjavo in integracijo dokumentov v elektronski obliki, s tem je mogoče pospešiti pretok podatkov. Mogoče je obiti težave, ki nastajajo zaradi nedoslednosti pri označevanju in poimenovanju različnih dokumentov. V idealnem primeru bi se bilo potrebno izogniti opravi, ki se opravljajo več kot enkrat.*

Prednosti BIM za gradbena podjetja (Eastman et al., 2008):

- **POTEK PROJEKTA;** *potrebno se je zavedati, da lahko prednosti BIM-tehnologije gradbena podjetja do popolnosti izkoristijo le, če so v proces načrtovanja vključena že od pričetka projekta. V običajnem gradbenem procesu: načrtovanje, ponudba, izgradnja zanemarjamo znanje gradbenih podjetij in podizvajalcev, ki ga je v izdelane projekte težko vključiti.*
- **ISKANJE NAPAK V NAČRTIH;** *v tradicionalnem načinu izdelave projektov napake v projektih iščemo »ročno«, s primerjavo načrtov, ki so jih izdelali različni strokovnjaki. BIM omogoča ogled virtualnega modela, v katerega so vključene vse komponente zgradbe (temelji, stene, stropi, okna, vrata, elektroinštalacije, strojne inštalacije).*
- **POPIS KOLIČIN POTREBNEGA MATERIALA IN POPISI DEL;** *tradicionalno popis količin poteka tako, da najprej izdelamo oceno potrebnega materiala in šele po izvedenem projektu*

natančno izmerimo vsa izvedena dela. Takšen način dela je zamuden in nenatančen. Iz pravilno izdelanega informacijskega modela je mogoče pridobiti ocene količine materialov, potrebnih za gradnjo. S pomočjo teh količin lahko natančno ocenimo realno vrednost projekta in tako zmanjšamo možnost, da bi projekt ob zaključku presegel predvideno investicijsko vrednost. Na tem mestu je potrebno izpostaviti še eno prednost gradnje z uporabo modelov, in sicer: če v model vnašamo vse spremembe, ki so med gradnjo nastale, imamo ob končanju projekta že vse podatke za izdelavo računa.

- **ANALIZA POTEKA GRADNJE IN PRIPRAVA TERMINSKEGA PLANA;** *za izdelavo terminskega plana potrebujemo podatke o zaporedju aktivnosti v prostoru in času; čas, potreben za izdelavo ene komponente (izgradnja m² stene, vgradnja enega okna), ta čas pa je povezan tudi s količino razpoložljivih delavcev, strojev. Navadno se za izdelavo terminskega plana uporabljajo programi, kot je npr. MS Project, ki izdelata »Grantov grafikon«. Za izdelavo takšnega diagrama potrebujemo zelo izkušene delavce, pa še ti navadno ne morejo natančno predvideti omejitve v prostoru. Zato je terminski plan potrebno nenehno spreminjati. BIM-orodja omogočajo izdelavo 4D-informacijskega modela. 4D BIM-orodja omogočajo načrtovalcu vizualno izdelavo terminskega plana.*
- **INTEGRACIJA CEN, TERMINSKEGA PLANA IN DRUGIH STVARI, POVEZANIH Z MANAGEMENTOM V GRADBENIŠTVU;** *tekom gradnje je potrebno izdelovati »situacije« oz. t.i. vmesna poročila. Izdelava le-teh je navadno zelo zamudna. BIM-orodja lahko zagotovijo podporo tem opravilom, kot je bilo omenjeno, saj lahko s sprotnim vnašanjem popravkov spremljamo količine porabljenega materiala. Poleg tega z vizualno predstavitvijo modela lažje koordiniramo gradnjo.*
- **IZDELAVA GRADBENIH POLIZDELKOV;** *v informacijske modele je že v procesu projektiranja možno vključiti izdelke, ki bodo v fazi gradnje vgrajeni. Na primer: dobavitelji in arhitekti lahko izmenjujejo podatke o komponentah, ki bodo vgrajene v objekt. S tem lahko zmanjšamo količino napak v načrtih in dobaviteljem omogočimo, da že pri načrtovanju sodelujejo v planiranju gradnje.*

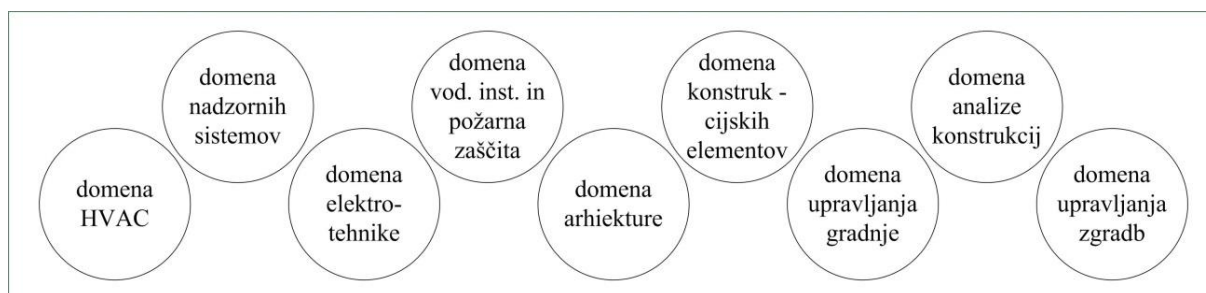
3.5.2 Standardi in interoperabilnost

Izmenjava informacij v procesu gradnje postaja vedno bolj zahtevna, saj postajajo orodja za modeliranje, analizo, vizualizacijo in simulacijo vedno bolj kompleksna. Ključno vprašanje tega področja je v preteklosti že bilo in še vedno ostaja odprto: kako doseči kompatibilnost programske opreme različnih komercialnih ponudnikov.

3.5.2.1 Industry Foundation Classes – IFC

Standard IFC (*angl. »Industry Foundation Classes«*) je nastal kot odgovor na pobudo podjetij, povezanih z gradbeništvom, ki so se začela soočati s problemom izmenjave podatkov v med seboj nekompatibilnih programih. Razvoj standarda IFC se je začel v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Trenutno je v praksi najbolj uveljavljen standard IFC 2x3 iz leta 2004, zadnja različica standarda IFC 2x4 pa je bila javnosti predstavljena leta 2012. IFC-standard je bil formalno potrjen z ISO/PAS 16739 (ISO, 2005).

Za razvoj standarda je odgovorno združenje IAI (*angl. »International Alliance for Interoperability«*). Cilj omenjenega združenja je izboljšanje učinkovitosti, povezane z izmenjavo informacij v grajenem okolju. Zaradi kompleksnosti področja grajenega okolja je razvoj standarda IFC v IAI razdeljen po disciplinah (analiza konstrukcij, arhitektura, ogrevanje, prezračevanje, osvetlitev, akustika idr.) Posledično je tudi IFC-shema sestavljena iz različnih domen (Pazlar, 2008).



Prevzeta slika 3-13 Shema domen IFC standarda 2x3 (BuildingSMART, 2013)

Adopted figure 3-13: Domain scheme IFC 2x3 (BuildingSMART, 2013)

Raziskovalci so se dolgo ukvarjali z vprašanjem, kako postaviti standardni zapis datotek, ki bi jih bilo mogoče uporabiti v vseh BIM-orodjih. Rezultat teh raziskav sta standardna zapisa datotek IFC-STEP in IFC-XML. Takšen način razmišljanja je mogoče na poenostavljen način ponazoriti s primerom. Arhitekt izdelava arhitekturni načrt, statik elementom določi lastnosti, strojnik doda načrt strojnih inštalacij itd., tekmo celotnega postopka pa se informacije zapisujejo v enotno datoteko.

3.5.2.2 Odprti BIM

Tak način razmišljanja s sabo prinese nemalo težav. Kljub dejstvu, da IFC-standardi obstajajo že kar nekaj časa in da vsi večji proizvajalci zagotavljajo, da so njihovi programi kompatibilni z IFC, v praksi tak pristop ne deluje. Deloma je težave mogoče pripisati specifičnosti gradbene industrije, saj je v večini

primerov vsaka zgradba unikatna. Posledično to pomeni, da mora IFC-standard dovoljevati dodajanje nestandardnih entitet.

Druga težava je v nezainteresiranosti komercialnih ponudnikov programske opreme za uveljavitev unikatnega zapisa. Univerzalni format zapisa podatkov zmanjšuje konkurenčno prednost večjih ponudnikov programske opreme, ki pokrivajo več kot le eno področje grajenega okolja. Problem shranjevanja podatkov v isto datoteko je tudi v lastništvu podatkov. Na nek način je namreč potrebno beležiti, kdo je dodal oziroma spremenil kakšno informacijo, saj je tudi odgovoren za to dejanje.

Odprti BIM (*angl. »Open BIM«*) pa je drugačen v načinu razmišljanja. Vsak udeleženec pri svojem delu uporablja programsko opremo, namenjeno njegovemu področju. Lokalno podatke shranjuje v poljuben zapis, na skupni strežnik pa naloži le podatke, ki so potrebni za vse udeležence. Ideja odprtega BIM-pristopa ni v neposredni izmenjavi datotek, temveč v njihovem povezovanju. Vsak izmed udeležencev obdrži lastništvo nad svojim delom, spletni strežnik pa je namenjen zgolj povezovanju, primerjavi in predaji podatkov. Odprti BIM je univerzalni pristop sodelovanja, načrtovanja, izvedbe in obratovanja objektov, ki temelji na odprtih standardih (BuildingSMART, 2013).

3.5.2.3 Construction Operations Building Information Exchange (COBie)

Ob zaključku gradbenih projektov in pri podpisu zaključne pogodbe je navadno potrebno predati množico dokumentov v papirni obliki. Pogodbi so navadno priloženi tlorisi, prerezi, seznam opreme, podatki o vgrajenih komponentah, navodila za vzdrževanje, garancije idr. Te informacije so nujno potrebne za normalno delovanje in vzdrževanje objektov. Zbiranje teh informacij ob zaključku projekta pa je drago in zamudno opravilo (COBie, 2013). COBie (*angl. »Construction Operations Building Information Exchange«*) pa je standard, namenjen poenostavljanju tega procesa.

Uporaba COBie standarda zahteva drugačen pristop. Vse podatke, ki nastajajo tekom gradnje, je potrebno sproti vnašati v vnaprej pripravljene dokumente. Arhitekti morajo oddati podatke o razporeditvi in kvadraturi prostorov in povzetek vgrajenih komponent. Izvajalci gradbenih del pa morajo zagotoviti seznam opreme, ki je bila dejansko vgrajena. Ker pa različni udeleženci uporabljajo različno programsko opremo, je potrebno zagotoviti standard za oddajo podatkov. COBie je standard, ki se deloma naslanja na standard IFC 2x3, v katerem mora biti izdelan 3D-model, poleg modela se v standardu nahaja še množica preglednic, ki jih je potrebno izpolniti, preden so projekti dejansko predani v uporabo (NIBS, 2013).

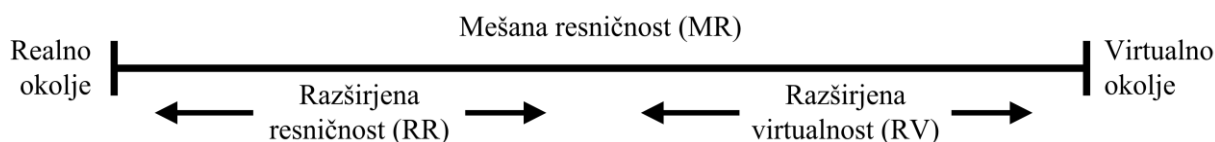
Leta 2011 je britanska vlada sprejela strategijo, po kateri naj bi do leta 2016 vse novogradnje imele projektno dokumentacijo pripravljeno v obliki informacijskih modelov. Odgovor na to zahtevo je standard COBie (BCIS, 2011).

3.6 Razširjena resničnost

V angleški literaturi najdemo različna pojmovanja kontinuuma med realnim in virtualnim okoljem: (angl. »*Augmented Reality*« - AR , »*Mixed Reality*«, »*Amplified Reality*«, , »*Mediated Reality*«, »*Diminished Reality*«, »*Augmented Virtuality*«, »*Virtualized Reality*«). Termin AR je bil v preteklosti največkrat povezan z naglavnimi prikazovalniki (angl. »*Head Mounted Display*« – HMD). Z razvojem tehnologije mobilnih naprav pa se AR uporablja tudi v povezavi s tabličnimi računalniki, pametnimi telefoni in ostalimi prenosnimi napravami, ki omogočajo integracijo virtualnih informacij z realnim okoljem.

Tako kot v angleški se tudi v slovenski literaturi pojavljajo različna pojmovanja kontinuuma med realnim in virtualnim okoljem. Slovenski avtorji (Cerar, 2012), (Fijačko, 2011), (Podlesk, 2011), (Podrekar, 2011), (Pucer, 2011), (Remic, 2011), (Vračko, 2012), (Kumalić, 2013), (Turk, 2013) polje definirajo s termini mešana resničnost, obogatena resničnost, nadgrajena resničnost, dopolnjena resničnost, izboljšana resničnost in razširjena resničnost. V spletnem Slovarju slovenskega knjižnega jezika (SSKJ, 2013) ne najdemo nobene zgoraj zapisanih besednih zvez, spletni terminološki slovar informatike angleški izraz AR definira kot realen svet, dopolnjen z elementi navideznega sveta, ustvarjen s pomočjo računalniške grafike. Kot prevod pa dopušča sinonime dopolnjena resničnost, obogatena resničnost in razširjena resničnost (STSI, 2012). Slovar fakultete za računalništvo in informatiko AR določa termin dopolnjena resničnost.

Razširjena resničnost (RR) je sintetično okolje, v katerem so virtualni elementi vključeni v živo sliko realne okolice. Zelo splošno je mogoče RR definirati s kontinuumom mešane resničnosti med realnim in virtualnim okoljem (Prezeta slika 3-14) (Milgram & Takemura, 1994). Realno, fizično okolje lahko definiramo kot skupek elementov, ki dejansko obstajajo v enem ekstremu kontinuuma. Termin realnosti tako obsega vse, kar je ustvarjeno, zgrajeno, načrtovano, opazovano in razumljeno. Drugi ekstrem je okolje, ki načrtovalcem omogoča modeliranje objektov brez kakršnekoli povezave z realno stvarnostjo. Razširjena resničnost je segment kontinuuma, kjer so sliki realne okolice dodani elementi virtualnega sveta.



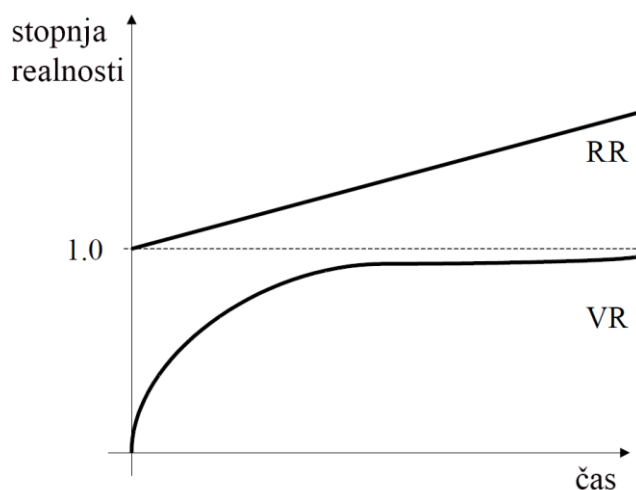
Prevzeta slika 3-14: Kontinuum mešane resničnosti (Milgram & Takemura, 1994)

Adopted figure 3-14: Mixed Reality continuum (Milgram & Takemura, 1994)

Za obstoj razširjene resničnosti je potrebno zadostiti trem bistvenim zahtevam, sicer je iluzija sobivanja realnega in virtualnega okolja ogrožena (Azuma et al., 2001):

- resnično okolje in računalniško ustvarjene informacije nastopajo **združeno**,
- navidezni predmeti so ustvarjeni v **realnem času**, njihov videz in odziv pa morata biti odvisna od uporabnika in sprememb v okolju,
- resnični in navidezni predmeti morajo za čim bolj realno predstavo delovati **usklajeno**.

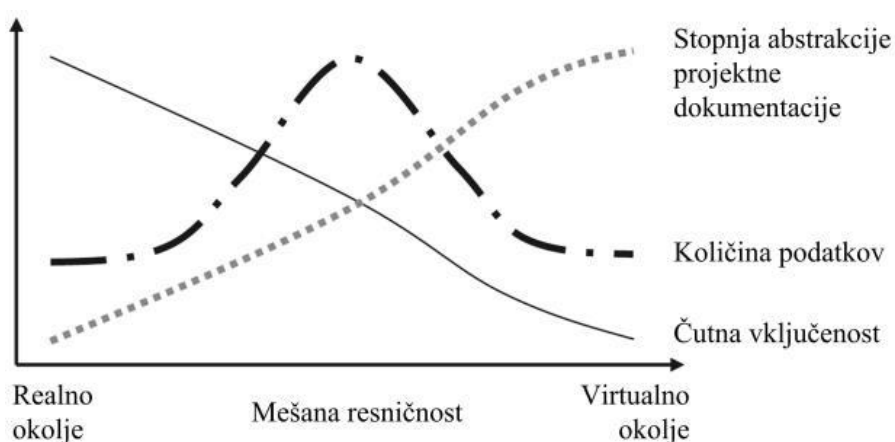
V virtualnem okolju je mogoče ustvariti omejeno stopnjo realizma. Tehnološki napredek sicer izpopolnjuje kvaliteto računalniško ustvarjene slike, ta postaja vedno bolj podobna realnemu svetu. Toda v skladu s to logiko virtualno okolje nikoli ne bo v celoti odražalo realnega stanja, saj le ta predstavlja limito (Prevzeta slika 3-15) (Klinker et al., 2001). RR ponuja drugačen pristop. Z dodajanjem virtualnih elementov realni okolici je mogoče ustvariti sliko, ki kar najbolje odraža pogled na predviden objekt obdan z realno okolico.



Prevzeta slika 3-15: Potencial realnosti RR in VR princip (Klinker et al., 2001)

Adopted figure 3-15: Potential Realism of AR vs. VR approaches (Klinker et al., 2001)

V tem kontekstu je smiselno preučiti stopnjo zveznosti oziroma vključenosti v odnosu s stopnjo abstrakcije (Prevzeta slika 3-16).



Prevzeta slika 3-16: Stopnja realnosti (Schnabel, 2006)

Adopted figure 3-16: Depth of realm (Schnabel, 2006)

Razširjena resničnost je bila v okviru grajenega okolja prvotno uporabljena zgolj za vizualizacijo, za predstavitev dizajnerskih konceptov, z razvojem informacijskih tehnologij pa je z njo mogoče podpreti tudi bolj kompleksna opravila (Davidson & Campbell, 1996).

V okviru grajenega okolja je razširjena resničnost okolje, v katerem so informacijski modeli zgradb vključeni v sliko realne okolice z namenom, da bi olajšali njihovo prostorsko predstavitev. Realno okolje dovoljuje visoko stopnjo čutne vključenosti, zaradi dejanskega obstoja fizičnih elementov, le ta s prehajanjem v virtualno okolje pada. Obratno pa se stopnja abstrakcije povečuje z virtualizacijo.

Mešana resničnost vzpostavlja sobivanje vedenja, razumevanja in prostorske interakcije. Virtualni modeli so ustvarjeni v realnem času in tako uporabniku ponujajo informacije neposredno povezane z realnim in virtualnim okoljem. Takšne količine podatkov ni mogoče doseči ne v virtualnem in ne v realnem okolju (Schnabel, 2006). Količina podatkov ni zgolj seštevek čutne vključenosti in stopnje abstrakcije, temu je potrebno dodati možnost odziva v realnem času. Današnja tehnologija še ne omogoča popolnega združevanja virtualnega in realnega okolja, je pa potrebno postaviti minimalne standarde, kaj morajo naprave omogočati, da jih še lahko uporabimo kot osnovo za prikaz RR (Nozarok, 2013).

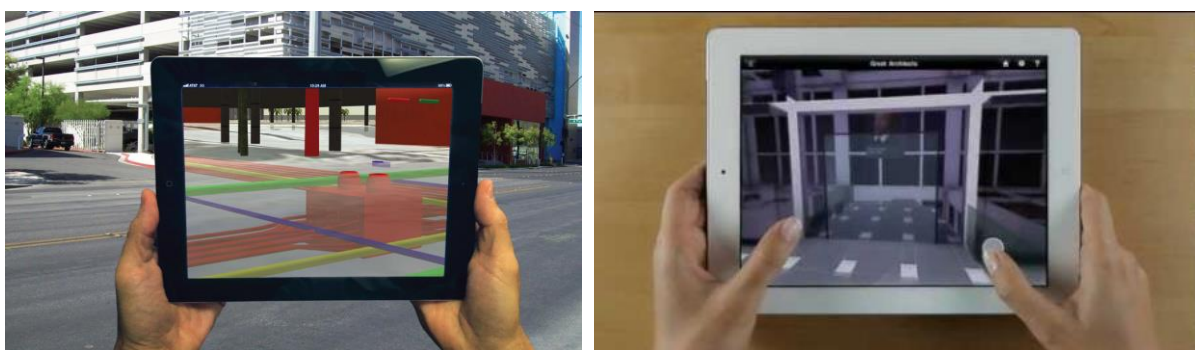
Razširjena resničnost v pravem pomenu in idealni izvedbi ponuja brezhirno vizualno fuzijo virtualnih elementov z realnim okoljem. Uporabniku mora biti omogočen nemoten ogled fizične resničnosti, razen na mestu, kjer se nahajajo virtualni elementi. Virtualni element se mora v uporabnikovem vidnem polju

(*angl. »Field of View«*) pojaviti na točno določenem mestu in s pravilno globinsko ostrino (*angl. »Depth of Focus«*). Ob spremembi gledišča mora lokacija virtualnega elementa ostati pravilno poravnana z realno okolico, globinska ostrina pa se mora dinamično prilagajati gledišču.

Problem se pojavi v primeru, ko se med uporabnikom in fizično lokacijo, kjer je bil ustavljen virtualni element, pojavi drug fizični element. RR-okolje mora omogočati zaznavo takšnih elementov in posledično dinamično prilagajati globinsko ostrino, sence in osvetljavo, ki jih oddajajo fizični elementi na virtualne in obratno (Nozarok, 2013).

Ob uporabi RR se uporabnik poveže z množico kompleksnih digitalnih informacij v okviru tega, kar je resnično (Autodesk, 2013). V bistvu nam RR prinaša virtualni svet in nas na nek način povezuje z njim. RR zahteva tehnologijo za zajemanje realnega sveta, ki nas obdaja, in tehniko za doživetje računalniškega – virtualnega sveta. Navadno ta proces poteka s prekrivanjem računalniške grafike preko slike, pridobljene s kamero (Madden, 2011). RR-okolje je torej sestavljeno iz realnosti in dodatnih virtualnih informacij, ki jih je mogoče uporabiti za podporo odločitvam (Schnabel, 2006).

Ker pogosto prihaja do nesporazumov in mešanja pojmov razširjena resničnost (RR) (Slika 3-2 - a) in virtualna resničnost (VR) (Slika 3-2 - b), sta primera obeh prikazana na slikah. Na prvi pogled sta sliki zelo podobni, v resnici pa gre za popolnoma drugačen pristop prikaza in interakcije. V primeru prikaza virtualne resničnosti je mogoče videti le tisto, kar je bilo vnaprej pripravljeno v informacijskem okolju, princip RR pa temelji na realni okolici, kateri so dodani virtualni elementi z vnaprej pripravljenega okolja, ki jih obdaja (Graphisoft, 2013).



(a)

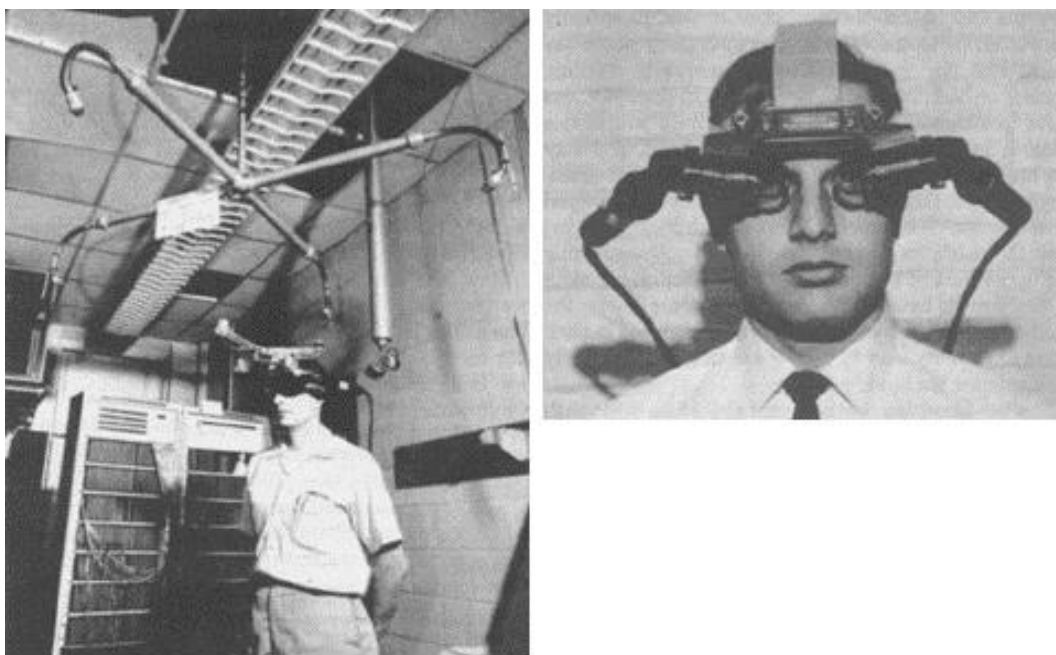
(b)

Slika 3-2: Razširjena in virtualna resničnost

Figure 3-2: Augmented and Virtual Reality

3.6.1 Razvoj razširjene resničnosti

Pojem "Augmented Reality" se je začel uporabljati šele v 90. letih prejšnjega stoletja (pri nas pojem "razširjena resničnost" še nekoliko kasneje), toda poskusi razvoja in uporaba te tehnologije so se začeli že pred nekaj desetletji. Prvi zapisi o poskusih združevanja realnega in virtualnega okolja izhajajo že iz šestdesetih let prejšnjega stoletja. Leta 1966 je profesor Ivan Southerland izdelal prvi prototip naprave, ki je omogočala sinhron prikaz realne okolice z dodanimi virtualnimi elementi (Prezeta slika 3-17) (Southerland, 1968).



Prezeta slika 3-17: Prvi tridimenzionalni naglavni zaslon (Southerland, 1968)

Adopted figure 3-17: First Head Mounted 3D display (Southerland, 1968)

Pionirski poizkus je na svojega naslednika čakal vse do devetdesetih letih prejšnjega stoletja, ko je izraz Augmented Reality skoval profesor Tom Caudell (Caudell, 1992). V razvojnem oddelku tovarne letal v Seattlu je poskušal optimizirati proces proizvodnje s pomočjo virtualnih tehnologij. Kompleksna programska oprema je delavcem omogočala prikaz predvidene lokacije sestavnih delov letal.

Druga skupina raziskovalcev (Feiner et al., 1993) je v istem časovnem obdobju razvoj razširjene resničnosti močno zaznamovala s sistemom, imenovanim KARMA (*anlg. »Knowledge – based Augmented Reality for Maintenance Assistance«*) (Prezeta slika 3-18).



Prezeta slika 3-18: Projekt KARMA (Feiner et al., 1993)

Adopted figure 3-18: Project KARMA (Feiner et al., 1993)

Z razširjeno resničnostjo so se ukvarjali še mnogi raziskovalci, vendar so bili vsi poskusi več ali manj povezani zgolj z raziskovalnim okoljem. Prava revolucija komercialnih aplikacij RR se je pričela šele s pojavom pametnih telefonov. Sodobni pametni telefoni namreč omogočajo sledenje, procesiranje, prikaz in interakcijo, kar so štiri temeljne strojne zahteve RR.

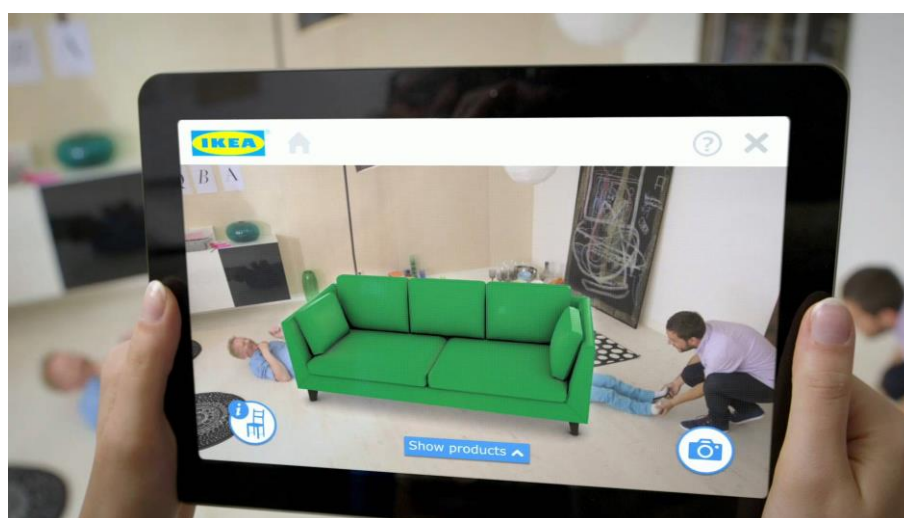


Prezeta slika 3-19: RR-brskalnik Wikitude (Wikitude, 2010)

Adopted figure 3-19: AR browser Wikitude (Wikitude, 2010)

Poleg komercialnih aplikacij, ki tečejo na prenosnih napravah (pametnih telefonih in tablicah) in se uporabljajo za namene trženja, oglaševanja, zabave in turizma, se tehnologija RR uporablja tudi na področjih medicine, avtomobilske industrije, vojaške industrije itd. Zgoraj navedene panoge veljajo za tehnološko bolj razvite, zato so posledično bolj dovzetne za nove tehnologije.

Potencial uporabe razširjene resničnosti se je pokazal tudi na področju notranjega dizajniranja in pri izbiri notranje opreme. Potencial razširjene resničnosti je izkoristilo podjetje Ikea (Prevzeta slika 3-20). Njihov katalog je že nekaj časa na voljo v elektronski različici, nekatere izdelke iz kataloga za leto 2014 pa si je mogoče ogledati tudi s pomočjo razširjene resničnosti.

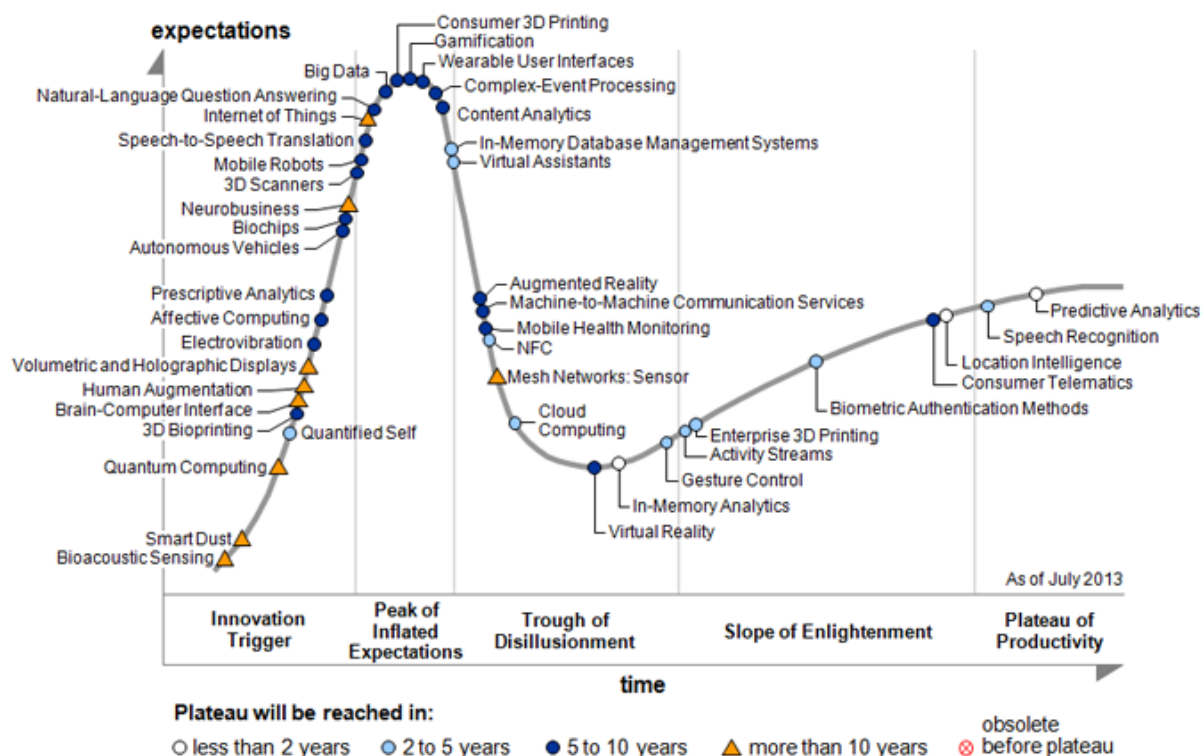


Prevzeta slika 3-20: Ikea, mobilna RR-aplikacija

Adopted figure 3-20: Ikea mobile AR application

Generalno gledano je RR že delno prisotna, še večji razvoj na tem področju pa je mogoče pričakovati v naslednjih 5–10 letih (Prevzeta slika 3-21). Projekcija temelji na Gartnerjevih krivuljah »Hype Cycle« (Gartner's, 2012) (Gartner's, 2013).

Gartner opredeljuje novejša tehnologija in navdušenje uporabnikov in javnosti nad njimi. Krivulja ima pet faz, ki ponazarjajo, v kakšnem stanju se nahaja določena tehnologija in koliko časa naj bi še preteklo do njenega splošnega sprejetja. Krivulja preučuje cikel uveljavljanja tehnologij v družbeno okolje od začetnega pojava preko pretiranega navdušenja »hype« do končne uveljavitve.



Prevezeta slika 3-21: Gartner 2013 Hype Cycle (Gartner's, 2013)

Adopted figure 3-21: Gartner's 2013 Hype Cycle (Gartner's, 2013)

3.6.2 Delovanje razširjene resničnosti

Razširjena resničnost je metoda vizualizacije, ki omogoča sinhron prikaz realnega okolja z dodanimi virtualnimi elementi, pri čemer uporablja razne principe priprave podatkov, sledenja, procesiranja oziroma združevanja virtualnega in realnega okolja, prikaza in interakcije.

Prvi korak razširjanja resničnosti je **priprava podatkov**, ki bodo v nadaljevanju združeni s sliko realne okolice. Podatki so lahko v obliki besedila, 2D-slik, 2D-vida, 3D-modelov in 3D-animacije.

Sledenje, določanje položaja in orientacije uporabnika v prostoru, je mogoče s pomočjo sistema za globalno določanje lege (*angl.* »Global Positioning System« – *GPS*) giroskopa, kompasa, diferencialnega GPS, magnetometra, ultrasoničnih senzorjev in referenčnih slik. V grobem lahko sisteme sledenja razdelimo v tri skupine. Prva skupina temelji izključno na senzorjih. V drugo skupino spadajo sledilni sistemi, ki temeljijo na zajeti digitalni sliki. Za določanje položaja se uporabljajo naravne značilnosti, referenčne slike, točke, črte, robovi in teksture. Tretja skupina združuje prednosti prve in druge. Je hibridni sistem, s katerim je mogoče doseči največjo natančnost.

Procesiranje je združevanje realnih in virtualnih informacij. Procesiranje lahko poteka ločeno ali na napravi, ki služi prikazu slike. Zaradi omejene zmogljivosti so prvi prototipi uporabljali prvi način, z razvojem mobilnih naprav pa lahko sodobne aplikacije RR tečejo tudi na prenosnih napravah.

Prikaz lahko poteka s pomočjo naglavnih, ročnih ali prostorskih zaslonov. Naglavni zasloni omogočajo najbolj neposreden način prikaza, saj pokrivajo uporabnikovo celotno vidno polje. Glede na metodo prikaza razvrščamo naglavne zaslone na optično prepustne in video prepustne. Prednost naglavnega načina prikaza je, da ima uporabnik ves čas proste roke.

Tablične računalnike, dlančnike in pametne telefone uvrščamo v skupino ročnih zaslonov. Naprava deluje podobno kot lupa. S kamero, nameščeno na zadnji strani, zajema sliko, ki ji doda virtualne elemente in jo prikaže v obliki razširjene resničnosti. Zaradi relativno dobrih zmogljivosti in velike priljubljenosti teh naprav se je na trgu pojavila cela vrsta aplikacij RR s to metodo prikaza.

Če uporabnika ne želimo obremenjevati z očali in hkrati želimo, da ima proste roke, lahko resničnost razširimo tako, da informacije projiciramo kar na okolje. To je mogoče definirati kot prostorsko razširjeno resničnost (*angl. »Spatial Augmented Reality«*), ki je možna s pomočjo prostorskih projektorjev (Yeh et al., 2012).

Interakcija je povezana z načinom prikaza. Če je za prikaz uporabljen tablični računalnik, je ta navadno opremljen z zaslonom, občutljivim na dotik, in preko njega lahko uporabnik da povratno informacijo. Pri aplikacijah, ki za prikaz uporabljajo naglavne zaslone ali projektorje, pa potrebujemo dodatno napravo.

Raziskovalci so v preteklosti uporabili različne kombinacije modeliranja, sledenja, procesiranja, prikaza in interakcije.

3.6.3 Področja uporabe razširjene resničnosti

V preteklih štirih desetletjih so bile raziskave RR osredotočene v razvoj strojne opreme in v iskanje primernih področij uporabe. RR-tehnologija je v tem trenutku že razvita do te stopnje, da jo je mogoče zanesljivo in učinkovito uporabljati v tehnološko bolj naprednih panogah.

3.6.3.1 Uporaba v oglaševanju in v medijih

V oglaševanju in medijih je razširjena resničnost prisotna že skoraj dve desetletji, mnogokrat pa se tega v vsakdanjem življenju niti ne zavedamo. Najpogosteje se uporablja v obliki grafičnih virtualnih

od dodatkov, s katerimi izboljšuje oz. dopolnjuje prenose televizijskih kanalov. To predvsem velja za športne dogodke, oglase in podnapise filmov, kjer je resničnost v dejanskem času dopolnjena z dodatnimi informacijami. Eden izmed prvih primerov uporabe je bil sistem Fox Trax, ki so ga že leta 1996 uporabljali za sledenje hitremu gibanju ploščka v ameriški hokejski ligi NHL. Njegovo sled so obarvali na podlagi signala oddajnika, ki je bil vgrajen v plošček. Podobni primeri uporabe so prikazani na sliki (Prezeta slika 3-22).

V vseh prikazanih sistemih so obravnavana okolja izdelana predčasno, prenosi kamer pa so predhodno natančno umerjeni (Xiaoyang, 2013). Preden je končni signal za prenos oddan v omrežje, se dejanskemu prenosu kamer doda še grafični prikaz predvidenih informacij v okviru razširjene resničnosti (rezultat, imena ekip ipd.). Sistem na ta način funkcionira tudi zato, ker se številni parametri v dejanskem času lahko dodajajo tudi ročno (Azuma et al., 2001).



Prezeta slika 3-22: RR pri prenosu športnih dogodkov (Imoran, 2009)

Adopted figure 3-22: AR in sport (Imoran, 2009)

3.6.3.2 Uporaba v medicini

Razširjena resničnost igra vse pomembnejšo vlogo tudi na področju medicine. Uporaba v zdravstvu je kljub nekaterim dobro razvitim tehnikam še vedno v fazi izpopolnjevanja. Pri zahtevnejših operacijah, kjer kirurgi uporabljajo mini kamere, lahko uporaba RR močno olajša delo. Na podlagi rezultatov opravljenih raziskav, kot so magnetna resonanca, CT in ultrazvok, se lahko ustvari slika dejanskega človeškega organa v dejanskem času med operacijo. To sliko lahko kirurg pred opravljanjem operacije projicira na dejanski del človeškega telesa in na ta način dobi boljšo prostorsko predstavo ter vpogled v anatomijo želenega dela telesa brez predhodnega operiranja (npr. pri operaciji možganov).

Kirurgom na primer uporaba RR olajša operacijo hrbtenice, saj lahko natančneje določijo nadomestna vretenca. Razširjeno resničnost s pridom izkoriščajo predvsem študenti medicine, ki lahko že tekom študija pridobijo določene izkušnje, predvsem na področju kirurgije. Kljub vsemu pa za zdaj trenutne težave predstavlja predvsem kvalitetna kompatibilna povezava tehnološke opreme, ki omogoča uporabo razširjene resničnosti z dejansko uporabljenimi napravami v medicini. Uporaba RR že pomembno vpliva na razvoj zdravstva, njen vpliv pa se bo s časom zagotovo še povečal (Cameron, 2010).

3.6.3.3 Uporaba v vojaške namene

Razširjena resničnost se v vojaške namene uporablja že od vsega začetka. Vojaška letala in helikopterji uporabljajo posebne zaslone (*angl. »Head-Up Displays«* – HUD), ki pilotu omogočajo branje vseh potrebnih podatkov v obliki vektorske grafike direktno na zaslonu in brez spremembe položaja glave (Prezeta slika 3-23). Omenjena znakovna grafika je velikokrat namesto osnovnih navigacijskih podatkov in informacij o letu prikazana kot točka, ki označuje tarčo. Predvsem je v vojaških akcijah zelo pogosta tudi uporaba nekoliko drugačnega zaslona, ki se pritrdi na pilotovo čelado HMD.

Piloti helikopterjev in letal lahko s pomočjo HMD potencialno tarčo namerijo samo tako, da vanjo usmerijo pogled. Bodoče generacije vojaškega letalstva se bodo razvijale v tej smeri, da bo tehnologija HMD že vgrajena v pilotovo čelado (Azuma et al., 2001) (Imoran, 2009).



Prezeta slika 3-23: RR v vojski (Imoran, 2009)

Adopted figure 3-23: AR in military (Imoran, 2009)

3.6.3.4 Uporaba v avtomobilski industriji

Uporaba razširjene resničnosti narašča tudi na področju avtomobilske industrije. Le-ta skuša svoje produkte (avtomobile) na varen način iz funkcije prevoznega sredstva razširiti na nekaj več, v t.i. mobilno pisarno. Vse pogostejša je uporaba prej omenjene Head-Up Display (HUD) tehnologije, ki dejansko resničnost prekrije s koristnimi informacijami, ki jih med vožnjo potrebujemo. Tako lahko voznik avtomobila s pogledom na cesto poleg hitrosti vožnje, varnostne razdalje vozila in vhodnih telefonskih klicev na vetrobranskem steklu vidi tudi vremenske pogoje, smernice za navigacijo ter razne usmeritve in opozorila glede razmer na cesti (Harman, 2013) (Prevzeta slika 3-24).



Prevzeta slika 3-24: RR v avtomobilih (Harman, 2013)

Adopted figure 3-24: AR in car (Harman, 2013)

3.6.4 Glavne tehnične težave razširjene resničnosti in obstoječe rešitve

Obstaja množica težav, ki preprečuje hitrejše uveljavljanje razširjene resničnosti v vsakdanji praksi. Največkrat omenjeni težavi pa sta nezmožnost določanja natančnega položaja v prostoru realnega časa in vizualno prekrivanje (*angl. »Visual occlusion«*). Tehnologije in algoritmi, ki so predstavljeni v nadaljevanju tega poglavja, so v času pisanja pretežno v domeni znanstvene sfere.

3.6.4.1 Alternativne metode sledenja

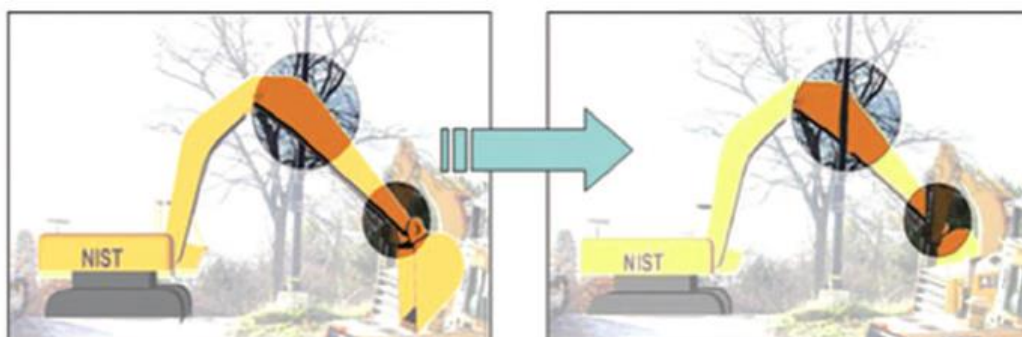
Tehnologije, ki se uporabljajo za določanje položaja v prostoru, navadno delimo v tri skupine: (1) senzorske, (2) vizualne in (3) hibridne (Feng, 2008). Tehnologije se med sabo razlikujejo v temeljnih principih, zato je nemogoče direktno primerjati njihovo natančnost in uporabnost. Logično je, da je mogoče bolj precizno določiti položaj, če imamo znano referenčno točko.

Sistemov, ki za delovanje potrebujejo vnaprej pripravljeno referenčno točko, ni mogoče primerjati s tem, ki je bil razvit v okviru tega doktorskega dela, saj takšni sistemi potrebujejo predhodno kalibracijo. Vseeno pa obstajajo nekatere novejšje tehnologije, s katerimi lahko zagotovimo večjo natančnost sledenja v realnem času, npr.: diferencialni GPS, point clouding, lasersko skeniranje, sistem Bluetooth, mikrolokacijski sistemi itd. (Lin et al., 2013) (Li & Becerik-Gerber, 2011). (Golparvar-Fard et al., 2009) (VTT, 2013) (Elgan, 2013). Še večji izziv predstavlja sledenje v zaprtih prostorih. V literaturi je največkrat omenjena triangulacija z Wi-Fi antenami. Z njimi je v teoriji mogoče doseči natančnost do 1 m (Curtis, 2013). Komerčni sistemi, kot na primer Wi-Fi SLAM, pa omogočajo natančnost do največ 2,5 m (Panzarino, 2013).

3.6.4.2 Vizualna okluzija - prekrivanje

Problemu vizualnega prikrivanja je bilo v preteklosti posvečeno nemalo raziskav (Fard et al., 2009), (Behzadan & Kamat, 2010), (Dong et al., 2012). Fard je s soavtorji predlagal dvostopenjsko tehniko odstranjevanja elementov, ki temelji na računalniški razpoznavi slike. Ta prototip najprej s slike samodejno odstrani statične objekte, npr. drevesa in žerjave. Sledi polavtomatsko nadzorovano odstranjevanje ne statičnih elementov, npr. gradbene mehanizacije.

Prilagodljiv algoritem za dinamično odstranjevanje objektov (*angl. »Scalable Algorithm for Resolving Incorrect Occlusion in Dynamic Augmented Reality Engineering Environments«*) so predstavili raziskovalci ameriške univerze University of Central Florida. Ta algoritem omogoča samodejno odstranjevanje nepotrebnih elementov v vnaprej pripravljenem okolju. Dong je s soavtorji razvil robusten algoritem, ki temelji na avtomatičnem zaznavanju globine vidnega polja (*angl. »A robust depth sensing and frame buffer algorithm for handling occlusion in ubiquitous AR applications«*). Ta algoritem uporablja visoko natančne kamere za zajemanje 3D-slike v realnem času.



Prezeta slika 3-25: Odpravljanje vizualnega prekrivanja (Dong et al., 2012)

Adopted figure 3-25: Elimination of the visual correct occlusions (Dong et al., 2012)

3.7 Razširjena resničnost v grajenem okolju

Razvoj aplikacij razširjene resničnosti v grajenem okolju se je kot na drugih področjih pričel v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Enega prvih delujočih prototipov v grajenem okolju je leta 1996 izdelal Webster. Aplikacijo je poimenoval arhitekturna anatomija (*angl. »Architectural anatomy«*) in je uporabniku omogočala prikaz vgrajene armature (Webster, 1996) (Prezveta slika 3-26).



Prezveta slika 3-26: Anatomija arhitekture (Webster, 1996)

Adopted figure 3-26: Architectural Anatomy (Webster, 1996)

Raziskovalci Univerze Columbia so predstavili aplikacijo, ki je omogočala prikaz dodatnih informacij o okoliških zgradbah (Feiner et al., 1997). Pri tem prototipu je uporabnik zunaj. Sledenje je potekalo z GPS, v povezavi z magnetometrom. Predviden uporabniški scenarij: uporabnik se nahaja na območju kampusa, okolico vidi s pomočjo naglavnega zaslona in v povezavi s prenosnim računalnikom, ki ga nosi v nahrbtniku.

Ob pogledu na zgradbo vidi poleg dejanske zgradbe tudi tekstualno oznako, ki jo je s pomočjo tablice mogoče izbrati in dobiti dodatne informacije (Prezveta slika 3-27). Enako sestava strojne opreme je bila uporabljena tudi v projektu MARS (*angl. »Mobile Augmented Reality System«*) (Hollerer et al., 1999).



Prevzeta slika 3-27: Navigacijski stroj (Hollerer et al., 1999)

Adopted figure 3-27: Touring machine (Hollerer et al., 1999)

Projekt ARTHUR (*angl. »Augmented Round Table for Architecture and Urban Planning«* – ARTHUR) je sistem, ki je uporabnikom omogočal tridimenzionalni pogled medsebojnega vpliva zgradb (Prevzeta slika 3-28).

V testnem okolju je bil preizkušen uporabniški scenarij gradnje londonskega nebotičnika »Swiss- Re«. Vprašanja, na katera je bilo mogoče odgovoriti s platformo ARTUR, so bila povezana z lokacijo gradnje in z vključevanjem oblike novogradnje v okolje (Broll et al., 2001).



Prevzeta slika 3-28: Sistem ARTUR (Broll et al., 2001)

Adopted figure 3-28: System ARTUR (Broll et al., 2001)

Možnosti optimizacije delovnega procesa gradnje s pomočjo razširjene resničnosti je preučeval Behzadan. Prevezeta slika 3-29 prikazuje njegovo rešitev, ki je omogočala dinamično simulacijo gradnje. Avtor je sliki realne okolice dodal 3D CAD-modele gradbene mehanizacije. S tem naj bi bilo mogoče predvideti težave glede pomanjkanja prostora na gradbišču (Behzadan & Kamat, 2006).



Prevezeta slika 3-29: RR-simulacija delovnega procesa (Behzadan & Kamat, 2006)

Adopted figure 3-29: AR simulation of work process (Behzadan & Kamat, 2006)

Enega najbolj kompleksnih sistemov RR so razvili na Finskem v raziskovalnem centru Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Gre za unikatni sistem, ki v vseh pogledih presega okvire prej predstavljenih prototipov. Sistem omogoča integracijo BIM – IFC-modelov z živo sliko realne okolice. Programska oprema je sestavljena iz treh delov: Studio4D, Map studia in predvajalnika. Aplikacija Studio 4D kot vhodni podatek vzame 3D-model konstrukcije (format IFC) in terminski plan (format MS Project XML) in ju združi v 4D-model.

Aplikacija MapStudio se uporablja za umestitev modela v geokoordinatni sistem, pri čemer se uporablja zemljevid lokacije gradbišča, uvožen z Google Earth-a, ali pri večji željeni natančnosti tudi drugi geoprostorski podatkovni tipi (npr. GeoTiff). Uporabnik lahko model na zemljevid umesti s pomočjo numeričnih parametrov (koordinat) ali interaktivno s pomočjo miške. Predvajalnik, ki je nameščen na mobilni napravi, je dejansko končni uporabniški vmesnik, ki omogoča integracijo virtualnih elementov z realnim okoljem.

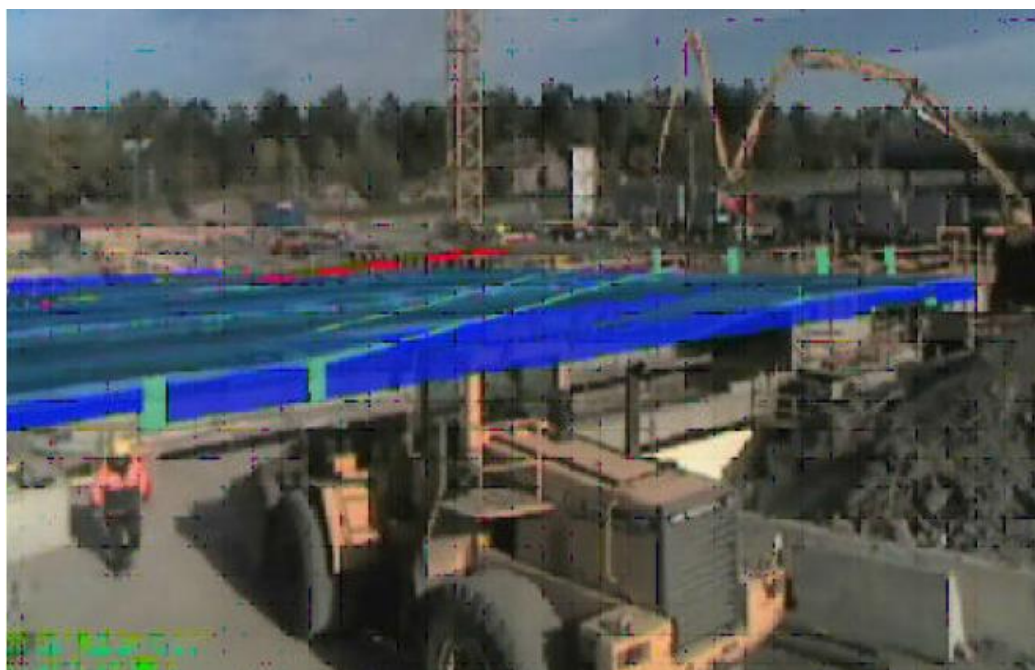
Aplikacija OnSitePlayer zagotavlja dva ločena pogleda: zemljevidni pogled na lokacijo z integriranim modelom, kot je viden z uporabnikove lokacije in s smeri gledanja, ter pogled, kjer je model zgradbe prikazan preko video posnetka dejanskega okolja v resničnem času (Prevezeta slika 3-29 in Prevezeta slika 3-30). Aplikacija prav tako omogoča, da uporabnik z mobilno napravo zajame slike pogledov, skupaj s komentarji, ki se avtomatično pripnejo v model. Vse interakcije s sistemom se odvijajo preko zaslona

na dotik na pametnem telefonu, ki služi tudi za zajemanje podatkov in njihovo prikazovanje na zaslonu (Woodward et al., 2010).



Prezeta slika 3-30: RR-prikaz vgrajenih komponent (Woodward & Hakkarainen, 2011)

Adopted figure 3-30: AR display installed components (Woodward & Hakkarainen, 2011)



Prezeta slika 3-31: RR-spremljanje procesa gradnje (Woodward & Hakkarainen, 2011)

Adopted figure 3-31: AR monitoring of construction progress (Woodward & Hakkarainen, 2011)

Leta 2012 so raziskovalci finskega inštituta VTT predstavili še prototip RR-okolja, namenjen vizualizaciji v fazi urbanističnega planiranja. Uporabnost takšne metode vizualizacije so preverili na praktičnem preizkusu, v katerem je sodelovalo dvajset mestnih uradnikov. Demonstracija vizualizacije je bila opravljena na štirih vnaprej določenih točkah, v sliko realne okolice pa so bili vključeni virtualni modeli predvidenih zgradb. Opazovalna razdalja do virtualnih objektov je znašala med 50 in 300 metri. Pri testiranju je bil uporabljen 3D-model, ki je vseboval podatke o terenu, obstoječih zgradbah in planiranih novogradnjah. Model, zapisan v formatu 3DS, je bil izdelan s programom Autodesk 3ds Max.

Po končanem terenskem preizkusu prototipa je bila opravljena anketa, na podlagi katere avtorji tega članka trdijo, da je z uporabo njihovega sistema mogoče olajšati sprejemanje odločitev in izboljšati razumevanje projektne dokumentacije (Olson et al., 2012).



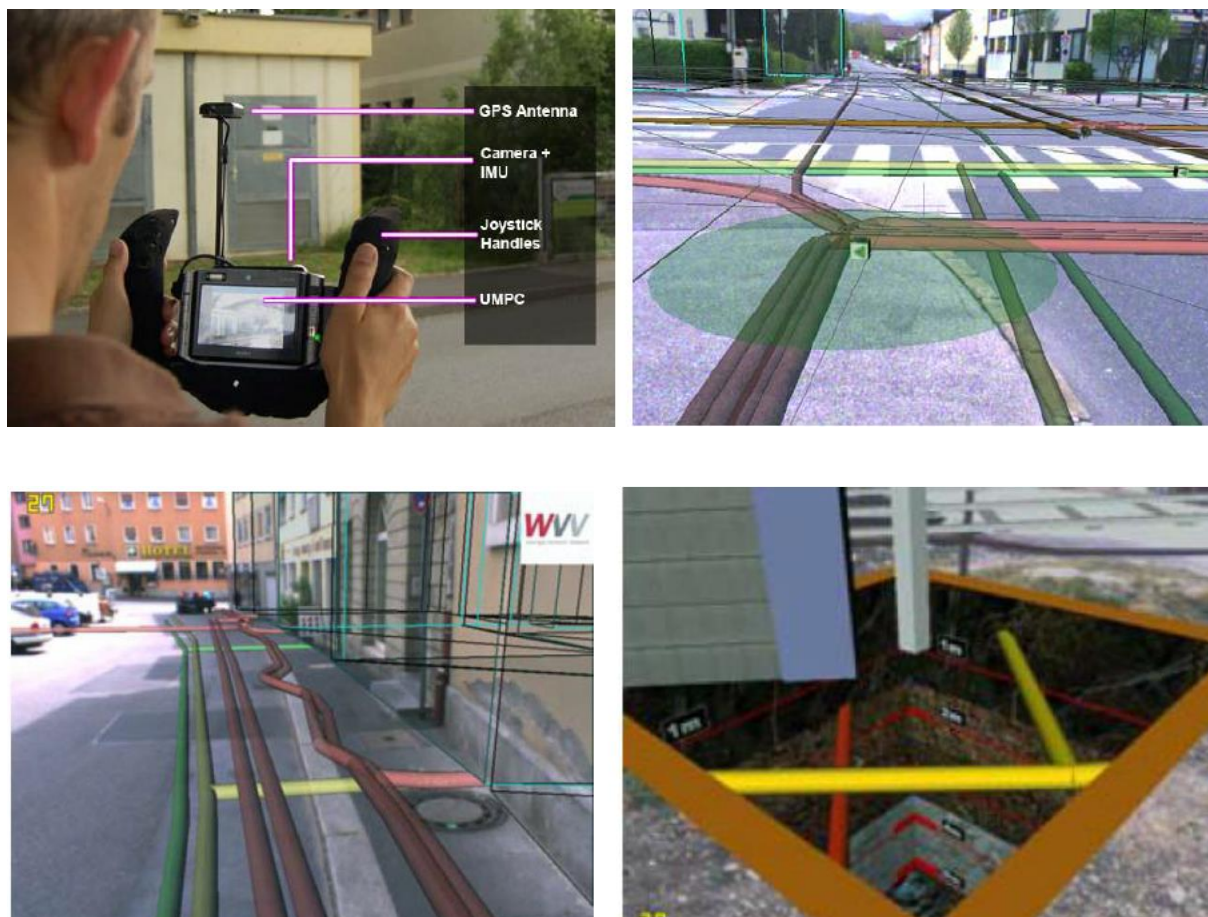
Prezeta slika 3-32: RR-urbanistično planiranje (Woodward et al., 2012)

Adopted figure 3-32: AR in urban planning (Woodward et al., 2012)

Razvoj tehnike je z izdelavo najrazličnejših naprav omogočil tudi združevanje okolja pod nivojem terena v dejanskem času in z grafičnim prikazom situacije le-tega. Z uporabo sistema Vidente lahko uporabnik s pomočjo posebne kamere vizualno analizira stanje lokalnega infrastrukturnega omrežja pod zemljo (Prezeta slika 3-33).

Z omenjeno napravo je omrežje analizirano v dejanskem času, pri čemer celoten sistem Vidente vse podatke naprave sočasno združuje s podatki o trenutni lokaciji in orientaciji te naprave (GIS-server). Posledično se vizualizacija infrastrukturnega omrežja na zaslonu naprave prilagaja lokaciji uporabnika. Poleg infrastrukturnega omrežja, kot so cevi in kabli, lahko s sistemom analiziramo tudi strukturo tal ter tako rekoč označimo oz. izvajamo virtualne izkope. Uporaba omenjenega sistema omogoča popolno prostorsko predstavo infrastrukturnega omrežja. Na ta način lahko

inženirji primerjajo ujemanje predvidene situacije z dejanskim stanjem na terenu ter brez težav določijo mesta poškodb infrastrukture (Shall, 2012).



Prevzeta slika 3-33: Sistem Vidente (Shall, 2012)

Adopted figure 3-33: System Vidente (Shall, 2012)

3.8 Mobilno in nosljivo računalništvo

Mobilno računalništvo (*angl. »Mobile Computing«*) je oblika interakcije med uporabnikom in takšno napravo, ki jo je ob uporabi mogoče prenašati. Mobilno računalništvo lahko definiramo tudi kot možnost procesiranja in obdelave podatkov brez vnaprej določene lokacije (Brazzola, 2013).

Mobilno računalništvo je mogoče predstaviti s treh perspektiv mobilne komunikacije, strojne opreme in programske opreme. Prvi vidik obravnava infrastrukturo – brezžična omrežja za prenos podatkov, to vključuje bluetooth, Wi-Fi, UMTS, LTE itd. Iz strojnega vidika spadajo v mobilno računalništvo pametni telefoni, tablični računalniki in vse ostale oblike žepnih računalnikov ter nosljivi računalniki (*angl. »Wearable computers«*) (Litchfield, 2010). Ker morajo naprave, ki sodijo v segment mobilnega

računalništva, uporabniku omogočati normalno uporabo, medtem ko je v gibanju, to izključuje prenosne računalnike (Rebolj & Mazel, 2004).

V zadnjih letih smo priča nastajanju naprav, ki naj bi nam olajšale vsakodnevna opravila. Obstaja množica mobilnih pripomočkov (pametni telefoni, tablični računalniki, pametne ure, pametna očala itd.), ki so nemalokrat sami sebi namen. Nekako se zdi, da so proizvajalci strojne opreme postali vzneseno obremenjeni s tem, kaj je v tem trenutku mogoče narediti in kaj dejansko rabimo. Proizvajalci strojne opreme leto za letom predstavljajo nove produkte, vsak nov produkt ima zmogljivejši procesor, manjšo težo, ima baterijo z daljšo življenjsko dobo, je boljše povezljiv z ostalimi elektronskimi pripomočki itd. Na nek način pa pozabljajo na bistvo, čemu so ti pripomočki dejansko namenjeni (Stein, 2013).



Prevzeta slika 3-34: Nosljive in prenosne naprave (Stein, 2013)

Adopted figure 3-34: Wearable and mobile devices (Stein, 2013)

Pri izdelavi novih naprav se je smiselno vprašati, kaj je bistvena funkcionalna prednost neke naprave. Pri nosljivem računalništvu je ta dilema še toliko večja, potrebno se je zavedati, da bo uporabnike težko prepričati, naj si namestijo očala, ki sicer ne prinašajo velike funkcionalne prednosti. Najverjetneje si ne bo nihče namestil očal, ki omogočajo zgolj ogled tekstovnih informacij, ki si jih je mogoče enostavneje

ogledati na pametnem telefonu. Za uveljavljanje novih nosljivih naprav bo potrebno zadostiti naslednjim kriterijem: (1) naprava mora omogočati nekaj, kar s pametnim telefonom ni mogoče, (2) nošenje naprave mora biti udobno v vsakem trenutku, (3) naprava mora biti enostavna za uporabo, (4) naprava mora biti estetska (Stein, 2013).

3.9 Google Glass

V času raziskovanja je na trg prišla prenosna nosljiva naprava Google Glass (Glass, 2013). Naprava omogoča dodajanje plasti virtualnih informacij v del uporabnikovega vidnega polja. Je nekakšen dodatek pametnim telefonom z operacijskim sistemom Android. Uporabniku omogoča pregled prejete pošte, podatke o zgrešenih klicih, prikaz filmov in slik, mogoče pa jo je uporabiti tudi za navigacijo. Mnenja o tem, kaj mora določena naprava omogočati, da je z njo še mogoče ustvariti razširjeno resničnost, so deljena.

Nekateri zagovarjajo mnenje, da Glass zadošča pogojem za RR- napravo, saj uporabniku ponuja ogled virtualnih plasti informacij, ki so dodane v del uporabnikovega vidnega polja (OpenGlass, 2013), (Glass, 2013). Drugi pa trdijo, da Glass ni naprava, ki bi ustrezala minimalnim standardom za obstoj RR, saj virtualne informacije niso nujno smiselno povezane z realno okolico.



Prevzeta slika 3-35: Google Glass (Glass, 2013)

Adopted figure 3-35: Google Glass (Glass, 2013)

Kot avtor doktorske naloge se pridružujem mnenju razvijalcev RR-aplikacije Layar. Glass za zdaj še ne ustreza teoretičnim pogojem, potrebnim za prikaz RR. Je pa trenutno najboljši komercialni približek nosljive RR-naprave. Glass kot del strojne opreme zadošča standardom, da postane RR- naprava, potrebno je le razviti primerno programsko opremo (Layar, 2013).

4 ARHITEKTURA IN IMPLEMENTACIJA PREDLAGANE REŠITVE

Izdelava programske opreme je inženirski proces, ki tako kot drugi inženirski procesi potrebuje planiranje in načrtovanje. To morda ni nujno za prototipe, omogoča pa, da je izdelek, četudi prototip, boljše definiran in tako bolje pomaga pri oceni trdnosti raziskovalne hipoteze. V tej disertaciji smo uporabili enega izmed generičnih procesnih modelov za razvoj programske opreme – Rational Unified Process (RUP).

4.1 Rational Unified Process (RUP) pristop razvoja programske opreme

Rational Unified Process (RUP) je primer celostnega generičnega procesnega modela, primerne za razvoj programske opreme. Celoten proces je praktično naravnani in se ne osredotoča na tehnične probleme. To je za izdelavo raziskovalnih prototipov, katerih namen ni reševanje tehničnih težav zunaj predmeta raziskovanja, še posebej pomembno (Sommerville, 2004). Sestavljen je iz štirih razvojnih faz⁷.

Vsaka izmed faz je sestavljena iz štirih disciplin poslovnega procesa, to je iz definicije zahtev, analize in oblikovanja, izvedbe, testiranja in uveljavljanja. Iteracija v RUP je dvostopenjska, saj je iteracija najprej vzpostavljena v vsaki izmed faz in nato še v celotnem procesu. Opisana platforma je zelo prilagodljiva, zato je primerna za razvoj praktičnih aplikacij v tehniških znanostih.

1. ZAMETEK – začetna faza (*angl. »Inception«*): Namen te stopnje je opredelitev okvirjev obravnavanega področja, identifikacija zunanjih identitet, ki so povezane s sistemom, in na podlagi teh podatkov pokazati, da je razvoj takšnega sistema smiseln.
2. DODELAVA – zbiranje informacij (*angl. »Elaboration«*): Namen te stopnje je razviti poglobljeno razumevanje domene problema. Zaključek te stopnje predstavlja model zahtev sistema. Prav tako je potrebno, da so definirani uporabniški scenariji v obliki UML-diagrama.
3. IZGRADNJA – konstrukcija (*angl. »Construction«*): Ta stopnja je povezana z načrtovanjem sistema, programiranjem in testiranjem. Ob koncu te stopnje je potrebno imeti izdelan delujoči sistem z vso spremljajočo dokumentacijo.
4. PREHOD – prevzem (*angl. »Transition«*): Zaključna faza RUP je priprava za prenos sistema iz razvojnega okolja v prakso.

⁷ Slovenski prevodi faz smo povzeli po (Cesnik, 2006) in (Bajec & Rupnik, 2004).

4.2 Zametek

Med letoma 2005 in 2011 je bilo objavljenih več kot 120 znanstvenih člankov na temo razširjene resničnosti v grajenem okolju (Wang et al., 2013). Kot ugotavlja Wang, vsa objavljena znanstvena dela v veliki večini povzemajo študije prototipov, ki so uporabni zgolj v vnaprej pripravljenem kontroliranem raziskovalnem okolju, na gradbišču pa pri veliki večini njihova dejanska dodana vrednost še ni bila dokazana. Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi pri pregledu člankov, objavljenih v letih 2012 in 2013.

Obstajata dve glavni vprašanji oziroma težavi, na kateri bo potrebno odgovoriti, preden bo RR postala uporabna v praksi. Prvo vprašanje, ki je obravnavano v tem poglavju, je identifikacija potencialno uporabnih področij uporabe RR. Če želimo uporabljati RR v realnih gradbenih projektih, je potrebno najprej sistematično pregledati, katera opravila je mogoče optimizirati z uporabo RR. Druga težava se navezuje na zmogljivost strojne opreme. Trenutno še vedno obstaja množica tehničnih težav, zato je potrebno predvidena opravila prilagoditi trenutnim strojnim zmogljivostim.

Generalno gledano tuji avtorji uporabo RR v grajenem okolju povezujejo s tremi uporabniškimi scenariji: (1) ogled idejne zasnove objekta in študije izvedljivosti, (2) spremljanje procesa gradnje in (3) pregled zaključenega projekta. Na splošno lahko opravila, ki jih je mogoče podpreti z RR, razdelimo v tri skupine: (1) gradnja in nadzor, (2) koordinacija, (3) interpretacija in komunikacija (Duston & Shin, 2009).

V preteklosti je bilo opravljenih nemalo študij, s katerimi so avtorji želeli pokazati, katera kombinacija tehnologij in naprav je najboljša za prikaz RR (Kang et al., 2010) (Lu et al., 2009) (Hartmann et al., 2012). Avtorji so problem, kako najbolje uporabiti razpoložljivo tehnologijo, obravnavali s teoretičnega vidika ali pa so izdelali in preizkusili posamezne komponente.

Zelo sistematično sta opravila, ki bi jih bilo mogoče optimizirati z uporabo RR, definirala Shin in Dunston (Shin & Dunston, 2008). Vsa opravila v gradbenem procesu sta razvrstila v dve skupini, to je na fizična in informacijska opravila. Definirala sta 13 fizičnih opravil in 4 informacijska. Predstavila sta podroben pregled procesov, ki so povezani s posameznimi opravili. Na koncu sta izbrala osem opravil, ki bi jih bilo mogoče optimizirati z uporabo RR. Predlagala sta izdelavo dveh RR-sistemov, vsakemu sistemu pa sta določila, kaj mora omogočati. Največji potencial se je pokazal pri osmih opravilih: (1) umeščanje v prostor, (2) zemeljska dela, (3) sledenje (4) pregled, (5) koordinacija, (6) nadzor, (7) komentiranje in (8) strateško planiranje.

4.3 Dodelava

Sistemi RR so navadno sestavljeni iz štirih komponent, te vključujejo: (1) spremljanje uporabnikove lokacije in orientacije v prostoru, (2) usklajevanje trenutne lokacije z lokacijo v virtualnem okolju, (3) procesiranje podatkov – združevanje virtualnega in realnega sveta in (4) prikaz RR (Madden, 2011), (Shin & Dunston, 2008). Komponente RR je mogoče razdeliti tudi v štiri faze: podatkovno, računsko, oprijemljivo in prikaz (Chi et al., 2013). Vsako izmed teh faz je mogoče povezati z različnimi tehnologijami in napravami.

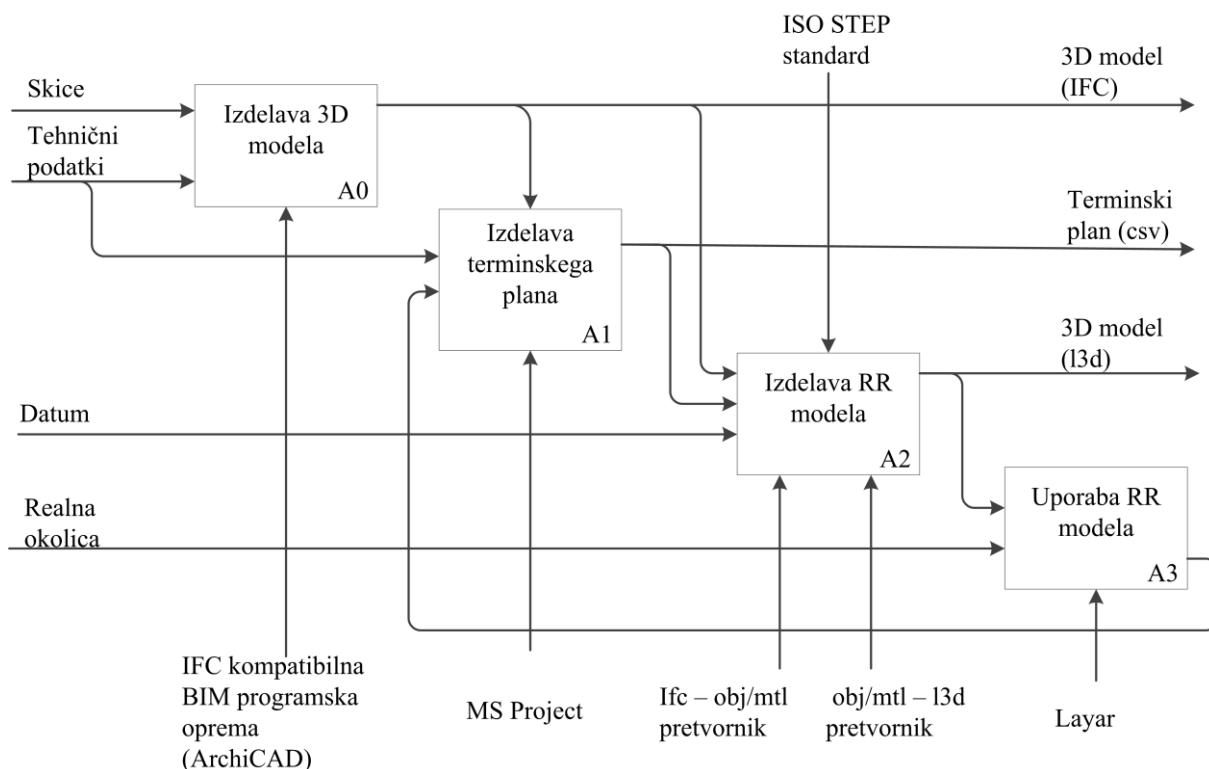
4.3.1 Izmenjava informacij v gradbenem procesu

V tem poglavju bomo pozornost posvetili pretoku informacij v gradbenem procesu. Za prikaz toka informacij smo izbrali IDEF0-diagram (Slika 4-1), s katerim je mogoče preprosto ponazoriti, kje v procesu potrebujemo kakšen podatek in zakaj. Proces smo sestavili v štiri aktivnosti: (A0) izdelava 3D-modela, (A1) izdelava terminskega plana, (A2) izdelava modela RR in (A3) uporaba RR-modela.

Prvi korak gradbenega projekta je izdelava informacijskega modela. V modelu se lahko nahajajo podatki o geometriji, o lastnostih gradnikov objekta ter terminski plan gradnje. Opravilo (A0) izdelava geometrijskega modela in (A1) izdelava terminskega plana smo predstavili ločeno, saj pri njiju sodelujejo različni mehanizmi (programska oprema). Rezultat prvega opravila je 3D-model, le-ta pa je obenem uporabljen tudi kot kontrola pri izdelavi terminskega plana.

V drugem opravilu se ustvari terminski plan. Skupek terminskega plana in geometrijskega modela je 4D-informacijski model zgradbe. Tako geometrijski model kot terminski plan je potrebno shraniti na lahko dostopno mesto. Model, primeren za prikaz v RR-okolju, se ustvari v opravilu A2. Za izdelavo tega modela potrebujemo poleg geometrijskega modela in terminskega plana še datum. V tem koraku je potrebno geometrijski model uskladiti s terminskim planom gradnje.

Zadnje opravilo (A3) je prikaz RR-okolja na mobilni napravi. V sistemu je tudi povratna zanka, saj je pri gradbenih projektih občasno potrebno prilagajati terminski plan gradnje zaradi neskladij, do katerih prihaja v procesu gradnje.



Slika 4-1: IDEF0-diagram pretoka podatkov

Figure 4-1: IDEF0 diagram of information flow

4.3.2 Primeri uporabe

Že v izhodišču te naloge smo si postavili izhodišče zahteve, kaj naj bi naš sistem omogočal. S tehnologijo, razvito v okviru disertacije, želimo gradbenikom, ki svoje delo opravljajo na terenu:

- olajšati dostop do informacij in izboljšati njihovo uporabnost,
- povečati udobnost dostopa do relevantnih informacij,
- predstaviti prednosti, ki jih tehnologija prinaša, in s tem pospešiti digitalizacijo gradbišča.

Primerjava trenutnih tehničnih zmožnosti in potreb gradbenega sektorja je pokazala, da bi bilo mogoče z razširjeno resničnostjo optimizirati delovni proces:

1. izdelave in pregleda projektne dokumentacije v fazi urbanističnega planiranja,
2. pregleda projektne dokumentacije med gradnjo,
3. pregleda vgrajenih komponent po zaključku gradnje.

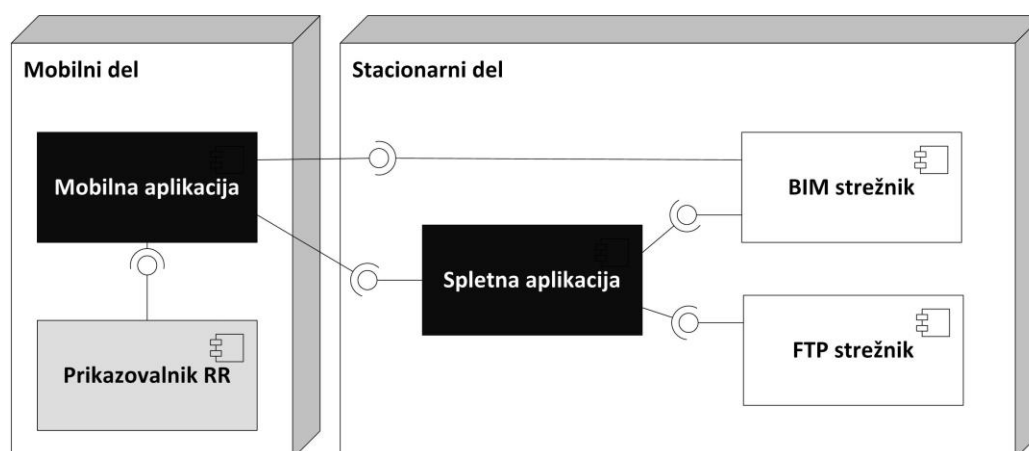
4.4 Izgradnja sistema

Obstaja več modelov razvoja programske opreme. Eden izmed njih je komponentni razvojni model (angl. »*Component Based Software Engineering*« – CBSE). CBSE postaja vedno bolj priljubljen model za razvoj kompleksnih sistemov, predvsem v primeru, ko že imamo na voljo posamezne gradnike (Cai et al., 2010).

Metoda CBSE temelji na ideji, da izberemo najustreznejše komponente in jih sestavimo v nov kompleksen sistem (Pour, 1998). S CBSE je mogoče optimizirati razvoj programske opreme tako s časovnega kot s stroškovnega vidika. Ker smo ugotovili, da že obstajajo določeni gradniki, ki bi jih bilo mogoče uporabiti, smo tudi mi uporabili CBSE.

4.4.1 Arhitekturna zasnova

Strukturno je sistem razdeljen na dva dela: mobilnega in stacionarnega. (Slika 4-2). S črno so označeni deli sistema, ki smo jih sprogramirali od začetka, in tisti, pri katerih smo uporabili nekatere že obstoječe komponente. Prikazovalnik RR je označen s sivo barvo, strežniki pa z belo.



Slika 4-2: Komponentni diagram sistema

Figure 4-2: System component diagram

4.4.2 Mobilna aplikacija

Mobilna aplikacija je program, primeren za uporabo na mobilni platformi Android. Njene funkcije so (1) vzpostavitev povezave in komunikacija z BIM in FTP-strežnikoma, (2) preverjanje uporabniških podatkov, (3) izračun trenutne lokacije na podlagi GPS- oziroma GSM-signalov, (4) ogled urnika

gradnje in v zaključku (5) zagon aplikacije RR-okolja. Komunikacija s strežnikoma poteka preko SOAP (*angl. »Simple Object Access Protocol« - SOAP*) in FTP (*angl. »File Transfer Protocol« - FTP*).

Preden smo se lotili izdelave, smo se morali odločiti za operacijski sistem (*angl. »Operating System» - OS*). Pri izberi smo upoštevali sledeče: (1) razpoložljivost odprtokodnih prikazovalnikov RR, (2) stroškovno učinkovitost in (3) tržne deleže operacijskih sistemov.

Večina prikazovalnikov (Argon, Aurasma., Karma, Junaio, Layar, Metaio, MixAre, Wikitude) je kompatibilna le z OS Google Android in z OS Apple iOS. Zato se nismo odločili za OS Windows mobile oziroma Symbian.

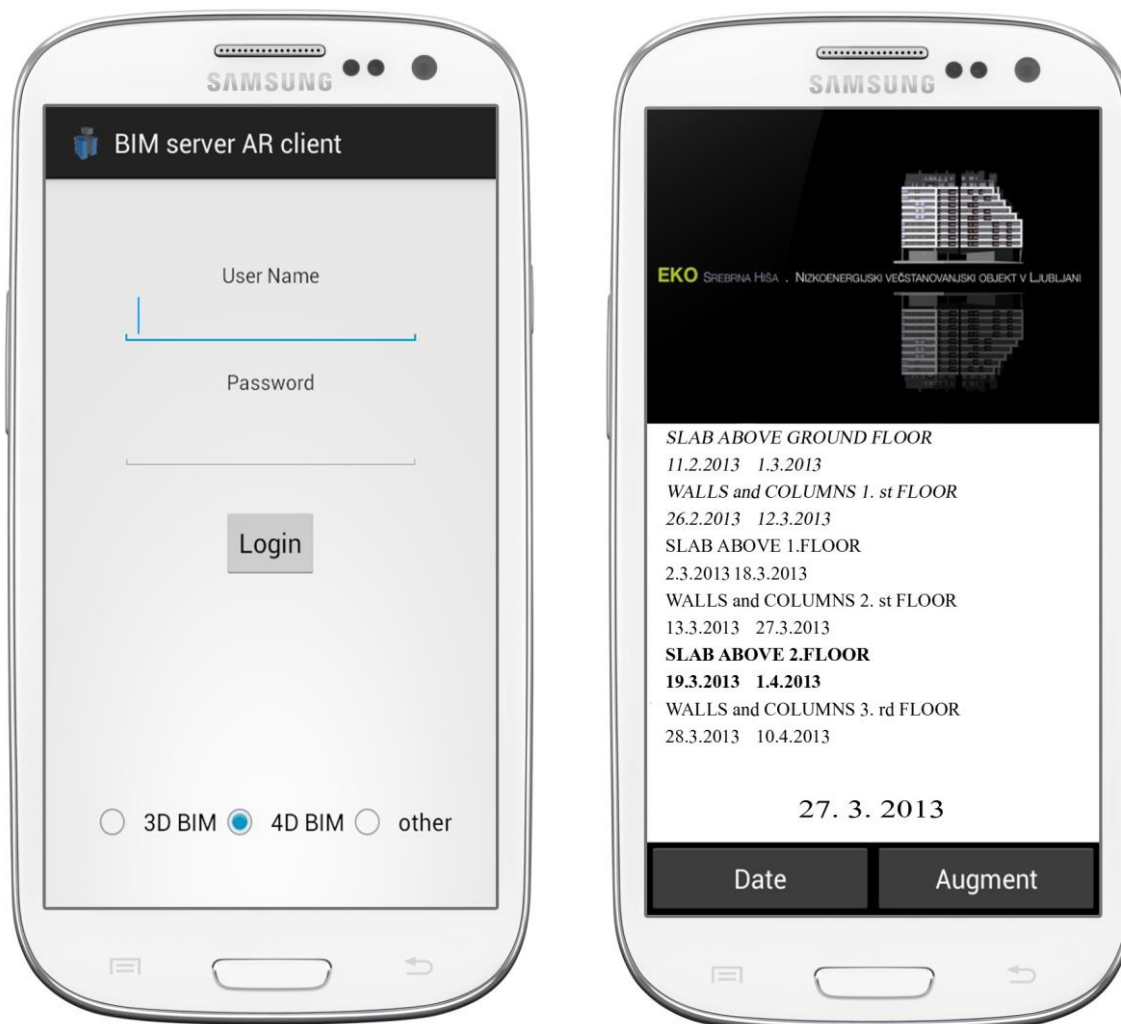
Mobilne aplikacije za OS Android je mogoče razvijati na platformah Windows, Mac OS X in Linux. Potrebno le Android paket za razvoj programske opreme (*angl. »Software Development Kit« - SDK*). Razvoj iOS aplikacij pa je mogoč zgolj v okolju Mac OS (Apple, 2014). Ker v času razvoja nismo imeli računalnika z iOS X smo dali prednost OS Android.

Pri izbiri najprimernejšega operacijskega sistema smo upoštevali splošne tržne deleže posameznih OS v Evropi in Sloveniji. Po podatkih Kantar Worldpanel ComTech OS Android močno prevladuje v Evropi. Njegov tržni delež je 70,4 %. Sledita mu iOS s 17,8 % in Windows s 6,8 %. Razlika pripada OS Symbian, BlackBerry in ostalim (GOLDHILL, 2013). Tudi v Sloveniji je bil v letu 2013 tržni delež Androida največji, razlikujejo pa se podatki o deležu ostalih OS. Drugi največji delež naj bi imel Symbian. Potrebno pa se je zavedati, da se lahko definicije pametnega telefona razlikujejo (Mobitel, 2012).

Na podlagi predstavljenih podatkov smo se odločili, da bomo aplikacijo razvili za OS Android. Android je OS za mobilne naprave in tudi obsežna odprtokodna platforma, namenjena razvoju mobilnih aplikacij. Sistem v paketu, od nizko nivojskih Linux modulov pa vse do končnih aplikacij, je povsem odprt za razvoj (Gargenta, 2011). Izvorna koda platforme – operacijskega sistema Android, ki jo razvija Google, je licencirana pod Apache / MIT licenco 2.0. OS sestoji iz štirih nivojev, Linux jedra, sistemskih knjižnic, okvirov aplikacij in dejanskih aplikacij. Končne aplikacije je potrebno napisati v programskem jeziku Java (Gargenta, 2011).

Pri aplikacijah, ki so namenjene za uporabo na mobilnih napravah, je potrebno posebno pozornost posvetiti izdelavi uporabniškega vmesnika. Aplikacije, ki so izdelane za pametne telefone, je navadno mogoče brez težav uporabiti tudi na tabličnih računalnikih. Ni pa samoumevno, da bo aplikacija, ki je napisana za tablico, delovala tudi na pametnem telefonu. Aplikacijo smo najprej prilagodili za delo s pametnimi telefoni, ki imajo običajno manjši zaslon. Pri teh aplikacijah se na zaslonu navadno izvaja

zgolj ena aktivnost. Pri nadgradnji uporabniškega vmesnika za tablični računalnik, smo uporabili fragmente, Android funkcijo s katero je mogoče na zaslonu sočasno prikazati več aktivnosti.



a) Prijavni zaslon

a) Login screen

b) Ogled urnika gradnje

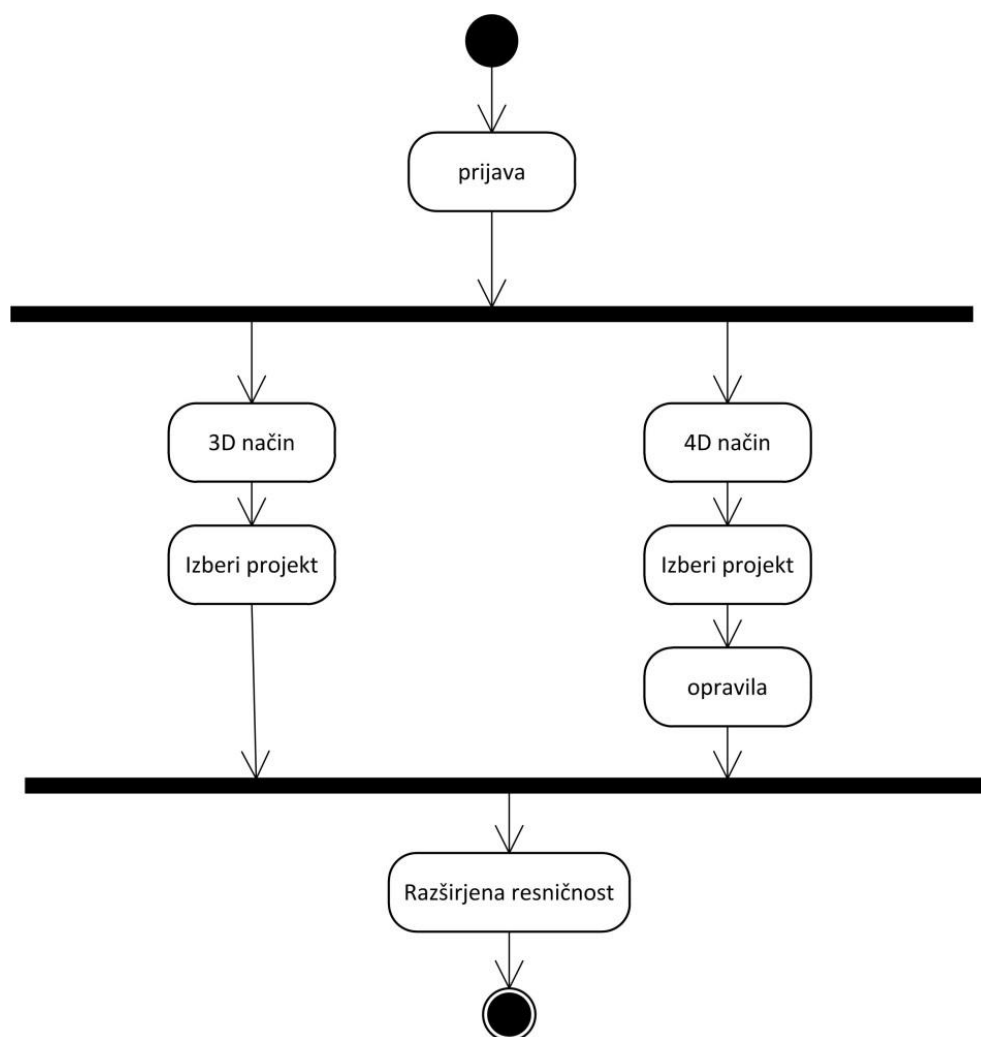
b) Schedule review activity

Slika 4-3: Prikaz delovanja na pametnem telefonu

Figure 4-3: Demonstration of operation on a smartphone

Mobilna aplikacija, ki smo jo razvili v okviru tega doktorskega dela, je sestavljena iz štirih glavnih android aktivnosti, s katerimi ima uporabnik neposreden stik (Slika 4-4).

Aplikacija uporabniku omogoča dva načina uporabe. Z njo si je mogoče ogledati gradbeni projekt v celoti (3D-način), lahko pa jo uporabimo za namen spremljanja poteka gradnje (4D-način).



Slika 4-4 : Diagram poteka delovanja mobilne aplikacije

Figure 4-4: Mobile application functioning flowchart

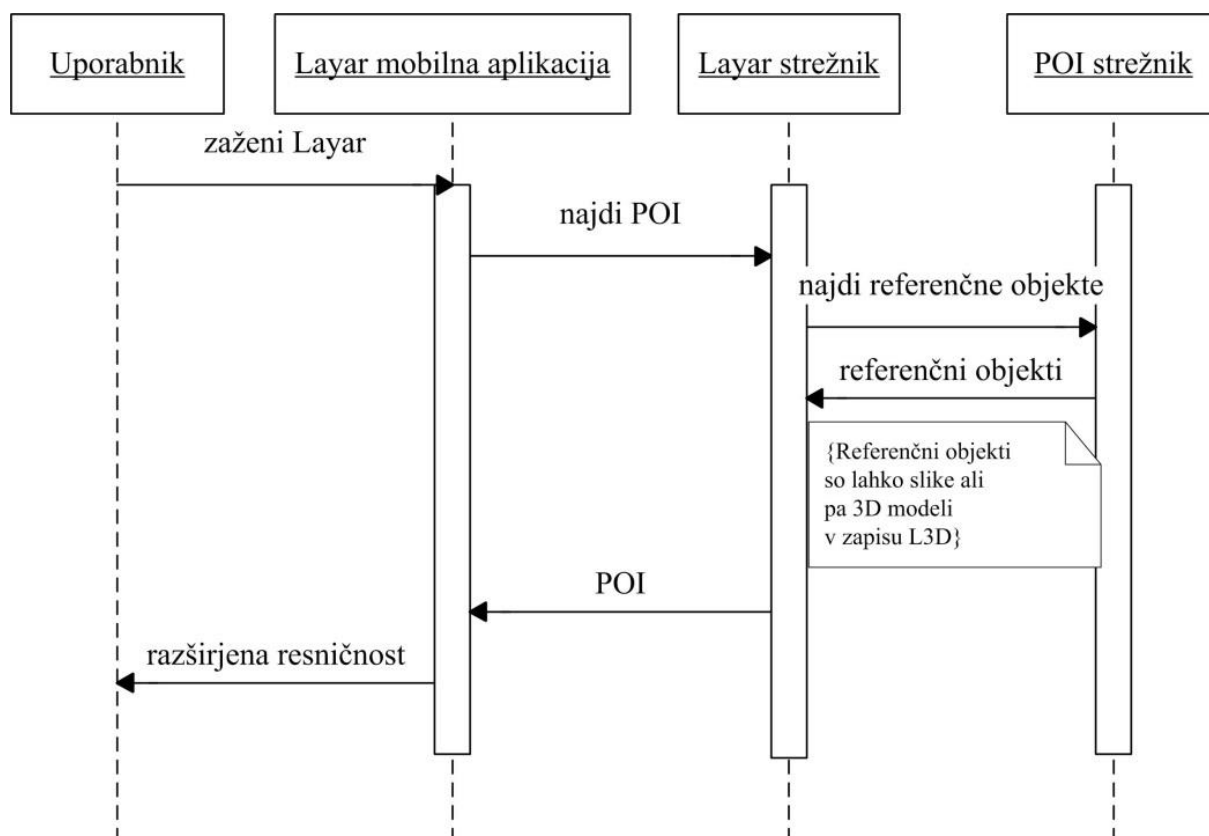
4.4.3 Prikazovalnik razširjene resničnosti

Obstaja množica komercialnih in odprtokodnih prikazovalnikov razširjene resničnosti: Argon, Aurasma, Karma, Junaio, Layar, Metaio, MixAre, Wikitude idr., ki omogočajo prikaz informacij iz digitalnega okolja v kombinaciji z živo sliko realne okolice. Aplikacije, ki tečejo na prenosni napravi, večinoma delujejo po istem principu, in sicer nenehno spremljajo podatke o uporabnikovi lokaciji in orientaciji v prostoru. Ko uporabnik pride v območje, iz katerega je vidna interesna točka (*angl.* »Point of Interest« – *POI*), aplikacija v podatkovni bazi poišče relevantne podatke in jih vključi v sliko realne okolice.

Z namenom, da bi izbrali najustreznejšo aplikacijo za nadaljnji razvoj, smo preizkusili večino izmed njih. Večjo pozornost pa smo posvetili dvema aplikacijama, in sicer Junaio in Layar, saj ti dve omogočata prikaz poljubnih 3D-modelov. V našem prototipu smo uporabili Layar, in sicer zato, ker je

modele, primerne za prikaz v Junaio, mogoče izdelati zgolj na njihovi spletni strani, Layar pa omogoča izdelavo 3D-modelov na poljubnem računalniku.

Prikazovalnikov RR, ki omogočajo prikaz 3D-modelov, ni mogoče uporabljati brez registracije virtualnih plasti na strežniku proizvajalca. Razvoj virtualnega dela razširjene resničnosti tako poteka v dveh korakih. Najprej je potrebno virtualno plast registrirati, nato pa postaviti spletno storitev, ki se odziva na klice Layar strežnika.



Slika 4-5: Sekvenčni diagram delovanja aplikacije Layar

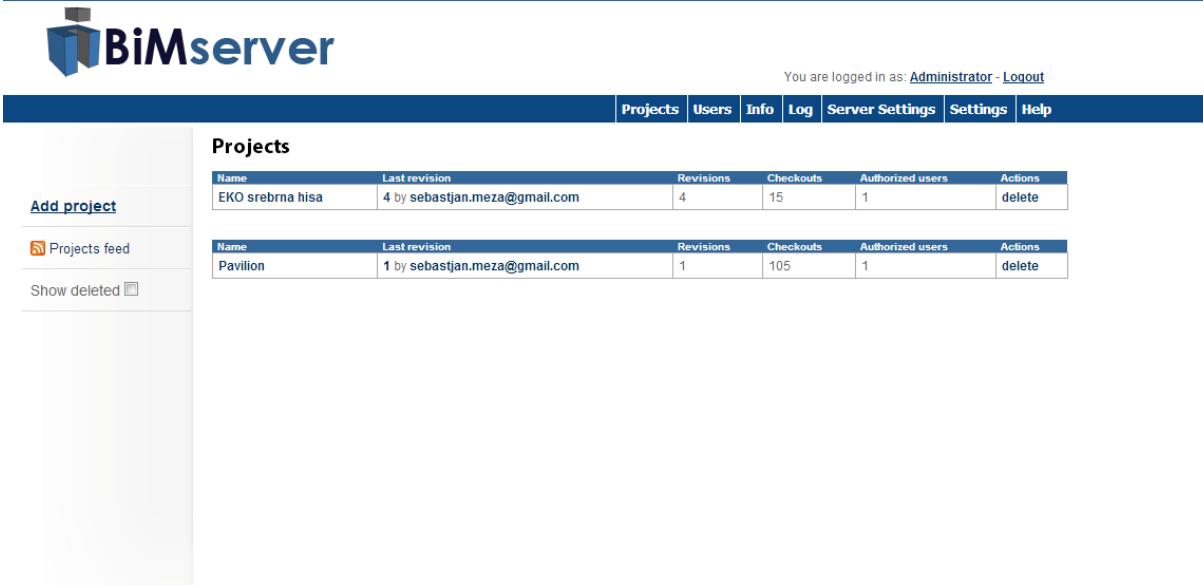
Figure 4-5: Layar functioning sequence diagram

4.4.4 BIM-strežnik

V prototipu smo uporabili različico 1.1.0 odprtokodnega BIM-strežnika (BIM server, 2013), ki je namenjen deljenju podatkov, ki jih potrebujemo v gradbenem procesu. Strežnikovo jedro je zgrajeno okoli odprtokodnega IFC STEP-standarda. IFC-podatki so interpretirani in shranjeni v primarno bazo podatkov.

Komunikacija s strežnikom je mogoča preko protokolov SOAP in REST (*angl. »Representational State Transfer« – REST*) ter preko spletnega portala (Slika 4-6). V osnovni različici strežnik podpira nalaganje datotek, zapisanih v standardnem formatu IFC 2x3 in IFC XML, iz strežnika pa je mogoče prenesti datoteke v formatih COBie, CityGML, Collada, IFC 2x3, IFC XML, KMZ in Scene JS.

Komunikacija preko protokola REST je mogoča s klici: *»ping, get all projects, get all revisions of a project, download in get download data«*. Strežniški odgovor na klic *»get download data«* je XML- ali pa JSON-datoteka, ki je zašifrirana v Base64-zapis.



The screenshot shows the BIMserver web interface. At the top left is the BIMserver logo. On the right, it says "You are logged in as: Administrator - Logout". Below this is a navigation bar with tabs: Projects, Users, Info, Log, Server Settings, Settings, and Help. The main content area is titled "Projects" and contains two tables. The first table lists projects with columns: Name, Last revision, Revisions, Checkouts, Authorized users, and Actions. The second table is similar but only shows one project.

Name	Last revision	Revisions	Checkouts	Authorized users	Actions
EKO srebrna hisa	4 by sebastjan.meza@gmail.com	4	15	1	delete

Name	Last revision	Revisions	Checkouts	Authorized users	Actions
Pavilion	1 by sebastjan.meza@gmail.com	1	105	1	delete

At the bottom left, there is a footer with the BIMserver logo and the text "(C) GNU Affero GPL v3 and others".

Slika 4-6: Spletni uporabniški vmesnik BIM-strežnika

Figure 4-6: BIM server web interface

Osnovna različica BIM-strežnika ne omogoča zagotavljanja geometrijskih podatkov, ki bi jih bilo mogoče prikazati v okolju RR. Najbolj smiselno bi bilo problema izmenjave in prenos podatkov rešiti z razvojem vtičnikov, dodatkov oziroma klientov, ki bi omogočali neposreden dostop do geometrijskih podatkov projektov.

Ker je razvoj takšnih dodatkov kompleksen in ker smo želeli naš prototip sestaviti iz že obstoječih komponent, smo uporabili dva pretvornika datotek, s katerima je mogoče doseči enak rezultat. Pretvornika sta povezana in delujeta kot spletni servis, delovanje servisa pa je podrobneje opisano v poglavju 4.4.6.

4.4.5 FTP-strežnik

Ker BIM-strežnik ne omogoča povezave geometrije objekta (3D BIM) s časovno komponento (4D BIM), mi pa smo te informacije potrebovali, smo morali poiskati drugačen način. Ena izmed potencialnih rešitev je bila uporaba CSV-datoteke (*angl. »Coma Separated Value File«- CSV*), v kateri so zapisani podatki o elementih IFC-datoteke in njihova povezava s terminskim planom.

Tako pripravljene podatki so lahko spravljene kjerkoli na spletu. V predlagani rešitvi smo uporabili FTP-strežnik, konkretnije: uporabili smo FTP-strežnik, ki je del odprtokodnega paketa spletnih strežnikov XAMPP (XAMPP, 2013). Pri testiranju te komponente nismo opazili nikakršnih posebnosti.

4.4.6 Spletni servis

Spletni servis je aplikacija, ki teče na strežniku, njen namen pa je posodabljanje L3D-modela (*angl. »Layar 3D«*), tako da je ta skladen s terminskim planom. Aplikacija neprekinjeno sinhronizira projekte, ki se nahajajo na BIM-strežniku s terminskim planom, ki je naložen na FTP-strežnik. Komunikacija z BIM-strežnikom poteka preko SOAP. Pri vsaki iteraciji je celoten model prepisan štirikrat:

1. IFC-datoteka se prenese iz BIM-strežnika in se dešifrira iz Base 64.
2. Iz IFC-modela se odstranijo vsi elementi, ki še niso na terminskem planu.
3. IFC-model se pretvori v OBJ/MTL-model.
4. OBJ/MTL-model se pretvori v L3D-model. Končni model se naloži na FTP-strežnik, kjer je pripravljen za uporabo v prikazovalniku Layar.

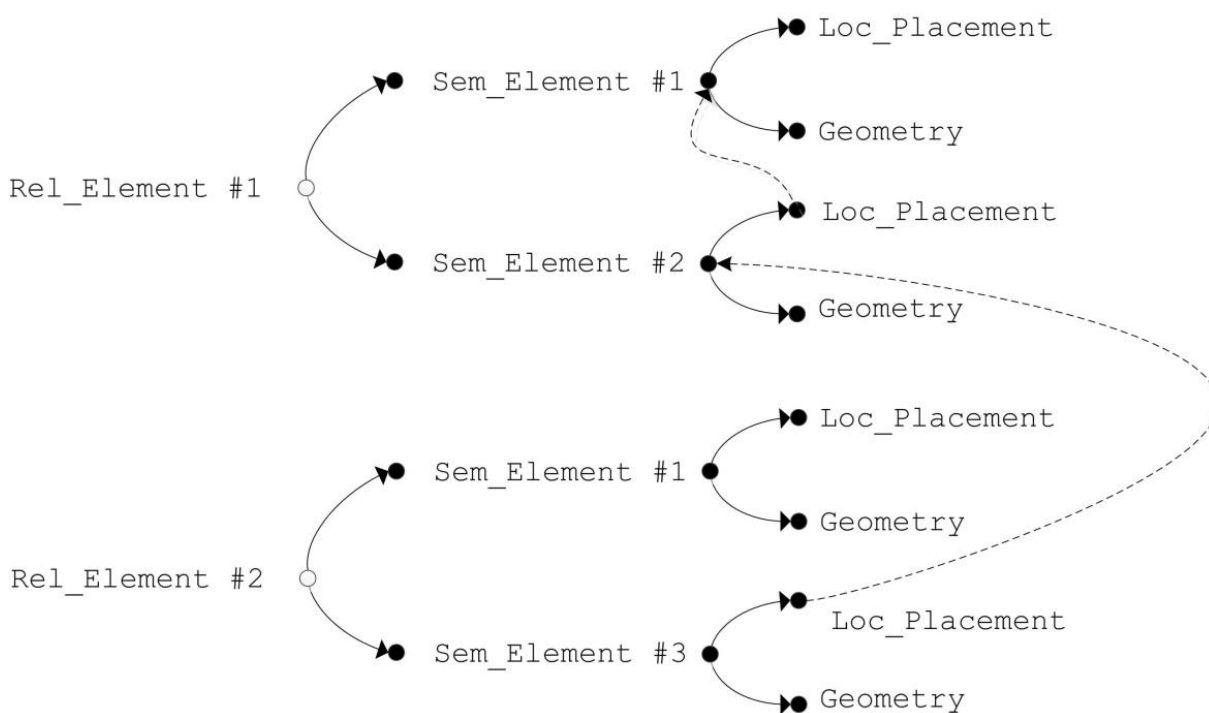
Aplikacijo smo izdelali s programskim jezikom Java. Poleg vgrajenih knjižnic smo pri vsakem koraku uporabili še določene zunanje komponente. Za prenos datoteke in dekodiranje iz Base 64 smo uporabili sledeče knjižnice iz paketa apache commons. V drugem smo uporabili Open IFC Tools (OIFCT), v tretjem IfcOpenShell – IfcConvert in v zadnjem Layar L3D-model converter.

V prvih testiranjih smo uporabili IfcOpenShell – IfcConvert converter različico 0.3.0 in Layar L3D-model converter različico 3.0.2. V zadnjem krogu testiranj smo IfcConvert converter nadgradili na različico IfcOpenShell 0.4.0 rc in Layar L3D-model converter na različico 3.1.0.

Kot najzahtevnejši se je izkazal drugi korak, v katerem je potrebno prebrati IFC-datoteko, jo razdeliti po elementih, odstraniti nepotrebne elemente in nazadnje ponovno sestaviti novo IFC-datoteko. Pri manipulaciji z elementi smo si pomagali z Open IFC Tools (OIFCT) (OpenIFC, 2010). Z OIFCT je mogoče prebrati IFC – STEP-datoteko in iz nje izbrisati določene elemente.

Na žalost smo pri testiranju pogosto naleteli na težave, saj OIFCT pri tem, ko odstrani določen element, ne prilagodi ostalega dela datoteke. Zato je potrebno paziti, da element, ki ga nameravamo odstraniti, ni povezan s katerim drugim elementom.

Struktura celotne IFC-datoteke in logika zapisa sta podrobneje predstavljena v prilogi B, na sliki (Prevzeta slika 4-1) pa je prikazan le odnos med elementi, njihova geometrija in njihova lokacija v prostoru (Vanlande et al., 2008).



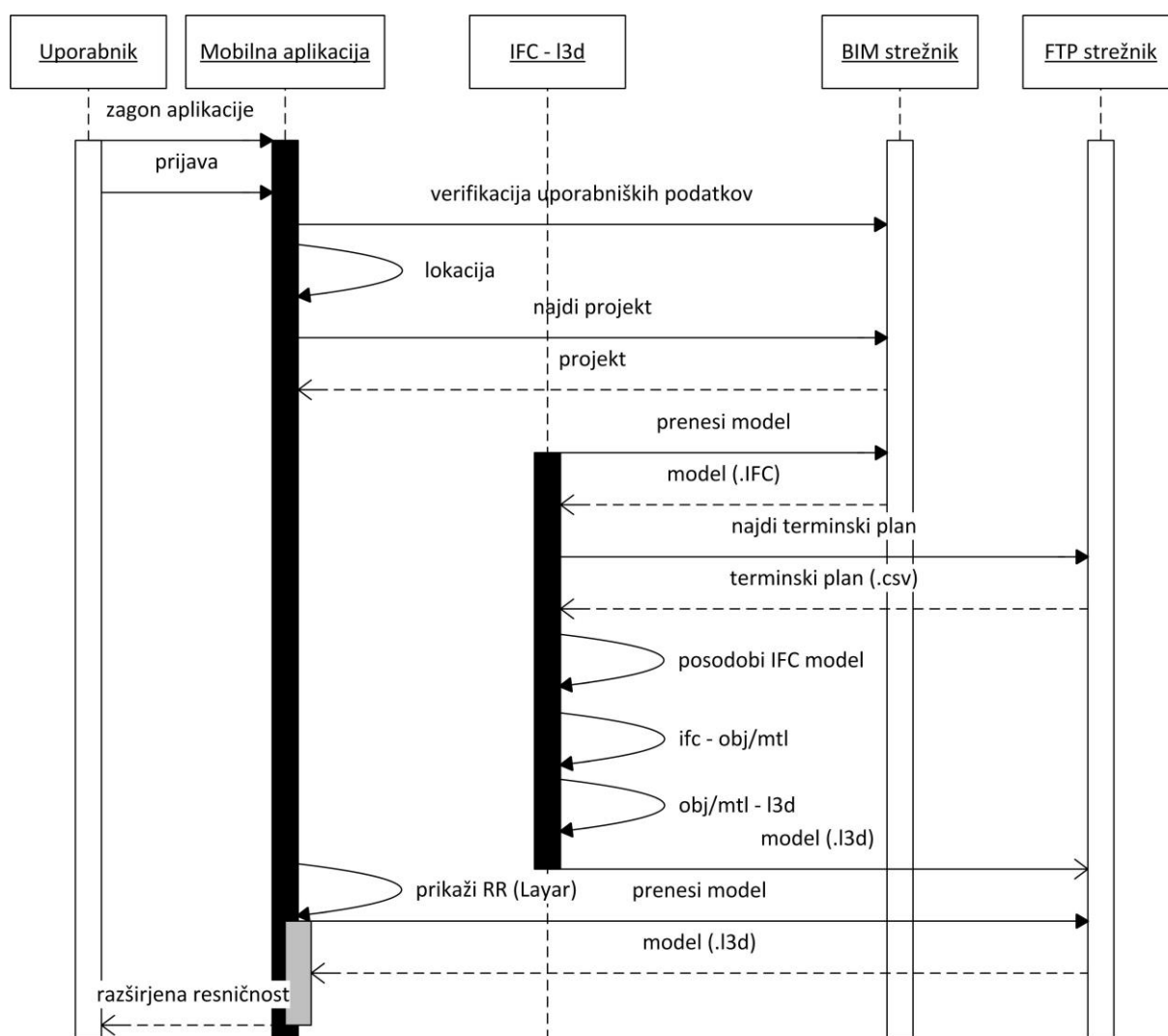
Prevzeta slika 4-1: Direktne in indirektne povezave med IFC-elementi (Vanlande et al., 2008)

Adopted figure 4-1: Direct and indirect links between IFC elements (Vanlande et al., 2008)

Manipulacija elementov iz IFC-datotek se je izkazala kot zelo zahtevno opravilo, saj vsak program pri izvozu IFC-datotek uporabi svojo logiko. Problemi manipulacije z elementi IFC-datoteke so natančneje prikazani na praktičnem primeru testiranja.

4.4.7 Delovanje sistema

Sekvenčni diagram (angl. »Sequence diagram«) delovanja sistema je prikazan na sliki (Slika 4-7). S slike je razvidno le delovanje sistema potem, ko so vsi vhodni podatki (informacijski model in terminski plan gradnje) že naloženi na strežnika BIM in FTP. Vhodne podatke je mogoče v vsakem trenutku spremeniti preko spletnega vmesnika omenjenih strežnikov. Barve komponent so enake tistim iz komponentnega diagrama (Slika 4-2).



Slika 4-7: Delovanje sistema – diagram zaporedja

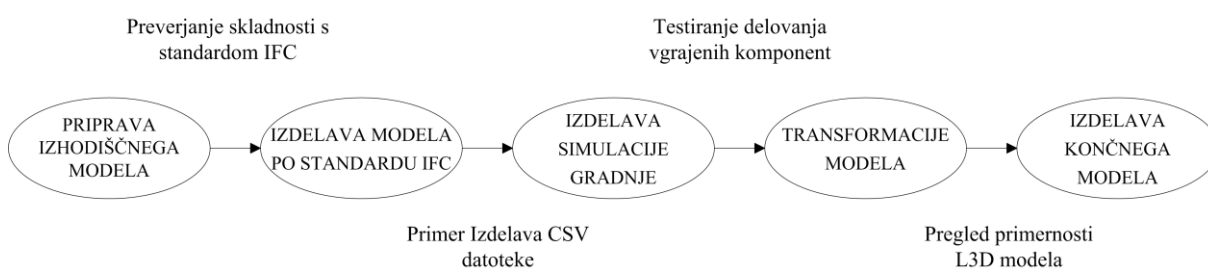
Figure 4-7: Functioning of system - sequence diagram

Proces, ki je prikazan na sliki (Slika 4-7), je avtomatiziran. Prenos podatkov med strežniki in mobilno napravo se zgodi avtomatsko, tako da uporabniku ni potrebno ročno prenašati datotek na mobilno napravo.

4.5 Testiranje sistema

V tem poglavju so predstavljeni rezultati testiranja sistema (Slika 4-8). Našo pozornost smo usmerili predvsem v določanje robnih pogojev, pri katerih je sistem uporaben. Povedano drugače: testirali smo strojne zmogljivosti mobilnih naprav in strežnikov ter kompatibilnost BIM-programov s standardom IFC in delovanje pretvornikov, ki smo jih uporabili v sistemu.

Rezultat teh testiranj je model, ki ga je mogoče uporabiti na terenu. Dejanska dodana vrednost našega sistema pa je podrobneje obravnavana v naslednjem poglavju. Testiranje smo najprej opravili na modelu realnega projekta EKO srebrna hiša. Test smo ponovili na predstavitvenem modelu programa Autodesk Revit. Vsi testi so bili opravljeni v štirih korakih. V nadaljevanju so prikazani vmesni koraki testiranja. Pri uporabi sistema je ta proces z izjemo določanja materialnih lastnosti avtomatiziran.



Slika 4-8: Faze testiranja prototipa

Figure 4-8: Stages of the prototype testing

4.5.1 Testni primer 1 – EKO srebrna hiša

Pri testiranju smo uporabili BIM-programsko opremo Graphisoft ArchiCAD 16. Začetni model je bil relativno kompleksen, vseboval je arhitekturne in strukturne elemente. Poleg zgradbe pa so bili v modelu tudi elementi okolice, okoliške ceste, obstoječe zgradbe, drevesa idr. (Slika 4-9).

Takšni elementi so zelo zaželeni v začetni fazah gradbenih projektov pri izdelavi idejnih načrtov. Z njimi je mogoče ustvariti foto realistične vizualizacije. Primarni namen teh vizualizacij je umeščanje objektov v prostor v fazi urbanističnega planiranja. Ker je na relativno enostaven način mogoče ustvariti vizualizacijo objekta z vseh mogočih pogledov, so takšni posnetki uporabni tudi za prepričevanje predstavitev idejnih rešitev tehnično nepodkovanim investitorjem.

V začetnih fazah so okoliški elementi zelo uporabni, kasneje pa lahko predstavljajo veliko težavo. Dve glavni težavi, ki izhajata iz modeliranja okolice objektov, sta (1) velikost modelov in (2) elementi, ki

navadno niso standardizirani in jih zato posledično ni mogoče pretvoriti v standardne modele, kot na primer IFC.



Slika 4-9: Vizualizacija okolice zgradbe

Figure 4-9: Visualization of building surrounding

4.5.1.1 Priprava izhodiščnega modela

Prvi korak je priprava začetnega modela. Iz modela je najprej potrebno odstraniti vse nestandardne elemente. Iz originalnega ArchiCAD-modela (Slika 4-10) smo odstranili vse arhitekturne elemente okolice, ki niso bili neposredno povezani s projektom.

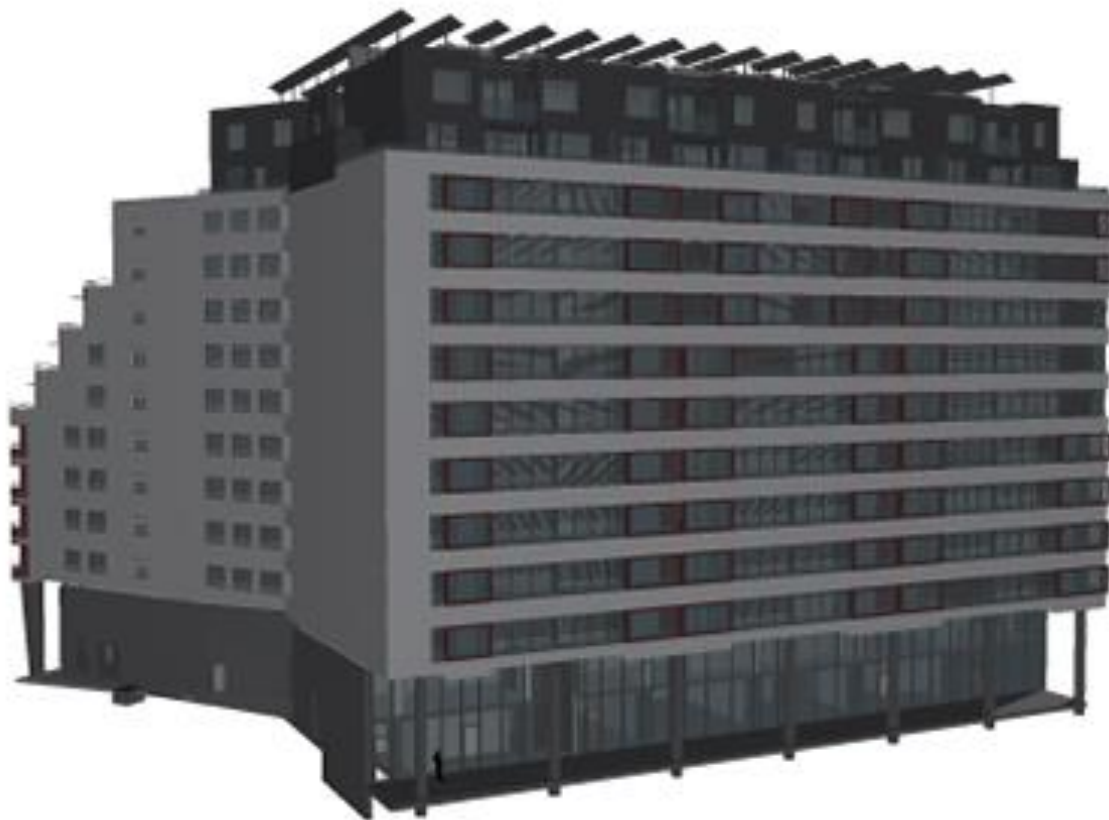


Slika 4-10: Originalni model EKO srebrne hiše

Figure 4-10: Original model EKO silver house

Na ta način nam je uspelo razpoloviti velikost modela. Začetni model je bil velik 25.4 MB. Ko smo odstranili okolico, smo dobili model velikosti 10.6 MB. Model brez okolice je viden na sliki (Slika 4-11). Pri odstranjevanju okolice je potrebno paziti na koordinatno izhodišče projekta.

ArchiCAD namreč pri izvozu projekta v format IFC kot koordinatno izhodišče zapiše najbolj skrajno točko, ki je bila kadarkoli ustvarjena med izdelavo modela. Zgradbo je potrebno prestaviti v izhodišče, ker drugače ni mogoče pravilno izvoziti OBJ-datoteke.



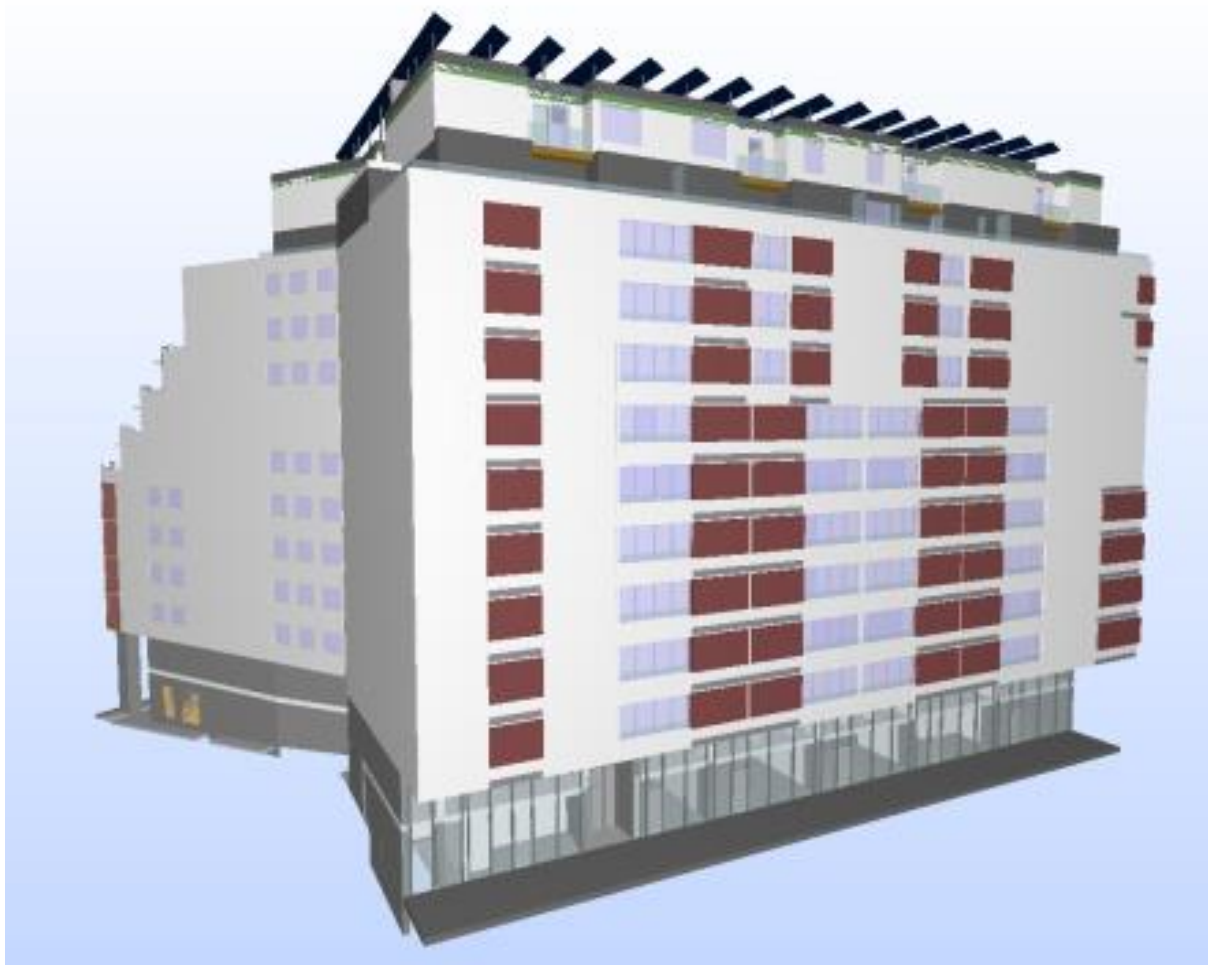
Slika 4-11: Prilagojen model EKO srebrne hiše

Figure 4-11: Modified model EKO silver house

4.5.1.2 Izdelava modela po standardu IFC

Drugi korak je priprava oziroma izvoz IFC-modela (Slika 4-12). Pri izvažanju IFC-datoteke je potrebno paziti, da je rezultat kompatibilen z IFC – SPF-standardom, ki je definiran v ISO 10303-21 ("STEP-File"). Navadno se ni mogoče povsem izogniti napakam pri izvažanju in pretvarjanju modelov. Tudi pri našem poizkusu je pri izvozu prišlo do določenih neskladij. Povzetek neskladij je viden v tabeli (Preglednica 4-3). Na sliki (Slika 4-12) je prikazan IFC-model, ki smo ga izvozili iz ArchiCAD. Za prikaz IFC-modela smo uporabili program Solibri (Solibri, 2013).

Ker je ArchiCAD komercialno orodje, algoritem izdelave IFC-modelov ni javno dostopen. Smo pa pri testiranju opazili, da prihaja do problemov, če elemente modela, ki naj bi v naravi predstavljali enak element, večkrat zapišemo v različne plasti. V programu ArchiCAD je mogoče te plasti skriti, ko pa model izvozimo v IFC, se ti elementi pojavijo večkrat.



Slika 4-12: Testni IFC-model EKO srebrne hiše

Figure 4-12: IFC test model EKO silver house

4.5.1.3 Izdelava simulacije gradnje

Tretji korak je priprava modela za simulacijo gradnje 4D BIM. Takšen model in simulacijo je mogoče opraviti z različnimi komercialnimi programi, npr. z Autodesk Navisworks, Vico Office 4D manager itd. Problem tega pristopa je, da nobena komercialna aplikacija ni kompatibilna s prikazovalniki RR. Geometrijo zgradbe je tako potrebno povezati s terminskim planom na drugačen način. Mi smo pri poskusu elemente IFC-modela povezali z opravili v CSV-datoteki. Pri takšnem pristopu pa smo naleteli na dve vrsti težav, na (1) tehnične in (2) praktične.

Tehnične težave so povezane s strukturo IFC-datoteke. Elementov iz IFC-modela ni mogoče odstraniti poljubno, saj so medsebojno povezani. Preden izbrisemo element je potrebno preveriti, da se nanj ne sklicuje kateri drugi element.

Glavna praktična težava je zamudnost postopka, saj je potrebno vsakemu elementu iz modela določiti, pri katerem opravilu se bo pojavil v modelu. Naš model je bil v osnovi sestavljen iz več kot 10 000 elementov, zato ročno povezovanje ni bilo mogoče. Takšen način povezovanja niti ni smiseln, saj so opravila v terminskem planu definirana grobo. Navadno ni definirano, kdaj se bo gradila katera stena, definiran je sklop betoniranja celega nadstropja.

Na sliki (Slika 4-13) je prikazan algoritem, s katerim odstranjujemo posamezne elemente z unikatnimi GUID iz IFC STEP datotek. Program najprej prebere celotno datoteko, odstrani predhodno definirane elemente in ustvari novo datoteko.

```
/**
 * Ta metoda ustvari nov model brez željenih elementov
 * @param IFCfileName
 *     ime obstoječe datoteke
 * @param modifiedIFCfileName
 *     ime nove datoteke
 * @param remove
 *     množica oznak GUID elementov, ki jih želimo odstraniti
 */

public void removeElements(String IFCfileName,
                          String modifiedIFCfileName, String[] remove) {

    IfcModel ifcModel = null;

    try {
        ifcModel.readStepFile(fileIFCread);
    } catch (Exception e) {
        System.out.print("Error could not read IFC file.");
    }

    for (String s : remove) {
        ifcModel.removeIfcObjectByID(s.trim());
        System.out.println("Removed element: " + s);
    }

    try {
        ifcModel.writeStepfile(fileIFCwrite);
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
```

Slika 4-13: Pseudokoda za odstranjevanje elementov iz IFC STEP datotek

Figure 4-13: Remove elements from IFC STEP file pseudo code

V kodi smo uporabili funkciji `readStepFile` (Slika 4-14) in `removeIfcObjectByID` (Slika 4-15). Funkciji sta del paketa `openifctools.com.openifcjavatoolbox.ifcmodel`, `OpenIfctools` (OpenIFC, 2010)

```
/**
 * This method reads a IFC STEP file and initializes the described
 * Objects.
 * Those objects can be accessed and manipulated using the IfcModel's
 * methods.
 * @param file
 *         path to the IFC STEP file
 */
public void readStepFile(File file) throws Exception {
    IfcStepParser parser = initReadStepFile();
    parser.readStepFile(file);
    finishReadStepFile(parser);
}
```

Slika 4-14: Funkcija za branje IFC STEP datotek

Figure 4-14: Read IFC STEP file funkcija

```
/**
 * This method removes an IFC Object from the IfcModel.
 * @param globalUniqueID
 *         GUID of the IFC object to remove
 */
public void removeIfcObjectByID(String globalUniqueID) {
    IfcClass ifcObject = getIfcObjectByID(globalUniqueID);
    if (ifcObject != null) removeIfcObject(ifcObject);
    // event is fired by removeIfcObject method
}
```

Slika 4-15: Funkcija za odstranjevanje elementov iz IFC STEP datotek

Figure 4-15: Remove elements from IFC STEP file function

V nadaljevanju je potrebno ustvariti elemente z materialnimi lastnostmi. Lastnosti materialov se v model dodajo s funkcijo `addIfcObject` (Slika 4-16). Sledi še sprememba povezave med elementom in novo ustvarjenim materialom. Spreminjanje materialnih lastnosti v IFC datotekah je detajlno predstavljen v poglavju 4.5.2.3.

```
/**
 * This method adds a IFC Object to the IfcModel.
 * @param ifcObject
 *         object to add
 */
public void addIfcObject(IfcClass ifcObject) {
    objectList.add(ifcObject);
}
```

```

int name = getMaxEntityInstanceName() + 1;
ifcObject.setStepLineNumber(name);
entityInstanceNameCacheMap.put(name, ifcObject);
if (ifcObject instanceof IfcRoot) guidCacheMap.put(
    ((IfcRoot) ifcObject).getGlobalId().getDecodedValue(),
    ifcObject);
updateTypeSetCacheMap(ifcObject, true);
ifcObject.addIfcObjectChangeListener(this);
fireModelEvent(new IfcModelEvent(IfcModelEvent.OBJECT_ADDED,
ifcObject));
}

```

Slika 4-16: Funkcija za dodajanje elementov v IFC STEP datoteko

Figure 4-16: Add elements to IFC STEP file

4.5.1.4 Transformacije modela

Četrty korak je transformacija IFC-datoteke v datoteki OBJ in MTL. V OBJ-datoteki se nahajajo podatki o geometriji objekta, v MTL-datoteki pa lastnosti materialov. Za to transformacijo smo uporabili IfcOpenShell – IfcConvert pretvornik modelov. Izkazalo se je, da v tem koraku prihaja do velike izgube podatkov. OBJ/MTL-model smo odprli s programoma Autodesk 3ds Max 2013 in Blender. Izkazalo se je, da se je izgubila večina lastnosti materialov. Podrobna analiza težav povezanih z lastnostmi materialov se nahaja v poglavjih 4.5.2 in 4.5.3.

Izguba podatkov o lastnostih materialov je problematična predvsem takrat, kadar želimo vizualizirati celoten model in ne posameznih komponent. Poleg problemov z lastnostmi materialov smo pri testiranju opazili problem s potjo do MTL-datoteke. IfcOpenShell – IfcConvert converter - 0.3.0 pri pretvorbi zapiše celotno sistemsko pot do MTL-datoteke, za nadaljnje transformacije pa je potrebno nastaviti relativno pot. V prototipu smo pot programsko spremenili.

Pri testiranju smo naleteli tudi na težave z orientacijo modela v prostoru. Ta problem je mogoče rešiti pri naslednji transformaciji, pri izdelavi L3D-modela, saj je eden izmed vhodnih parametrov Layar pretvornika orientacija modela v prostoru. Programsko smo nastavili rotacijo modela za + 90 stopinj okoli x osi. Zadnja pomanjkljivost Open IFC Tools pretvornika modelov je počasnost. Pri testiranju smo uporabili računalnik z dvojednim procesorjem Intel Core i5 in 8 GB-pomnilnika, pri uporabi takšne programske opreme traja pretvorba IFC-modela velikosti 45 MB približno 5 minut.

4.5.1.5 Izdelava končnega modela

V petem koraku se izdelali končni L3D-model. Za transformacijo OBJ/MTL-modela v L3D-model smo uporabili Layar L3D-model pretvornik. Pretvornik se je izkazal kot zelo zanesljiv, saj pri uporabi ni

prihajalo do izgube podatkov. Je pa pri izdelavi L3D-modela potrebno paziti na kompleksnost modela, priporočeno maksimalno število ploskev je 10 000 (Layar, 2013). To je kar petdesetkrat manj kot število ploskev, ki smo jih dobili iz začetnega modela. Na sliki (Slika 4-17) je le posnetek Layar posnemovalnika (*angl. »Emulator«*).



Slika 4-17: Testni L3D-model EKO srebrne hiše

Figure 4-17: L3D test model EKO silver house

V tabeli (Preglednica 4-1) so prikazani odnosi med velikostmi elementov in kompleksnostjo modela.

Preglednica 4-1: Podrobni podatki o modelu

Table 4-1: Model details

	Začetni ArchiCAD-model	Prilagojen ArchiCAD-model	IFC-model, pridobljen iz prilagojenega modela	OBJ in MTL datoteki, pridobljeni iz prilagojenega modela	L3D model, pridobljen iz prilagojenega modela
Velikost	25.4 MB	10.6 MB	45.7 MB	74.2 MB	37.0 MB
Elementi	10 016	5 703	8 987	-	-
Materiali	150	25	20	8	8
Ploskve	-	-	-	564 206	564 206

4.5.2 Testni primer 2 – predstavitveni model Revit 2013

Pri izdelavi testnega modela smo uporabili Autodesk Revit 2013. Kot osnovo smo vzeli vzorčni projekt, ki je priložen programu. Za vzorčni projekt smo se odločili, ker je izdelan kvalitetno. Model je sestavljen iz standardnih in nestandardnih elementov, vsebuje standardne in nestandardne materiale, teksture idr. Predvidevali smo, da bomo z uporabo vzorčnega modela v kar največji meri zaobšli težave pri pretvarjanju modela v zapis IFC. Vizualizacija začetnega modela je prikazana na sliki (Slika 4-18). Izhodiščni model je bil sestavljen iz 423 elementov, velikost datoteke RVT je bila 6,7 MB.



Slika 4-18: Originalni model drugega testnega primera

Figure 4-18: Original model 2nd test example

4.5.2.1 Priprava modela

Tudi pri drugem testnem primeru smo iz modela odstranili elemente, ki se nahajajo v notranjosti objekta. Odstranili smo zgolj elemente, ki se nahajajo za neprosojnimi stenami. Pohištvo v pritličju smo pustili. Prav tako smo odstranili okolico, saj bo v RR-pogledu ta realna. Po obdelavi je bil model sestavljen iz 394 elementov, velikost modela se z odstranjevanjem elementov ni spremenila.

4.5.2.2 Izdelava modela po standardu IFC

Kljub temu da naj bi bil Revit 2013 kompatibilen s standardom IFC, naletimo na težave že, če model iz programa Revit izvozimo in potem isti model uvozimo v program. Glavne težave se pojavijo, kadar so v modelu uporabljeni nestandardni elementi in predvsem nestandardne lastnosti objektov, npr. materiali. Iz slike (Slika 4-19) je razvidna izguba podatkov o materialih. Na sliki (Slika 4-19) je prikazan zaslonski posnetek IFC-prikazovalnika Solibri.



Slika 4-19: Drugi primer IFC-modela

Figure 4-19: IFC-model 2nd example

Podrobnosti o povezavah v standardnem zapisu IFC se nahajajo v prilogi B, na tem mestu pa je s primerom opisan zapis ene izmed zunanjih sten. S tem smo želeli pokazati, kako so definirani materiali v tej steni in na katere povezave je potrebno paziti, ko želimo skriti oziroma odstraniti ta element. Prikazane so poenostavljene povezave med IFC-entitetami.

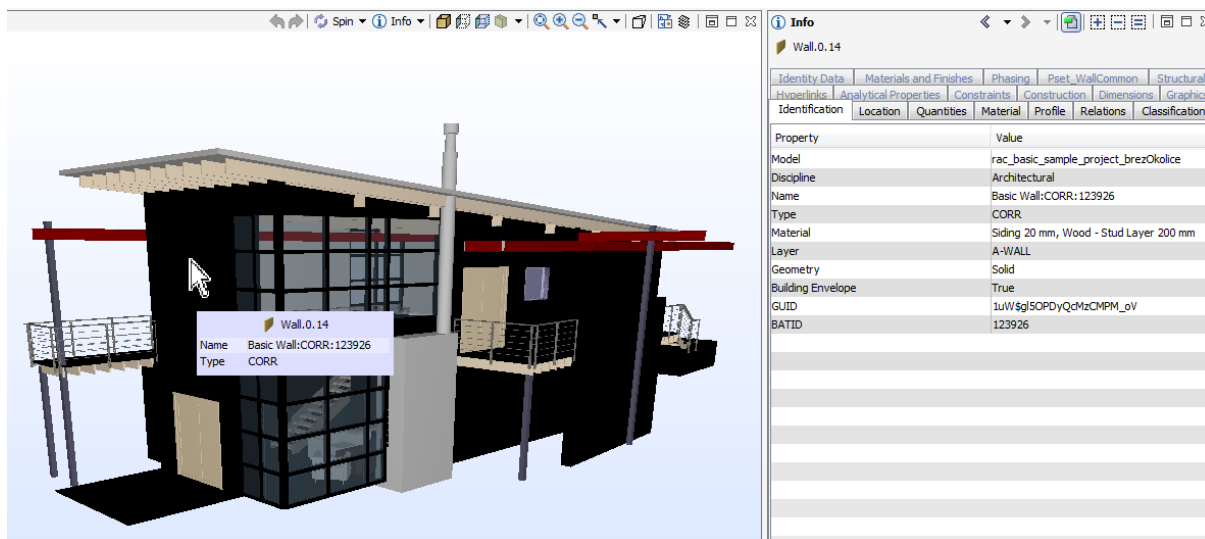
V standardu IFC 2.3 je entiteta `IfcWallStandardCase` podrazred `IfcWall`, ta pa je podrazred `IfcBuildingElement` itd. Materiali, ki se navezujejo na eno entiteto, so lahko podedovani od nad razredov ali pa so ponovno definirani z novo povezavo. Privzeti način je, da se materiali dedujejo, razen

če je eksplicitno dana povezava med objektom in materialom. Ta povezava se definira z `IfcRelAssociatesMaterial`.

4.5.2.3 Primer definicije materiala v IFC-modelu

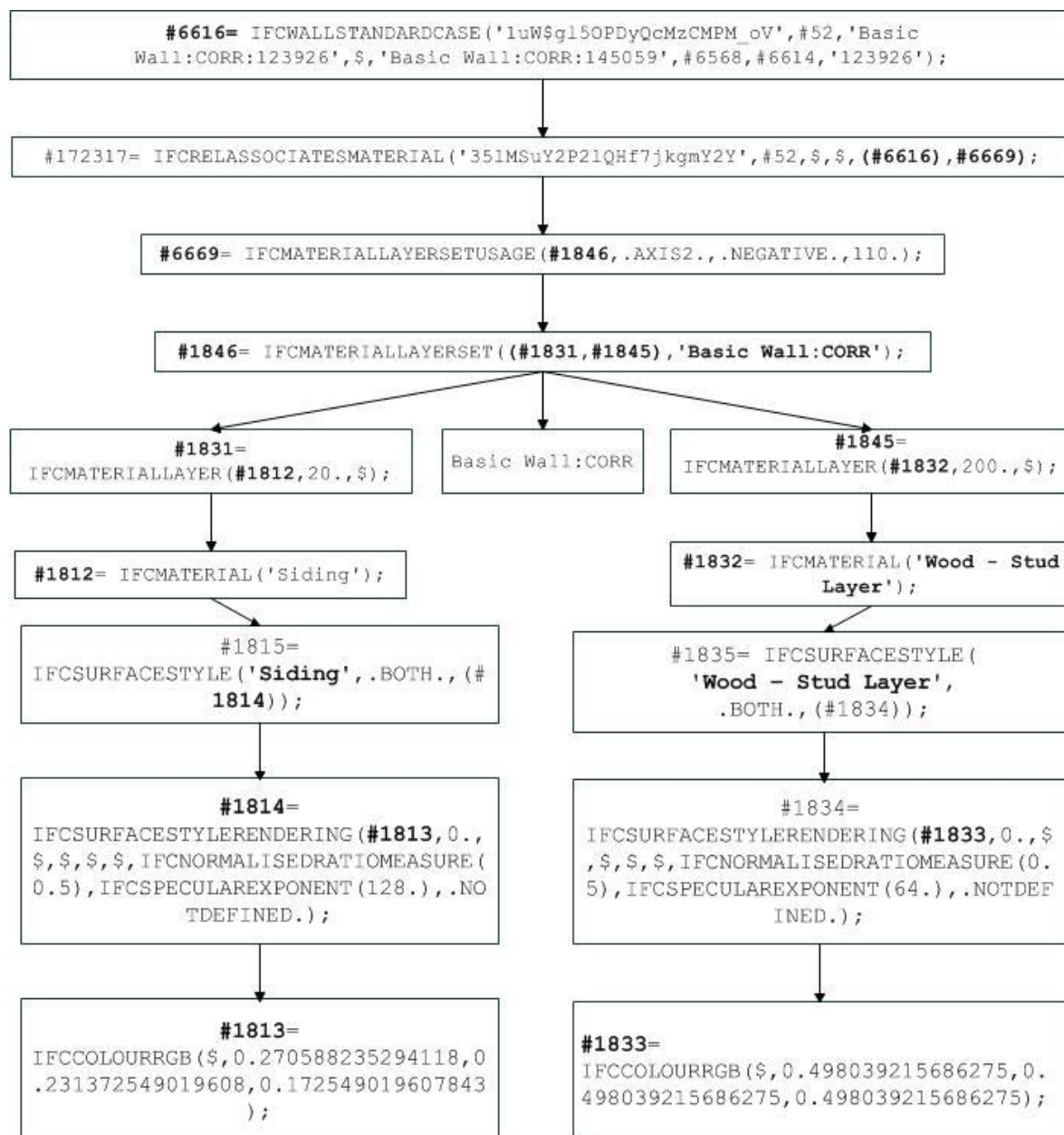
Stena, ki je na sliki (Slika 4-20) označena s puščico, je definirana v vrstici #6616 in ima unikatno identifikacijsko številko GUID: 1uW\$gl5OPDyQcMzCMPM_oV. Obdana pa je z materialoma Siding in Wood.

Povezava med steno in materialom je definirana v vrstici #172317 z ukazom `IfcRelAssociatesMaterial`. Tam je definirano, da naši steni pripada set materialov #6669, v tem koraku je zapisano tudi, na kakšen način si materiali sledijo. Dejanska sestava seta pa je definirana v vrstici #1846 `IfcMaterialLayerSet`. Naša stena 'Basic Wall:CORR' je obdana z materialoma 'Siding' (20 mm) in 'Wood - Stud Layer' (200 mm). Končni materiali so podrobneje definirani z entitetami `IfcSurfaceStyle`, `IfcSurfaceStyleRendering` in `IfcColourRGB`. Parametri `IfcColourRGB` predstavljajo rdečo, zeleno in modro barvo. Pri obeh materialih so vrednosti zelo majhne, kar posledično pomeni, da je barva materiala črna. Kako so materiali zapisani v IFC-datoteki, je prikazano na sliki (Slika 4-21).



Slika 4-20: Lastnosti IfcWall materiala

Figure 4-20: IfcWall material properties



Slika 4-21: Definicija materialov v IFC datoteki

Figure 4-21: IFC materials definition

4.5.2.4 Izdelava simulacije gradnje

Način izdelave simulacije gradnje smo že predstavili na primeru izdelave 4D-modela EKO srebrne hiše. Če povzamemo elemente IFC-modela, je bilo potrebno te povezati s terminskim planom gradnje, ki je bil pripravljen v programu Microsoft Project. Za to smo uporabili CSV-datoteko, to pa smo pripravili s programom Navisworks. Ugotovljeno je bilo, da pri takšnem pristopu naletimo na praktične in tehnične probleme. Praktični problem je predvsem zamudnost postopka, saj je potrebno vsakemu elementu pripisati svoje opravilo.

Tehnične težave so povezane s strukturo IFC-datoteke. Elementov IFC iz modela ni mogoče poljubno odstraniti, saj so medsebojno povezani. Preden izbrišemo element, je potrebno preveriti, da se nanj ne sklicuje kateri drugi element.

4.5.2.5 Primer povezave med entitetami v IFC-modelu

Primer povezav bomo ponazorili na primeru stene, označene na sliki (Slika 4-20). Stena je definirana v vrstici #6616. Povezave med rumeno steno in sosednjimi elementi so definirane z ukazi `IfcRelConnectsPathElements`. Obravnavana stena je povezana s tremi elementi (Slika 4-22 str. 90), povezave pa so definirane v vrsticah #173112, #173175 in #173178.

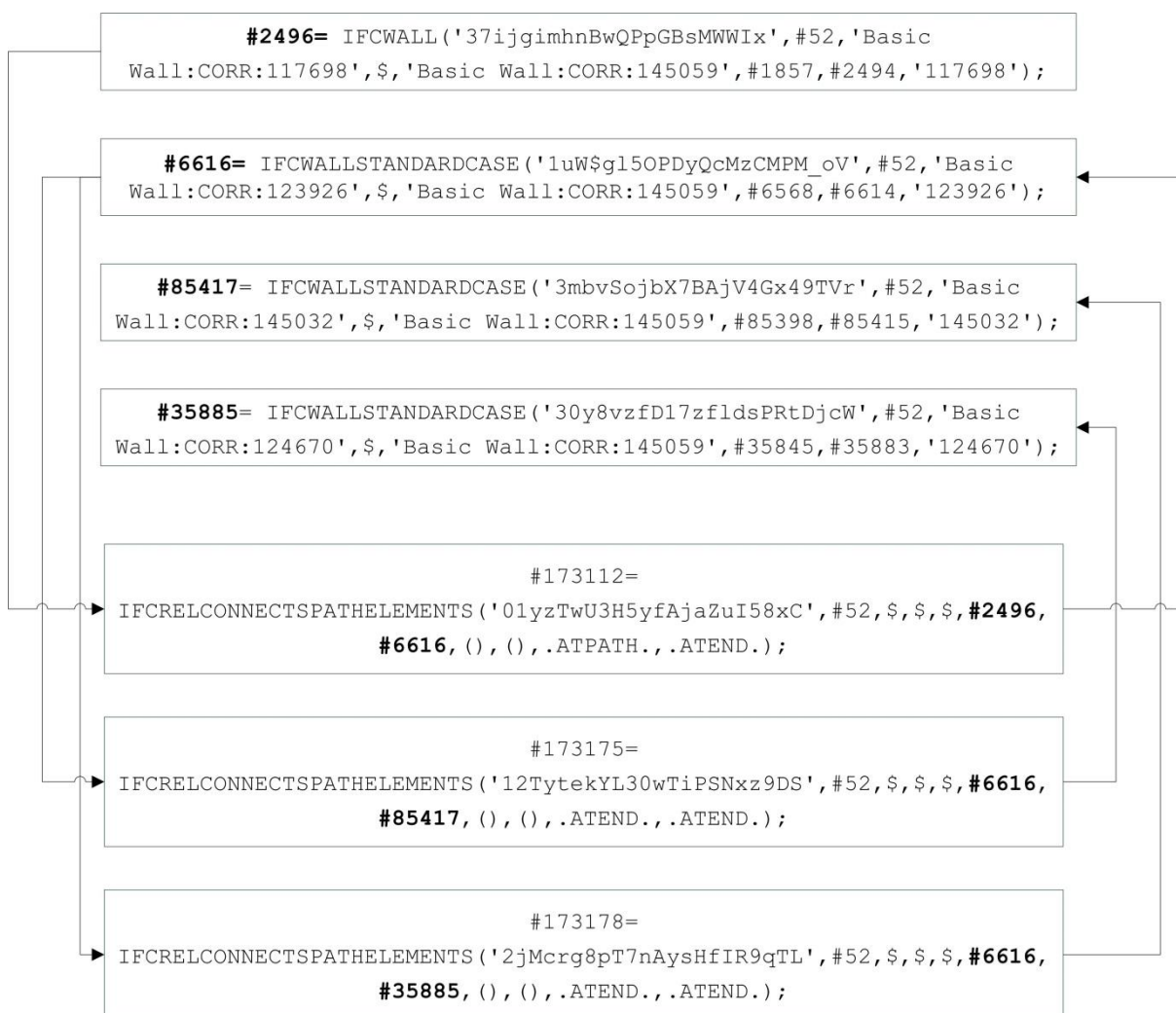
Attribute	Value
selected objects:	1
IfcWallStandardCase (#6616)	
Description	
GlobalId	1uW\$gl5OPDyQcMzCMPM_oV
Name	Basic Wall:CORR:123926
ObjectPlacement	IfcLocalPlacement (#6568)
IfcLocalPlacement (#6568)	
ObjectType	Basic Wall:CORR:145059
OwnerHistory	IfcOwnerHistory (#52)
Representation	IfcProductDefinitionShape (#6614)
Tag	123926
ConnectedFrom_Inverse	SET [1]
IfcRelConnectsPathElements (#173112)	
ConnectedTo_Inverse	SET [2]
IfcRelConnectsPathElements (#173175)	
IfcRelConnectsPathElements (#173178)	
ContainedInStructure_Inverse	SET [1]
Decomposes_Inverse	
FillsVoids_Inverse	
HasAssignments_Inverse	
HasAssociations_Inverse	SET [1]
HasCoverings_Inverse	
HasOpenings_Inverse	SET [2]
HasPorts_Inverse	
HasProjections_Inverse	
HasStructuralMember_Inverse	
IsConnectionRealization_Inverse	
IsDecomposedBy_Inverse	
IsDefinedBy_Inverse	SET [10]
ProvidesBoundaries_Inverse	
ReferencedBy_Inverse	
ReferencedInStructures_Inverse	

Slika 4-22: Povezave med IFC- elementi

Figure 4-22: IFC element connections

Na sliki (Slika 4-23) so vidne povezave in vrstni red elementov, iz tega je posledično vidna struktura IFC-datoteke. V vrstici #173112 je definirana povratna povezava na rumeno steno #6616.

To posledično pomeni, da iz IFC-modela ne smemo odstraniti elementa #2496 pred elementom #6616. Elementa #85417 in #35885 pa lahko odstranimo, saj sta v modelu definirana kasneje.



Slika 4-23: Definicija povezav med IFC-elementi

Figure 4-23: IFC element connections definition

4.5.2.6 Transformacije modela

V prototipu izdelava končnega L3D-modela poteka avtomatično. Pri postopku uporabljamo dva pretvornika. Prvi pretvornik se uporabi za pretvorbo IFC-modela v zapis OBJ/MTL, z drugim pa se izdelava končni L3D-model. Pri testiranjih smo opazili, da imajo uporabljene komponente največ težav z določanjem materialov. Rezultat avtomatske transformacije je prikazan na sliki (Slika 4-24).



Slika 4-24: Avtomatično izdelan L3D-model drugega testnega primera

Figure 4-24: Automatically created L3D model 2nd test example

L3D-model, ki smo ga dobili z avtomatsko transformacijo, je bil velik 38, 94 MB, imel je definiranih 14 materialov, 113802 normal, 113802 kotov in 48294 ploskev.

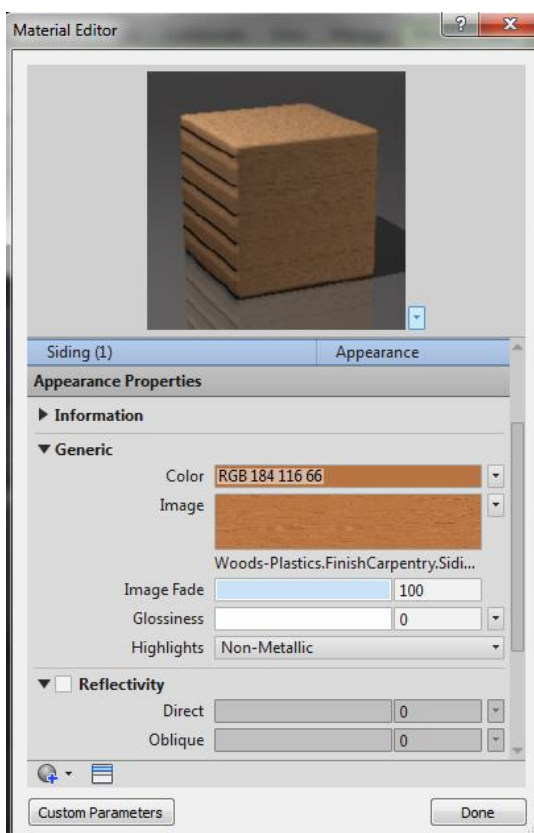
Name	Diffuse	Ambient	Specular	Shininess	Opacity	Blending	Shader
IfcBeam					10	1	default
IfcBuildingElementProxy					10	1	default
IfcColumn					10	1	default
IfcDoor					10	1	default
IfcFlowTerminal					10	1	default
IfcFurnishingElement					10	1	default
IfcMember					10	1	default
IfcPlate					10	1	default
IfcRailing					10	1	default
IfcSlab					10	1	default
IfcStairFlight					10	1	default
IfcWall					10	1	default
IfcWallStandardCase					10	1	default
IfcWindow					500	0,3	default

Slika 4-25: Materiali L3D-datoteke, dobljeni z avtomatsko transformacijo

Figure 4-25: Materials L3D file obtained by the automatic transformation

4.5.2.7 Izdelava končnega modela

V testnem primeru smo poskusili izdelati L3D-model, ki bi kar najbolj ustrezal izhodiščnemu Revit modelu. Pri tem smo materiale, ki so zapisani v MTL-datoteki, ročno nastavili na način, ki kar najbolj ustreza tistim iz izhodiščnega modela. Popravili smo vseh 14 materialov, na tem mestu pa sta predstavljena zgolj primera popravka definicije materiala, ki pripada standardni steni `IfcWallStandardCase`. V Revitu je material definiran kot lesena obloga, za vizualizacijo pa je uporabljena JPG tekstura (Slika 4-26). Ta tekstura pa se na žalost izgubi že pri izvozu IFC-modela.



Slika 4-26: Definicija materialov v Revitu

Figure 4-26: Definition of materials in Revit

Po vseh transformacijah dobimo, da je material v MTL definiran z zapisom a (Preglednica 4-2). Vrednosti K_d – difuzna barva, K_s – mat barva in K_a – ambientna barva bomo nastavili na privzete vrednosti. N_s oziroma lesk materiala bomo nastavili na vrednost 0.0, kar je enako kot v Revitu. Vrednosti T_r in d , ki definirata transparentnost materiala, smo pustili nespremenjeni. Dodali pa smo povezavi na sliko s teksturo `wood.jpg`.

Preglednica 4-2: Posodobitev MTL-datoteke**Table 4-2: MTL file update**

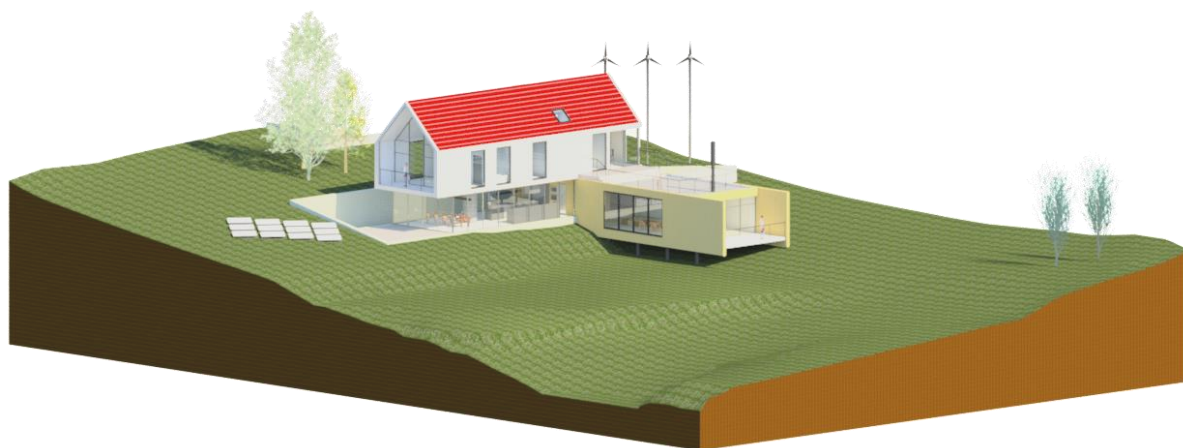
Definicija materiala v MTL-datoteki (a)	Definicija materiala v MTL-datoteki (b)
newmtl IfcWallStandardCase	n newmtl IfcWallStandardCase
Kd 0.9 0.9 0.9	Kd 0.5 0.5 0.5
Ks 0.2 0.2 0.2	Ks 0.0 0.0 0.0
Ka 0.1 0.1 0.1	Ka 0.5 0.5 0.5
Ns 10	Ns 0.0
Tr 1	Tr 1.0
d 1	d 1
D 1	map_Ka wood.jpg
	map_Kd wood.jpg

Na podoben način smo popravili še ostale materiale in s tem prišli do L3D-modela (Slika 4-27). Na tej sliki je prikazan najboljši možni približek začetnega modela, ki smo ga uspeli izdelati.

**Slika 4-27: Končni L3D-model drugega testnega primera****Figure 4-27: Final L3D model of the second test example**

4.5.3 Testni primer 3 – predstaviteni model Revit 2014

V tem krogu testiranj smo komponento IfcOpenShell model OBJ converter nadgradili na različico 0.4.0 rc1 (IfcOpenShell, 2014). Delovanje prototipa smo preizkusili na predstavitenem primeru programa Revit 2014 (Slika 4-28).



Slika 4-28: Originalni model tretjega testnega primera

Figure 4-28: Original model 3rd test example

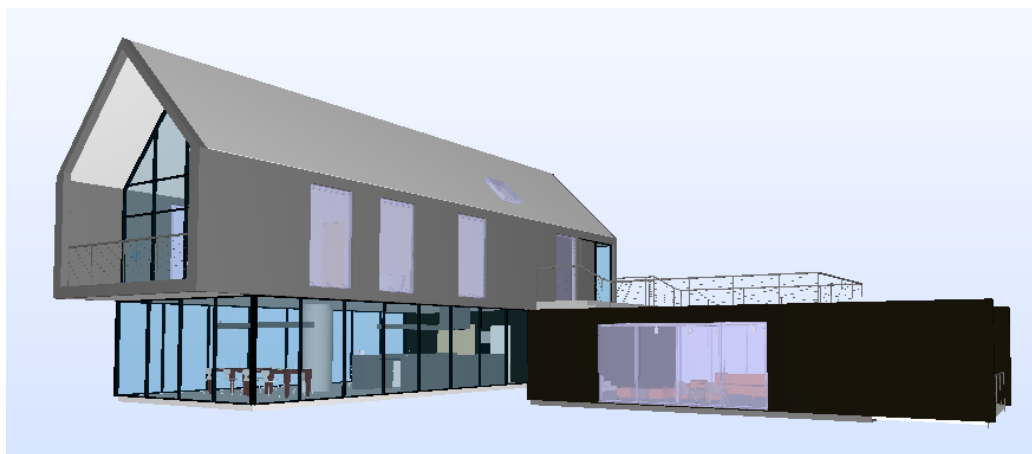
Iz modela smo odstranili okolico in elemente, ki se nahajajo za neprosojnimi stenami (Slika 4-29). Na ta način smo zmanjšali RVT datoteko za 10 %. Razlika v velikosti IFC datotek, ki smo jih izvozili iz izhodiščnega in prilagojenega modela je še večja. Ko smo iz modela odstranili okolico, se je IFC-model zmanjšal za 38 % (iz 25,3 MB na 15,6 MB). IFC datoteko smo izdelali z Autodesk IFC Exporter 2014 (Autodesk, 2014).



Slika 4-29: Prilagojen model tretjega testnega primera

Figure 4-29: Modified model 3rd test example

Tudi pri tem testu so se lastnosti nekaterih materialov izgubile, že pri izvozu IFC modela iz programa Revit 2014. Na sliki (Slika 4-30) je prikazan IFC-model v prikazovalniku Solibri.



Slika 4-30: Tretji primer IFC-modela

Figure 4-30: IFC-model 3rd example

Posodobitev komponente IfcOpenShell model converter je pozitivno vplivala na kvaliteto modela OBJ/MTL. Pri testiranju smo opazili, da so razvijalci odpravili težave s prosojnostjo materialov. Še vedno pa ostajajo problemi z orientacijo modelov v prostoru, z izgubo nestandardnih elementov in s poimenovanjem MTL datoteke. Na sliki (Slika 4-31 a) je prikazan L3D model, ki ga dobimo pri uporabi starejšega pretvornika IfcOpenShell model converter 0.3.0. Na sliki (Slika 4-31 b) pa je L3D model izdelan novejšim IfcOpenShell model converter 0.4.0 rc. V obeh primerih gre za prikaz z programom Layar L3D-model converter 3.1.0.



(a) 0.3.0



(b) 0.4.0 rc

Slika 4-31: Primerjava različic pretvornikov IfcOpenShell

Figure 4-31: Comparison of IfcOpenShell converter

Tudi v zadnjem testnem primeru smo ročno dodali teksture materialov, ki so se izgubile pri avtomatskih preslikavah, rezultat je viden na sliki (Slika 4-34) v poglavju 4.6.1. Velikost končnega L3D modela je bila 11,2 MB.

4.6 Prehod

Razviti sistem omogoča dva pristopa uporabe, in sicer: (1) prikaz celotnega 3D-modela, ta način je namenjen vizualizaciji v fazi urbanističnega planiranja, in (2) 4D BIM-pristop, kjer gre za preverjanje, ali dela na terenu potekajo skladno s terminskim planom. V tem poglavju so predstavljeni rezultati terenskih testiranj obeh pristopov.

4.6.1 Predstavitev idejne študije projekta (3D BIM)

Testiranja smo opravili z namenom, da bi preizkusili zanesljivost delovanja našega sistema na terenu in da bi pokazali realno stanje, kako kakovostno sliko je mogoče pridobiti z razpoložljivo strojno opremo.

Prvi krog testiranj smo opravili avgusta 2012. Takrat smo imeli na razpolago pametni telefon Samsung Galaxy S2. Prototip smo preskusili na primeru vizualizacije paviljona (Slika 4-32), ki je bil izdelan s programom ArchiCAD. Velikost modela smo prilagodili zmogljivostim strojne opreme, ki nam je bila takrat na voljo. Testirali smo ustreznost hitrosti prenosa podatkov, delovanje vgrajenih senzorjev in kakovost RR slike. Sistem je deloval skladno s pričakovanji, komunikacija s strežniki je potekala nemoteno, hitrost 3G-omrežja, ki smo ga uporabili pri preizkusu, je bila primerna. Največ težav smo imeli z nenatančnostjo vgrajenih senzorjev.



Slika 4-32: RR-vizualizacija paviljona – Samsung Galaxy S3

Figure 4-32: AR visualization of a pavilion – Samsung Galaxy S3

Drugi krog testiranja smo opravili novembra 2013 in junija 2014. Pri testiranju smo uporabili Googlov tablični računalnik Nexus 7, različica 2013. V RR okolju smo poskušali prikazati predstavitvena modela Revi 2013 (Slika 4-33) in 2014 (Slika 4-34).



Slika 4-33: RR-vizualizacija projekta Revit 2013 – Nexus 2013

Figure 4-33: AR visualization of Revit project 2013 – Nexus 2013



Slika 4-34: RR-vizualizacija projekta Revit 2014 – Nexus 2013

Figure 4-34: AR visualization of Revit project 2013 – Nexus 2013

Preizkušali smo ustreznost hitrosti povezave na terenu, procesorsko zmogljivost in zanesljivost delovanja vgrajenih senzorjev. Pred meritvami smo izklopili vse aplikacije, ki tečejo v ozadju. Izkazalo se je, da je hitrost omrežja LTE več kot zadovoljiva, saj je bil model prenesen v hipu. Centralna procesna enota (*angl.* »*Central Processing Unit*« - CPU) je bila najbolj obremenjena ob nalaganju modela, takrat so se aktivirala vsa štiri jedra. Pomnilnik (*angl.* »*Random Access Memory*« - RAM) se je minimalno dodatno zapolnil (Slika 4-35). Obremenitve strojne opreme smo spremljali s programom Android System Monitor (Google, 2013).



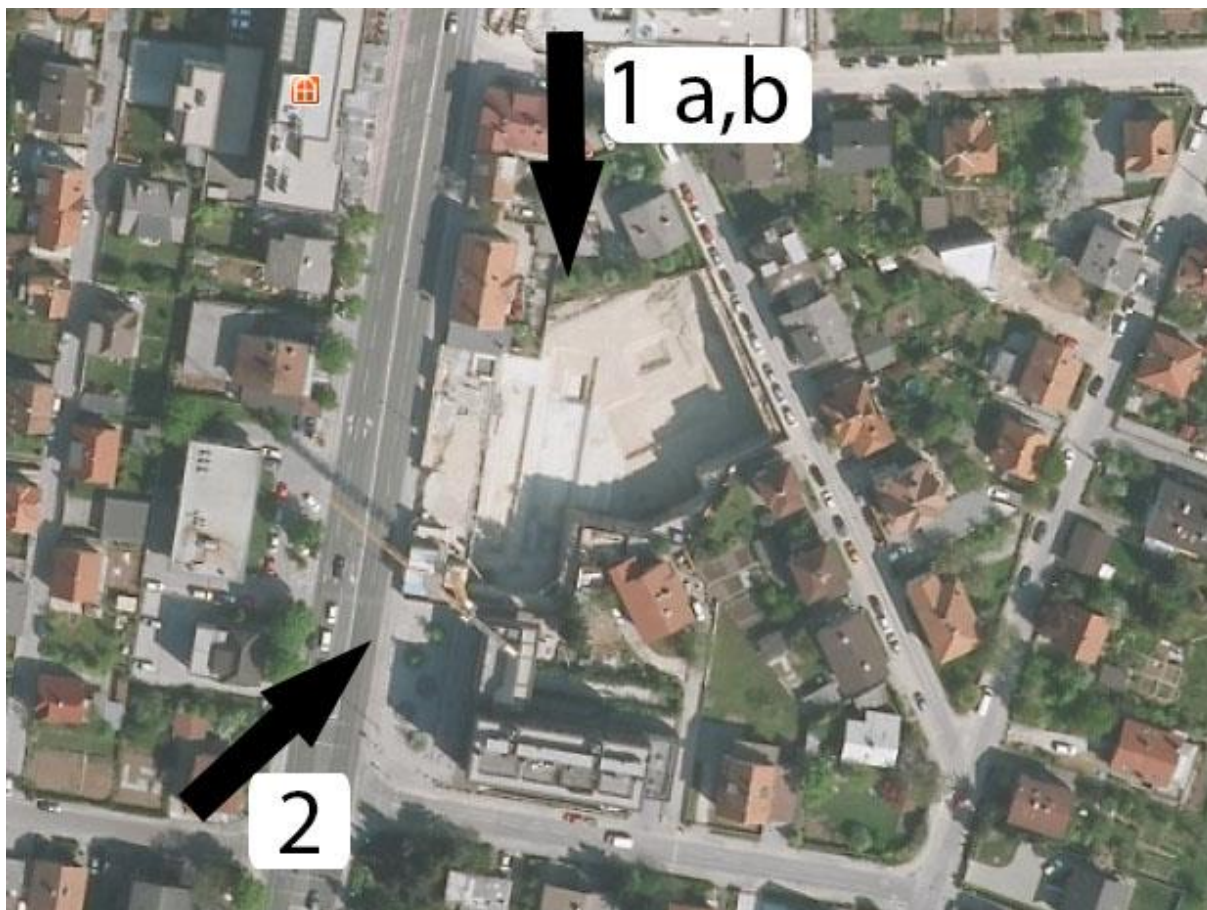
Slika 4-35: Test zmogljivost Nexus (2013)

Figure 4-35: Nexus (2013) performance test

4.6.2 Spremljanje poteka gradnje

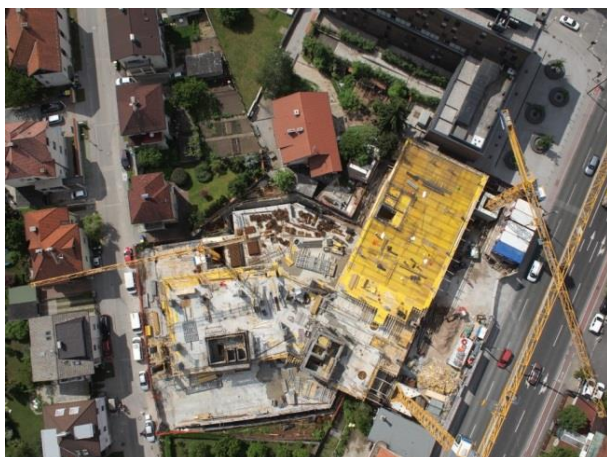
Prototip smo preizkusili na primeru gradnje večstanovanjske zgradbe v urbanem središču. Testiranja smo opravili z namenom, da bi potrdili oziroma ovrgli predvidevanja, da je z uporabo razširjene resničnosti v povezavi s 4D BIM mogoče olajšati spremljanje procesa gradnje. Namen tega poizkusa je bilo ugotoviti, ali gradnja poteka skladno s terminskim planom.

V preizkusu smo spremljali gradnjo dvanajstnadstropne zgradbe. Gledano iz perspektive organizacije gradbišča je šlo za kompleksen projekt, saj je bil dostop do gradbišča oviran z vseh strani s cestami oziroma okoliškimi zgradbami (Slika 4-36) . Zračne posnetke, ki so bili pridobljeni z multi-rotorskimi zračnimi plovili (*angl.* »Octocopter«), smo dobili od izvajalca gradbenih del na objektu Eko srebrna hiša (Slika 4-37 a - d).



Slika 4-36: Lokacija gradbišča

Figure 4-36: Construction site location



(a) Posnetek gradbišča; pogled od zgoraj
(a) Aerial photo; top view



(b) Posnetek gradbišča; perspektiva 1a
(b) Aerial photo; perspective 1a



(c) Posnetek gradbišča; perspektiva 1b
(c) Aerial photo; perspective 1b



(d) Posnetek gradbišča; perspektiva 2
(d) Aerial photo; perspective 2

Slika 4-37: Okolica gradbišča

Figure 4-37: Construction site surrounding

4.6.2.1 Izbira opazovalne točke

Ker je gradnja potekala v urbanem središču, je bilo težko najti primerno opazovalno točko, s katere je viden celoten projekt. Pogled na objekt je bil najmanj oviran iz dveh perspektiv, in sicer iz jugozahodne (Slika 4-38) in severozahodne smeri (Slika 4-39). Na koncu smo se odločili za severozahodni pogled. Ta opazovalna točka se je namreč nahajala bliže gradbišču, zato je bilo mogoče prikazati več podrobnosti modela.



Slika 4-38: Jugozahodna opazovalna točka

Figure 4-38: Southeast observation point



Slika 4-39: Severovzhodna opazovalna točka

Figure 4-39: Northeast observation point

4.6.2.2 Priprava modela

Delovanje mobilne aplikacije za prikaz RR Layar smo preizkusili na dveh mobilnih telefonih Samsung Galaxy S2 in Samsung Galaxy S3. Čeprav je priporočena velikost L3D-modela, ki naj bi še bil primeren za prikaz na mobilni napravi, manj kot 10 000 ploskev, smo vseeno poskusili naložiti celoten model 33.1 MB (482 553 ploskev).

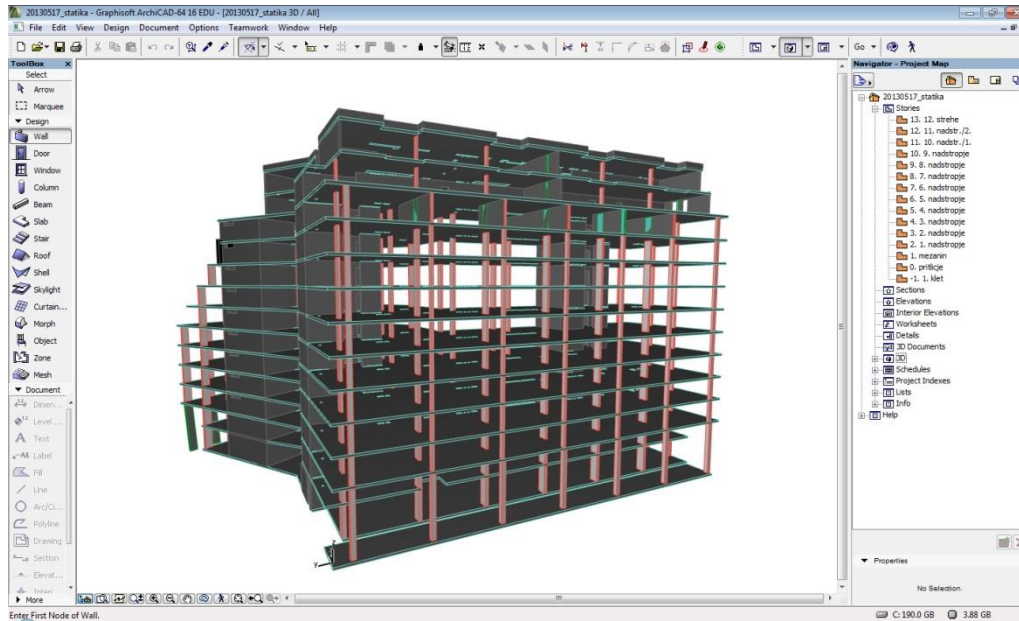
Ker to ni bilo mogoče, smo postopno zmanjševali velikost modela in prišli do zaključka, da je z manj zmogljivo napravo mogoče prikazati L3D-model velikosti 12 000 ploskev, zmogljivejša naprava pa omogoča prikaz modela v velikosti do 14 0000 ploskev. Ti velikosti modelov se približno ujemata z velikostjo nosilne konstrukcije modela, zato smo v naslednjem koraku odstranili fasado.

Preglednica 4-3: Podrobnejši podatki o modelu

Table 4-3: Model details

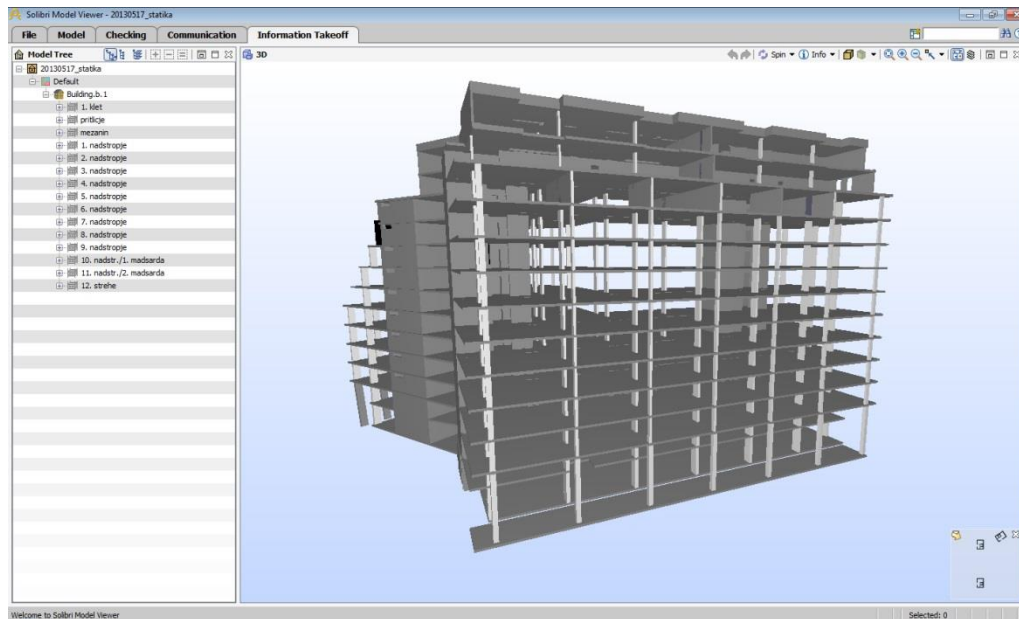
	Začetni ArchiCAD model	Prilagojen ArchiCAD model	IFC-model, pridobljen iz prilagojenega modela	OBJ in MTL-datoteki, pridobljeni iz prilagojenega modela	L3D-model, pridobljen iz prilagojenega modela	IFC-model nosilne konstrukcije	Priporočena velikost L3D-modela
Velikost	25.4 MB	10.6 MB	45.7 MB	74.2 MB	33.1 MB	2.34 MB	1 MB
Elementi	10 016	5 703	8 987	-	-	948	-
Materiali	150	25	20	8	8	1	-
Ploskve	-	-	-	564 206	564 206		10 000

Celoten postopek smo ponovili na modelu nosilne konstrukcije. Na slikah (Slika 4-40 - Slika 4-44) so prikazani vmesni koraki testiranja.



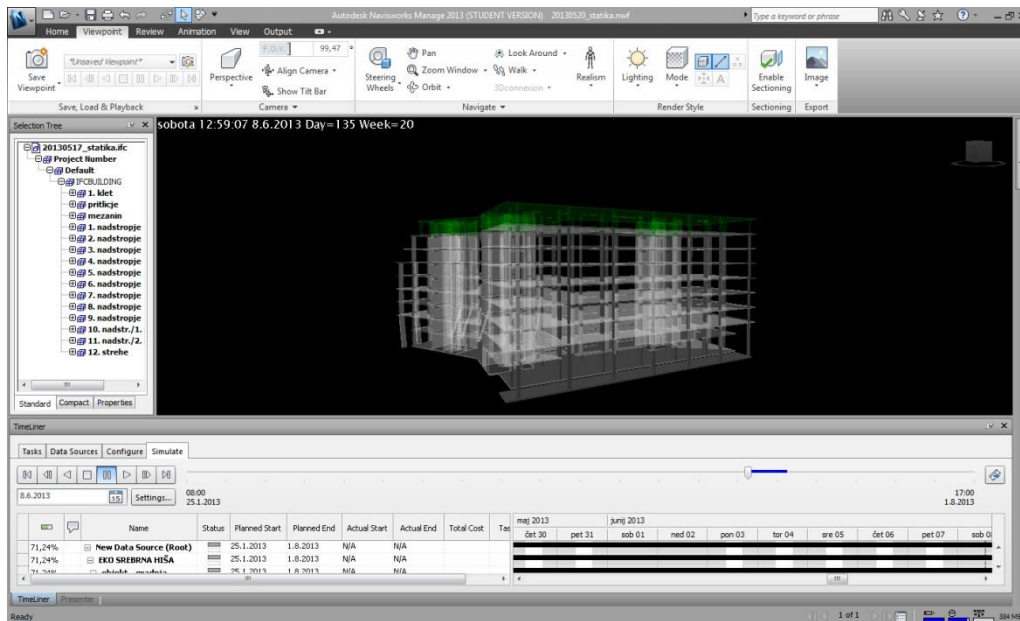
Slika 4-40: Pregled ustreznosti modela in zmanjševanje velikosti 3D-modela - ArchiCAD

Figure 4-40: Verification of compliance and size reduction of 3d model - ArchiCAD



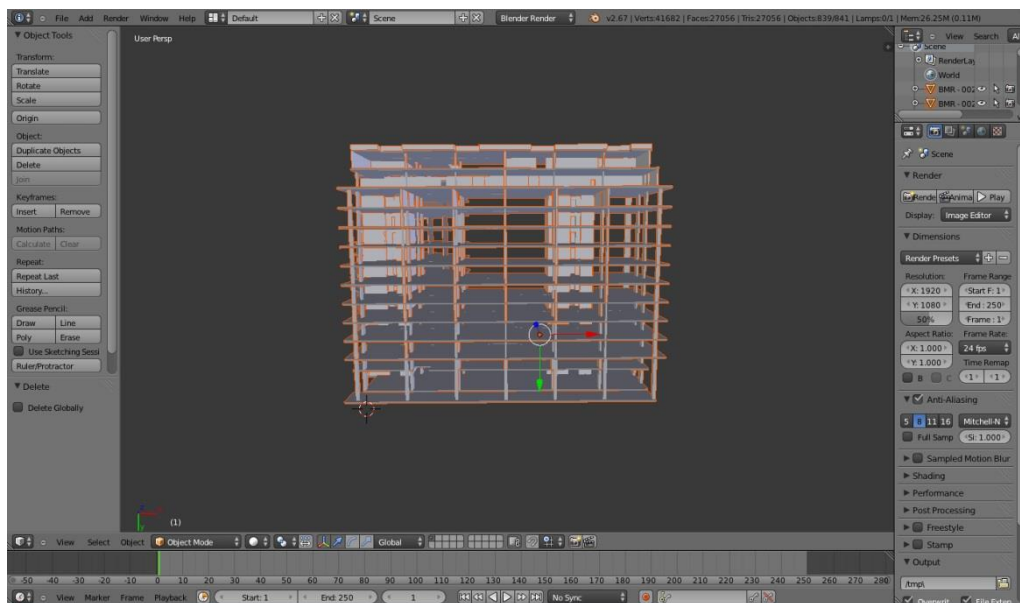
Slika 4-41: IFC-model; pregled skladnosti - Solibri

Figure 4-41: IFC-model; conformity assessment - Solibri



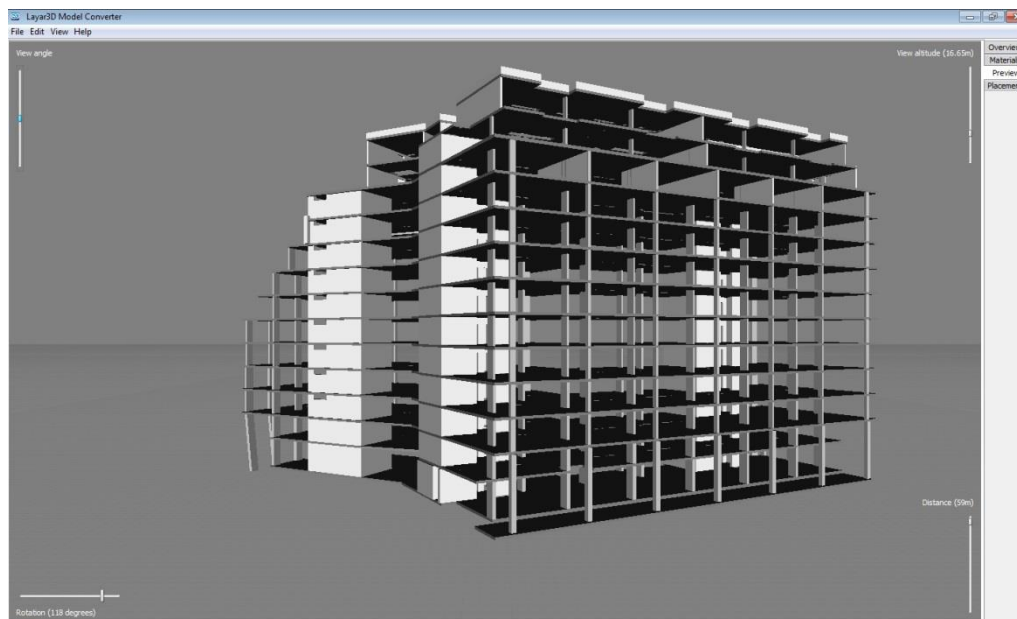
Slika 4-42: 4D-model; povezovanje IFC in CSV datotek - Nawisvorks

Figure 4-42: 4D- model; assessment of complexity of assembly IFC & CSV - Nawisvorks



Slika 4-43: OBJ/MTL-model; odkrivanje napak, ki so posledica transformacije - Blender

Figure 4-43: OBJ/MTL- model; detection of error arising in the conversion - Blender



Slika 4-44: L3D-model za odkrivanje napak, ki izvirajo iz pretvorbe modelov

Figure 4-44: L3D-model detection of error arising in the conversion

4.6.2.3 Simulacija z izdelanim prototipom

Za testiranje smo uporabili informacijski model nosilne konstrukcije zgradbe, ki je nastal kot rezultat testa zmogljivosti mobilnih naprav. V poglavju IFC-model, ki smo ga uporabili, je bila velikost 2.34 MB, sestavljen pa je bil iz 948 elementov. Terminski plan je bil izdelan s programom MS Project.

V terminskem planu so bila opravila razdeljena do nivoja gradnje nadstropij, zato smo tudi mi elemente modela povezali po nadstropjih. V tabeli (Preglednica 4-4) je prikazan del terminskega plana, ki smo ga uporabili pri simulaciji.

Preglednica 4-4: Terminski plan Eko srebrna hiša

Table 4-4: Eko silver house: construction schedule

OPRAVILO	trajanje
Plošča nad 1.kletjo / Slab over 1. basement	28 dni
Stene in stebri pritličja / Walls and columns in ground floor	22 dni
Plošča nad pritličjem / Slab over ground floor	19 dni
Stene in stebri mezanina / Walls and columns in mezzanine	17 dni
Plošča nad mezaninom / Slab over mezzanine	18 dni
Stene in stebri, 1.nd / Walls and columns in 1. floor	16 dni

Plošča nad 1.nd / Slab over 1. floor	13 dni
Stene in stebri, 2.nd / Walls and columns in 2. floor	13 dni
Plošča nad 2.nd / Slab over 2. floor	16 dni
Stene in stebri, 3.nd / Walls and columns in 3. floor	15 dni
Plošča nad 3.nd / Slab over 3. floor	16 dni
Stene in stebri, 4.nd / Walls and columns in 4. floor	14 dni
...	...

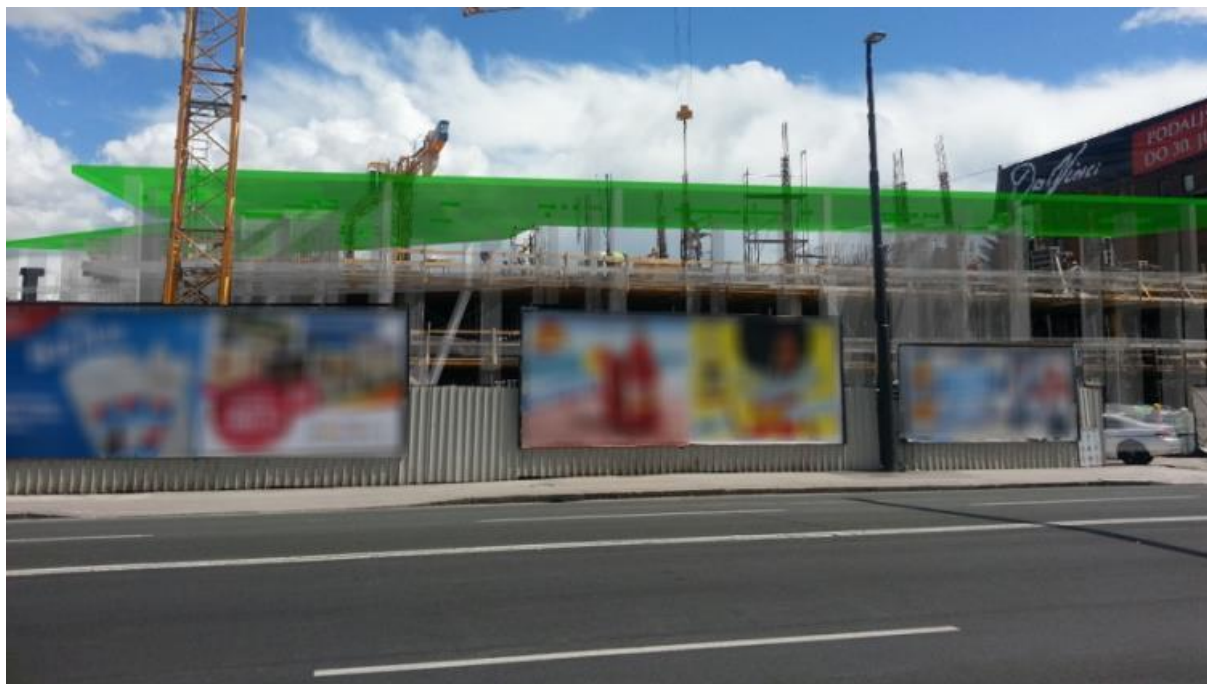
4.6.2.4 Primerjava med trenutnim delovanjem sistema in idealnim prikazom RR

V poizkusu smo primerjali sliko, ki smo jo posneli na gradbišču, in vizualizacijo, izdelano s programom Navisworks. S primerjavo smo želeli poudariti prednosti, slabosti, težave in izzive za nadaljnji razvoj razširjene resničnosti. Na slikah (Slika 4-45 in Slika 4-46) so elementi, ki so trenutno na terminskem planu označeni z zeleno barvo. Vsi ostali elementi so sivi in transparentni. Takšen način prikaza uporabniku omogoča ugotavljanje skladnosti stanja na gradbišču s terminskim planom. Iz obeh slik je razvidno, da projekt zaostaja za terminskim planom. V času snemanja naj bi se gradila plošča nad drugim nadstropjem, dejansko pa poteka betoniranje nosilnih stebrov v drugem nadstropju.



Slika 4-45: Zaslonski posnetek mobilnega RR-sistema

Figure 4-45: Screenshot of AR system



Slika 4-46: Obdelan render 4D-modela

Figure 4-46: Render of a 4D model

Ena izmed glavnih tehničnih ovir pri razvoju sistemov RR, ki pri delovanju ne uporabljajo referenčnih točk, je nezadostna natančnost določanja položaja v prostoru. Testiranja so pokazala, da zgolj z uporabo GPS anten, vgrajenih v testne naprave, in z uporabo generičnih aplikacij za geolociranje ni mogoče zagotoviti zadovoljive natančnosti. Napak, ki so posledica nenatančnosti senzorjev, nismo eksplicitno merili, načeloma pa je mogoče v idealnih razmerah s kvalitetnimi GPS sprejemniki v realnem času doseči horizontalno natančnost okoli 3 m. Zaradi težav z določanjem položaja, smo geografsko dolžino in širino izmerili z aplikacijo GPS Averaging (Google, 2013). Aplikacija izračuna povprečen položaj v prostoru na podlagi večkratnih meritev. To lokacijo je potrebno ročno vnesti v sistem. To je le en izmed načinov natančnejšega določanja položaja v prostoru. Ker gre za učinkovito metodo, verjamemo, da bodo v prihodnosti tudi komercialni prikazovalniki RR omogočali takšen način.

Druga tehnična težava oziroma vprašanje je, kako natančno poravnati uporabnikovo vidno polje z virtualnim modelom. S tem vprašanjem smo bili soočeni tako pri testiranju sistema RR kot pri izdelavi vizualizacije. Čeprav smo kamero v programu Nawisworks nastavili natančno tja, kot je bila v naravi, 32 m severozahodno od izhodiščne točke projekta, nam ni uspelo popolnoma uskladiti virtualnega in realnega okolja.

Iz primerjave slik (Slika 4-45 in Slika 4-46) je mogoče razbrati naslednjo praktično težavo, to je vizualno prekrivanje (*angl. »Visual occlusion«*). To težavo predstavljajo elementi, ki so locirani med

uporabnikom in virtualnim modelom, npr. gradbiščno ograjo, žerjavom, reklamnimi panoji idr. Pri ročni izdelavi statičnih renderjev je mogoče te elemente enostavno vključiti v sliko. Problem pa nastane, ko želimo imeti živo sliko gradbišča. Relativno enostavno je operirati s statičnimi elementi, kot je npr. gradbiščna ograja, večjo težavo pa predstavljajo ne statični elementi, npr. gradbena mehanizacija, žerjavi idr. Obstoječe rešitve za nekatere izpostavljene težave so bile že predstavljene v poglavju 3.6.4.

5 OCENA UPORABNOSTI TEHNOLOGIJE IN PROTOTIPA

V tem poglavju povzemamo rezultat raziskave, ki smo jo opravili po zaključku razvoja prototipa. Raziskavo smo opravili z namenom, da bi pridobili globlji vpogled v razmišljanje stroke o uporabnosti naše rešitve in da bi se seznanili s splošno uporabnostjo razširjene resničnosti v okviru grajenega okolja. Ugotovitve raziskave so v sklepnem delu disertacije uporabljene kot eden od temeljev za presojo veljavnosti temeljne hipoteze.

Opravljena raziskava je bila izvedena v naslednjih korakih:

- opredelitev izhodišč in postavitev raziskovalnega vprašanja,
- opredelitev populacije in vzorčnega okvira,
- priprava krajše predstavitve razširjene resničnosti,
- priprava vprašalnika,
- preliminarni vsebinski preizkus vprašalnika,
- izvedba strukturiranih intervjujev,
- analiza rezultatov.

5.1 Metoda raziskovanja

Obstaja več raziskovalnih metod, s katerimi bi lahko pridobili vhodne podatke za preverjanje temeljne hipoteze in za ugotavljanje, ali smo izpolnili naloge, ki smo si jih zadali ob začetku raziskovanja. Najboljši odgovor bi dobili, če bi izdelano rešitev uporabili v praksi na gradbišču. Vendar je potrebno upoštevati, da rezultat raziskovalne naloge nima trdnosti, zanesljivosti in prijaznosti industrijskih izdelkov, kakršne pričakuje uporabnik. Pregledali in primerjali smo druge razpoložljive raziskovalne metode, analizirali smo prednosti in slabosti anketiranja, intervjuvanja, strukturiranega intervjuvanja in praktičnega preizkušanja na terenu. Pri izbihi metode smo upoštevali sledeče:

- izbrana metoda je morala omogočati primerjavo uveljavljenih predstavitvenih tehnik z razširjeno resničnostjo,
- ker je razširjena resničnost v slovenskem okolju relativno nepoznana, je bilo potrebno izbrati metodo, ki dovoljuje jasno predstavitev obravnavane tematike,
- z izbrano metodo smo želeli pridobiti podatke za kasnejšo kvantitativno analizo, zato so morali biti odgovori na ključna vprašanja vnaprej pripravljene.

Odločili smo se za izvedbo strukturiranih intervjujev. Glavna prednost intervjuvanja pred anketiranjem je možnost osebne predstavitve obravnavane tematike in možnost dajanja dodatnih pojasnil v primeru nejasnosti posameznih vprašanj. Drugi razlog, zakaj smo izbrali intervjuje in ne ankete, je relativno nizka odzivnost pri uvodnih raziskavah.

Praktičnega preizkusa na terenu tudi ni bilo mogoče izvesti, saj je bil objekt Eko srebrna hiša že zgrajen, pa tudi naša rešitev nima tiste industrijske robustnosti in prijaznosti, ki bi omogočala realno oceno uporabnosti tehnologije. Pri intervjujih smo tako uporabili slikovno gradivo, ki smo ga posneli med gradnjo objekta.

Lastnosti strukturiranih intervjujev:

- vprašalnik mora biti vnaprej pripravljen,
- večina vprašanj mora biti zaprtega tipa (omejen izbor odgovorov),
- vsakemu kandidatu se postavijo enaka vprašanja v enakem vrstnem redu,
- raven razumevanja obravnavane tematike je potrebno preveriti in ob nepoznavanju dati dodatna pojasnila.

5.2 Izhodišča

Izhajali smo iz rezultatov raziskav, ki so predstavljeni v uvodnem delu, in ugotovitev praktičnega dela naloge. Rezultati prvih raziskav so pokazali, da je kvaliteta projektne dokumentacije zadovoljiva, ker pa so načrti še vedno v veliki meri natisnjeni in v fizični obliki preneseni na gradbišče, prihaja do sledečih težav:

- nedostopnost aktualnih informacij,
- projektna dokumentacija je pogosto napačno razumljena.

5.2.1 Namen in cilji

Raziskavo smo opravili z namenom, da bi pridobili podatke, s katerimi bi bilo mogoče potrditi oziroma zavreči temeljno hipotezo naloge, ter da bi ugotovili, ali smo izpolnili namene in cilje, ki smo jih zapisali v uvodu naloge.

Cilji raziskave so bili:

- kvantitativno oceniti prednost uporabe razširjene resničnosti v primerjavi z uveljavljenimi predstavitevniimi tehnikami,
- izmeriti, kakšna je aplikativna vrednost izdelanega prototipa, ki je bil razvit v okviru naloge,
- oceniti neizkoriščen potencial uporabe razširjene resničnosti v grajenem okolju.

5.2.2 Okvir preučevanja populacije in vzorca

Pri izbiri ciljne populacije se nismo osredotočali le na smer izobrazbe, poskušali smo pokriti čim večji spekter funkcij oseb, ki so povezane z grajenim okoljem. Izhajali smo iz predpostavke, da mora biti vsem, ki so kakorkoli povezani z gradnjo objektov, v vsakem trenutku omogočen nemoten dostop do bistvenih informacij.

Ciljna skupina te raziskave so tako vsi, ki so na kakršenkoli način povezani z gradnjo objektov (projektanti, nadzorniki, delovodje, direktorji, kalkulanti, arhitekti idr.).

5.3 Izvedba in selekcija pridobljenih podatkov

Pred začetkom izvajanja intervjujev smo pripravili krajšo predstavitev obravnavane tematike. S predstavitvijo smo želeli izključiti tveganja, povezana s terminologijo. Posameznim intervjuvancem smo predstavili pojme, ki se pojavljajo v vprašalniku.

V predstavitvi smo povzeli definicijo informacijskega modela zgradbe, ki je zapisana v poglavju 3.4. Pojasnili smo, kaj si predstavljamo pod pojmom projektna dokumentacija, in jasno definirali razširjeno resničnost. Predstavitev RR je temeljila na kontinuumu med virtualnim in realnim okoljem. Povzeli smo bistvene zahteve za obstoj RR ter pojasnili razliko med virtualno in razširjeno resničnostjo. Pred pričetkom intervjuja nismo izpostavljali potencialnih prednosti uporabe RR, saj bi to lahko negativno vplivalo na objektivnost odgovorov.

Intervjuje smo opravili v dveh korakih. Pred glavno fazo izvajanja intervjujev smo razumljivost vprašanj, zanesljivost delovanja multimedijske predstavitve na tabličnem računalniku in dolžino intervjuja preverili na manjši testni skupini štirih oseb. Rezultati pilotne faze so nam pomagali pri pripravi končnega vprašalnika.

Osrednjo fazo intervjujev smo opravili v štirinajstih dneh, med 10.1.2014 in 24.1.2014. Strukturiranje intervjujev smo opravili z izbranimi predstavniki stroke, pri čemer smo poskrbeli za enakovredno

zastopanost strok, ki so povezane z grajenim okoljem. K sodelovanju smo povabili dvajset oseb iz različnih podjetij. Na povabilo se je odzvalo petnajst oseb. Devet gradbenikov in šest arhitektov. Intervjuje smo izvedli posamično, trajali so med 20 in 55 min. Pri vseh intervjujih je bil vprašalnik izpolnjen v celoti.

Končni vprašalnik, ki smo ga uporabili pri intervjujih, je bil sestavljen iz dveh sklopov. Prvi sklop vprašanj je vseboval splošna identifikacijska vprašanja (spol, starost, področje dela itd.). Namen prvega dela je bil pridobiti splošne podatke, na podlagi katerih je v nadaljevanju mogoče zagovarjati reprezentativnost rezultatov. Drugi sklop vprašanj je bil vsebinski.

Analiza prvega sklopa vprašanj je pokazala, da smo dobili odgovore od ciljne populacije, ki smo jo definirali. S tem je mogoče zagovarjati kriterija splošnosti in veljavnosti rezultatov.

Vprašalnik in odgovori na posamezna vprašanja se nahajajo v prilogi C – 3.

5.4 Analiza vsebinskega dela raziskave

V tem delu raziskave smo iskali odgovore o splošni uporabnosti RR in oceno našega RR-prototipa.

5.4.1 Kvantitativna primerjava predstavitev tehnik

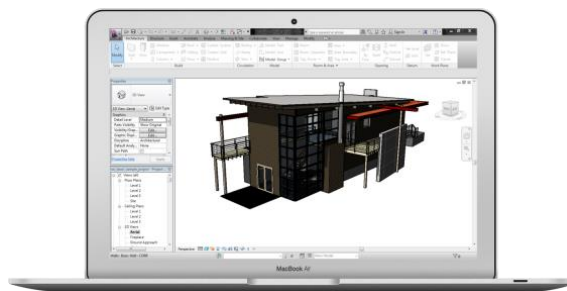
Prva naloga v intervjuju je bila primerjava štirih predstavitev tehnik, to je predstavitev z (1) načrti v papirnati obliki, z (2) informacijskimi modeli na računalnikih, s (3) projektno dokumentacijo na tabličnih računalnikih in z (4) razširjeno resničnostjo. Anketirance smo prosili, naj primerjajo in kvantitativno, z ocenami od 1 do 10, ocenijo razumljivost in uporabnost projektno dokumentacije v dveh uporabniških scenarijih. Ocenjevali smo vizualizacijo idejnih študij in časovni nadzor gradnje.

5.4.1.1 Primer 1: Vizualizacija idejnih študij

Anketirance smo prosili, naj primerjajo razumljivost in uporabnost predstavitev metod na podlagi slike (Slika 5 – 5-1) in videa, na katerem je bil prikazano delovanje razširjene resničnosti na terenu. V vseh primerih je bila prikazana projektna dokumentacija za isti objekt.



a.) 2D-načrti



b.) Zaslonski posnetek programa Revit



c.) Autodesk 360°

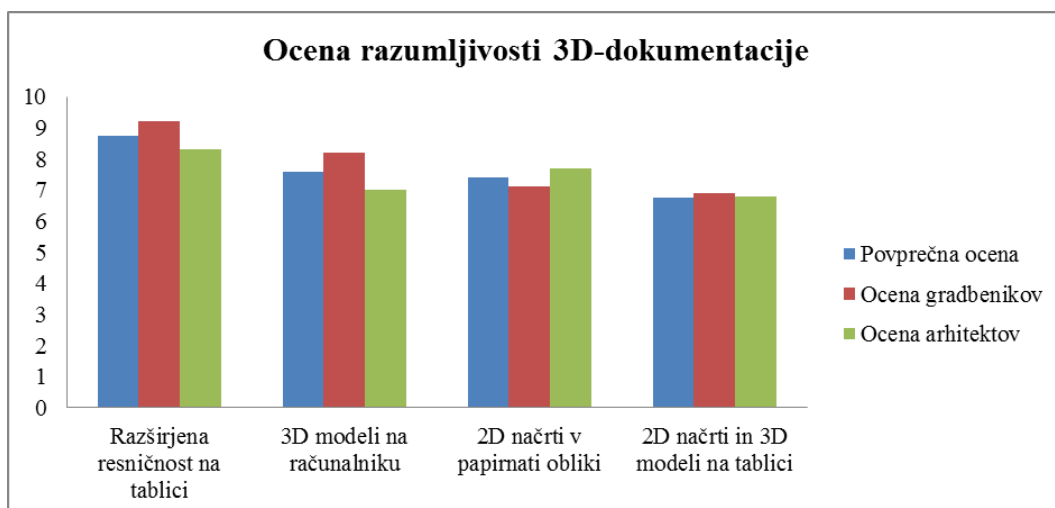


d.) Razširjena resničnost

Slika 5 – 5-1: Primerjava predstavitvenih metod pri vizualizaciji idejnih študij

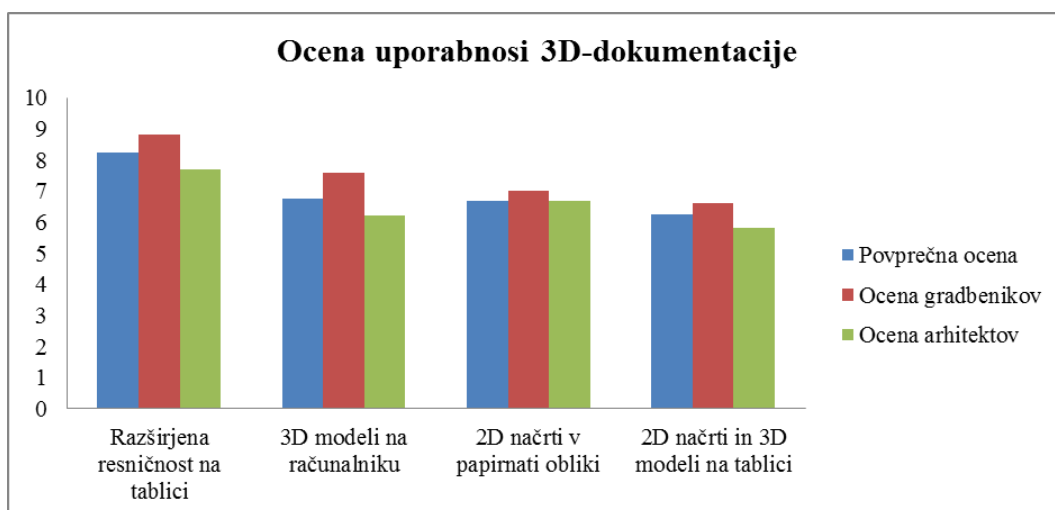
Figure 5 – 5-1: Comparison of presentation methods for visualizing preliminary studies

Na grafikonih (Grafikon 5-1, Grafikon 5-2) so prikazane vrednosti razumljivosti in uporabnosti štirih predstavitvenih tehnik pri vizualizaciji idejnih študij. Ločeno so predstavljene vrednosti za gradbenike in arhitekte. V obeh primerih je najboljši rezultat dosegla razširjena resničnost, na drugem mestu so računalniško izdelane 3D-vizualizacije, na tretjem 2D-načrti in na zadnjem 3D-modeli na tablicah..



Grafikon 5-1: Razumljivost projektne dokumentacije pri vizualizacijah idejnih študij

Graph 5-1: Understandability of project documentation in the visualization preliminary studies



Grafikon 5-2: Uporabnost projektne dokumentacije pri vizualizacijah idejnih študij

Graph 5-2: Usability of project documentation in the visualization preliminary studies

Primerjava razumljivosti in uporabnosti RR med gradbeniki in arhitekti je pokazala, da so gradbeniki RR bolje ocenili kot arhitekti. Zanimiva je tudi primerjava 2D in 3D med gradbeniki in arhitekti. Arhitekti so 2D-način bolje ocenili kot 3D, gradbeniki pa obratno.

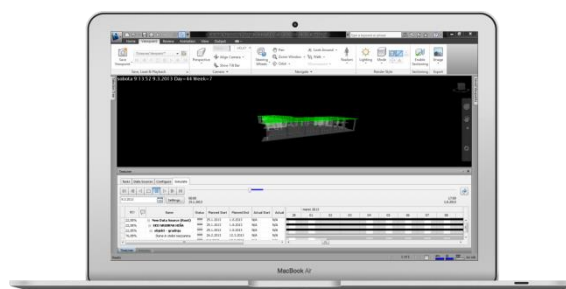
Da bo statistična analiza rezultatov pokazala takšen rezultat, smo predvidevali že po zaključnih komentarjih intervjuja. Vsi arhitekti, s katerimi smo se pogovarjali, so izpostavljali prednosti 2D- načina načrtovanja, predvsem v kasnejših fazah gradbenih projektov, obenem pa so videli velik neizkoriščen potencial RR predvsem pri komunikaciji z naročniki.

5.4.1.2 Primer 2: Nadzor poteka gradnje

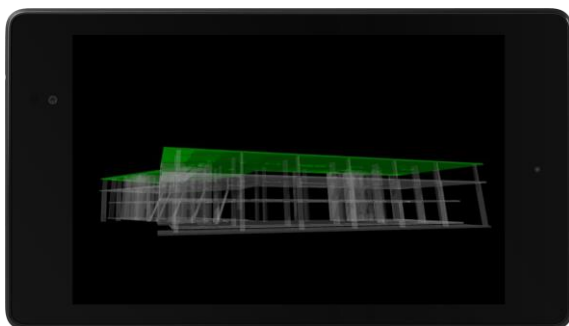
Anketirance smo prosili, naj primerjajo razumljivost in uporabnost predstavitvenih metod na podlagi slike (Slika 5-2). Na voljo so imeli gantogram, 4D-simulacijo gradnje, simulacijo na tabličnem računalniku in idealiziran pogled razširjene resničnosti.



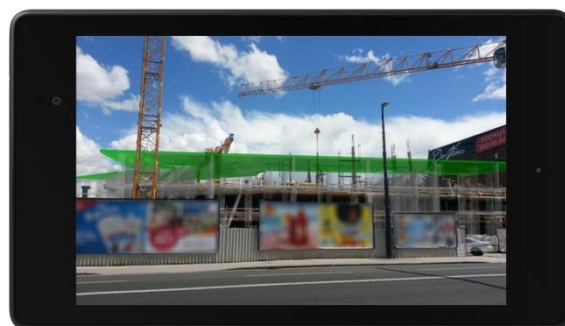
a.) 2D-načrti v papirnati obliki in gantogram



b.) 4D-simulacija gradnje



c.) Simulacija na tablici

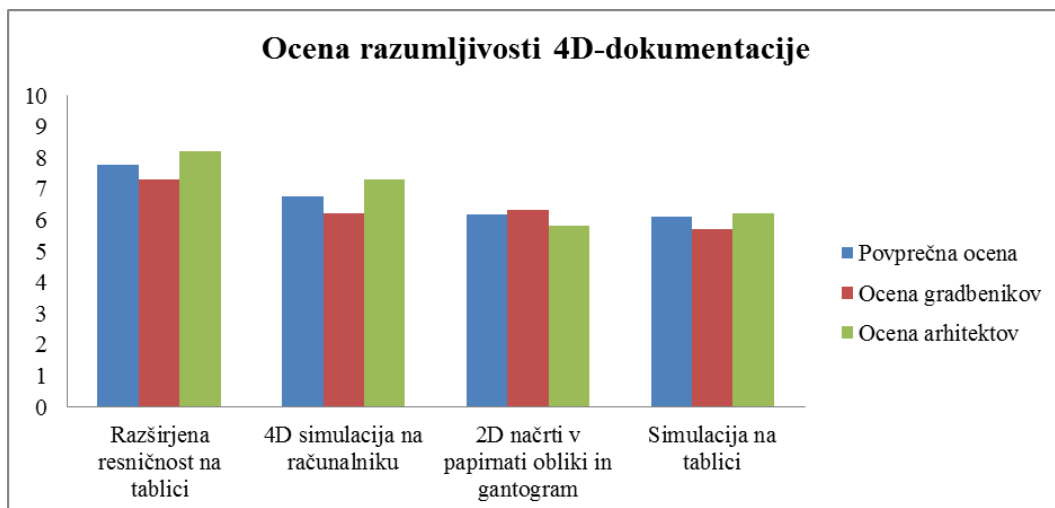


d.) Razširjena resničnost

Slika 5-2: Primerjava predstavitvenih metod pri nadzoru gradnje

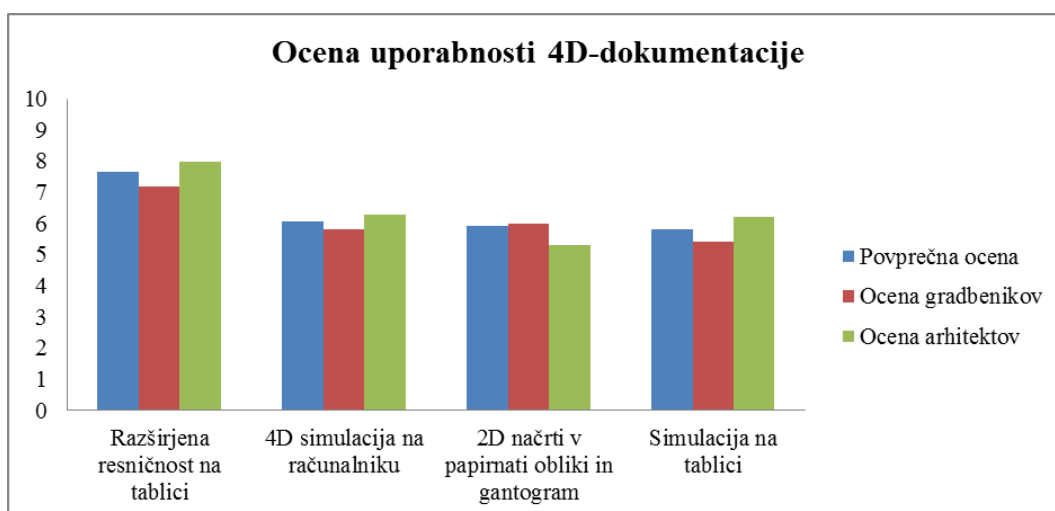
Figure 5-2: Comparison of presentation methods construction process monitoring

Pri preverjanju uporabnosti in razumljivosti v primeru časovnega nadzora gradnje smo dobili enako razvrstitev predstavitvenih metod (Grafikon 5-3, Grafikon 5-4). V obeh primerih je najboljši rezultat dosegla razširjena resničnost, na drugem mestu so računalniško izdelane simulacije, na tretjem 2D-načrti, na zadnjem pa 4D-modeli na tablicah. Ocene pa so v povprečju nekoliko nižje kot pri vizualizaciji.



Grafikon 5-3: Razumljivost projektne dokumentacije pri nadzoru gradnje

Graph 5-3: Understandability of project documentation in monitoring of construction



Grafikon 5-4: Uporabnost projektne dokumentacije pri nadzoru gradnje

Graph 5-4: Usability of project documentation in monitoring of construction

Primerjava razumljivosti in uporabnosti RR med gradbeniki in arhitekti je pokazala, da so arhitekti RR bolje ocenili kot gradbeniki. Primerjava 2D in 3D med gradbeniki in arhitekti pa je pokazala, da gradbeniki še vedno raje uporabljajo 2D-načrte v povezavi z gantogramom kot 4D-simulacije, arhitekti pa obratno.

5.4.2 Ocena delovanja prototipa

Druga naloga je bila ocena delovanja prototipa, ki je bilo razvit v okviru doktorskega dela. Anketirancem smo dali sledečo nalogo:

»Predstavljajte si, da se nahajate na gradbišču. Vaša naloga je, da ocenite, ali dela potekajo skladno s terminskim planom. Na voljo imate tudi tablični računalnik, ki omogoča prikaz realne okolice z dodanimi virtualnimi elementi. Z zeleno barvo je označen element, ki je trenutno na terminskem planu.«

Potem, ko smo jim dali navodila, smo jim pokazali sliko (Slika 5-3 a) realnega prikaza razširjene resničnosti, ki smo jo posneli na gradbišču Eko srebrne hiše, in jih vprašali:

Ali je s prikaza razširjene resničnosti mogoče razbrati, ali dela potekajo skladno s terminskim planom?

Več kot 80 % anketirancev je na vprašanje odgovorilo pritrdilno. Z odgovori na to vprašanje smo želeli pridobiti povratno informacijo o uporabnosti našega prototipa. Tistim, ki so na vprašanje odgovorili pritrdilno, smo postavili podvprašanje:

Kakšno je stanje na gradbišču? Ali dela potekajo skladno s terminskim planom, zaostajajo ali prehitevajo.

Vsi so pravilno ugotovili, da dela na gradbišču zaostajajo za terminskim planom.

Nato smo jih prosili še, naj primerjajo realen prikaz (Slika 5-3 a) z idealiziranim prikazom (Slika 5-3 b) razširjene resničnosti, naj izpostavijo najbolj moteče dejavnike pri realnem prikazu in predlagajo, kaj bi lahko dodali k sliki, da bi bila aplikacija še uporabnejša. Predlagali smo tri najbolj očitne: (1) virtualni model ni povsem poravnan z realno okolico, (2) gradbiščna ograja in ostali elementi, ki se nahajajo med opazovalno točko in dejanskim objektom, zastirajo pogled in (3) velikost in resolucija slike sta premajhni.



a.) Realen prikaz RR

b.) Idealiziran prikaz RR

Slika 5-3: Prikaz delovanja prototipa**Figure 5-3: Demonstration of the prototype functioning**

Analiza odgovorov je pokazala, da so najbolj moteči elementi, ki zastirajo pogled. To strokovno imenujemo vizualno prekrivanje oziroma vizualna okluzija. Možne rešitve na to temo so bile že predstavljene v poglavju 3.5.4.1. Na žalost pa so vse te rešitve v času pisanja te naloge še v znanstveno raziskovalni domeni.

Poleg vizualne okluzije pa so imeli anketiranci pomisleke glede količine detajlov, ki se nahajajo na sliki. V našem primeru je prikazan zgolj element, ki je trenutno na terminskem planu, ni pa podatka o tem, katero delo naj bi se opravljalo, ali naj bi se izdelovali opaži ali naj bi se polagala armatura ali naj bi potekalo betoniranje itd. Anketiranci menijo, da je količina detajlov povsem primerna za grobo spremljanje poteka gradnje, predvsem v primeru, ko želi investitor preveriti, ali dela potekajo skladno z dogovori, za strokovno javnost pa je slika premalo podrobna.

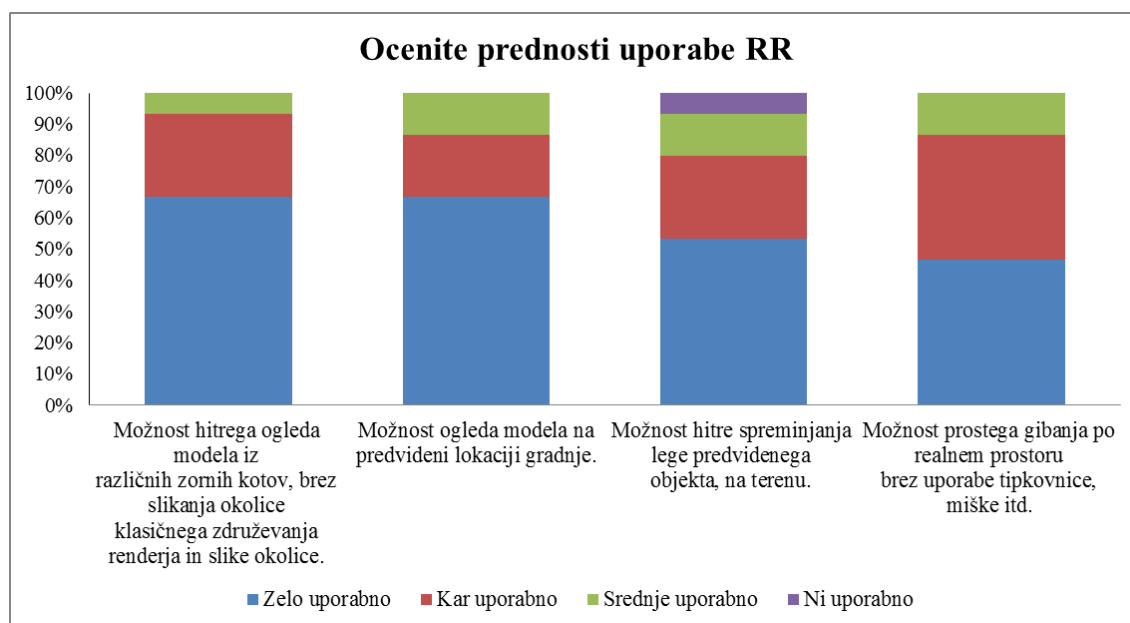
V intervjuju nas je zanimalo tudi, kaj bi dodali aplikaciji, da bi bila še uporabnejša. Med predlogi za večjo uporabnost je mogoče izpostaviti naslednje:

- aplikaciji bi dodali možnost povečave, s tem bi si lahko ogledali več detajlov,
- funkcijo, ki bi ob kliku prikazala mere objekta,
- v aplikacijo bi vgradili funkcijo, ki bi ob kliku prikazala detajle, kdaj naj bi se določen element začel graditi in kdaj naj bi bil končan,
- uporabna bi bila tudi funkcija za prikaz detajlov. Ni nujno, da bi bili detajli v 3D, zelo uporabno bi bilo že, če bi bilo mogoče s klikom na element pridobiti 2D-detajl ali celo informacijo v obliki teksta.

5.4.3 Sklepni del raziskave

Sklepni del intervjujev je bil namenjen oceni neizkoriščenega potenciala razširjene resničnosti v okviru grajenega okolja. Zanimalo nas je, kaj so glavne prednosti razširjene resničnosti pred virtualno resničnostjo, v katerih fazah gradnje bi bila RR najbolj uporabna, kdo bi lahko največ pridobil z RR ter kaj bi bilo potrebno, da bi RR zamenjala papirnate načrte.

5.4.3.1 Prednosti uporabe razširjene resničnosti



Grafikon 5-5: Glavne prednosti uporabe RR

Graph 5-5: The main advantages of AR

Anketirance smo prosili, naj primerjajo virtualno resničnost z razširjeno resničnostjo in ocenijo uporabnost določenih funkcij, ki v VR niso mogoče. Vse prednosti so bile zelo dobro ocenjene. Najboljša ocena je pripadla možnosti ogleda modelov na gradbišču in s tem povezano možnostjo ogleda modela iz različnih zornih kotov. Nekaj več pomislekov je bilo pri možnosti spreminjanja predvidenega objekta na terenu. Največ pomislekov je bilo z možnostjo prostega gibanja po realnem prostoru, brez uporabe uporabniških vmesnikov. Pri tej točki so se pojavili naslednji komentarji:

»Predvsem je pri prikazu RR s pomočjo nosljivih računalnikov potrebno biti zelo pazljiv, saj je uporaba v primeru odpovedi lahko zelo nevarna.«

»Menim, da bi lahko prišlo do težav takrat, ko se del uporabnikovega vidnega polja prekrije. To bi lahko bilo nevarno.«

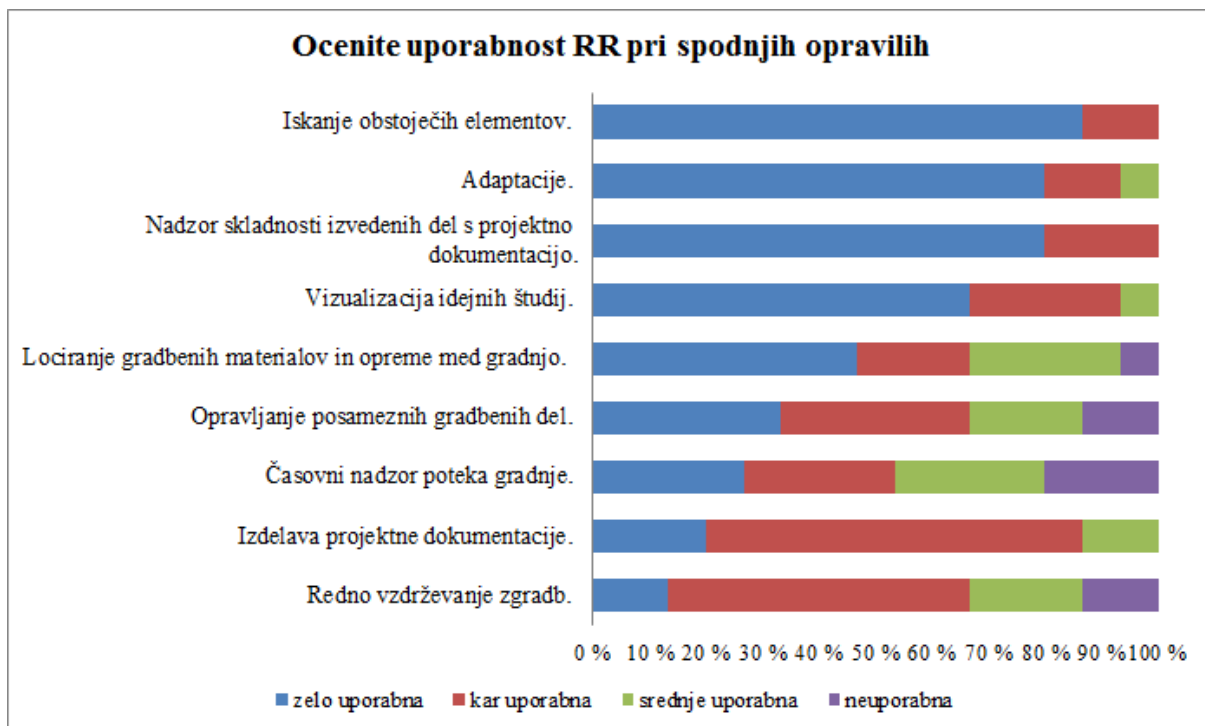
»Uporabniki bi najverjetneje potrebovali kar nekaj časa, da bi se navadili na nov način dela s tehnologijo. Stvar bi lahko postala nevarna, če bi imel uporabnik naenkrat na voljo preveč informacij in bi zato pozabil na realno okolje, ki ga obdaja.«

5.4.3.2 Potencialno najbolj perspektivna področja

Ker so nas zanimala opravila, ki bi lahko največ pridobila z uporabo razširjene resničnosti, smo anketirance prosili, naj uporabnost RR pri posameznih opravilih ocenijo z zelo uporabno, kar uporabno, srednje uporabno oziroma neuporabno (Grafikon 5-6).

Pri definiciji opravil smo izhajali iz poročila Advanced Asset Knowledge through the Use of AR Technologies (Topping, 2013), v katerem so sistematično predstavljena potencialno najbolj obetavna področja.

- Vizualizacija idejnih študij. (Možnost ogleda vpliva predvidenih zgradb na okolico.)
- Izdelava projektne dokumentacije. (Možnost pregleda, ali bo predviden objekt takšen, kot smo si ga zamislili.)
- Opravljanje posameznih gradbenih del. (Vizualizacija, na kakšen način je potrebno vgraditi določen element, prikaz navodil.)
- Iskanje obstoječih elementov. (Možnost ogleda obstoječih kanalizacijskih vodov.)
- Lociranje gradbenih materialov in opreme med gradnjo.
- Časovni nadzor poteka gradnje. (Možnost ogleda, ali gradnja poteka skladno s terminskim planom.)
- Nadzor skladnosti izvedenih del s projektno dokumentacijo. (Možnost ogleda, ali so bila dela izvedena tako, kot je predvideno v projektni dokumentaciji.)
- Redno vzdrževanje zgradb. (Možnost ogleda lastnosti komponent zgradbe.)
- Adaptacije. (Možnost prikaza skritih inštalacij.)



Grafikon 5-6: Potencialno najbolj obetavna področja za uporabo RR

Graph 5-6: Potentially the most promising areas for the application of AR

Analiza rezultatov je pokazala, da bi bila razširjena resničnost najbolj uporabna pri iskanju obstoječih elementov in pri nadzoru skladnosti izvedenih del s projektno dokumentacijo. Prvi uporabniški scenarij, ki je bil obravnavan, se je izkazal kot zelo obetaven, časovni nadzor pa je bil ocenjen nekoliko slabše.

Anketo smo zaključili z vprašanjema:

- Če bi imeli na voljo brežhibno delujočo aplikacijo za prikaz RR, ali bi še uporabljal papirne načrte? (Pri katerih opravilih in pod kakšnimi pogoji jih ne bi.)
- Ali bi bili pripravljeni investirati 1000 € v strojno in programsko opremo, ki bi omogočala razširjene resničnosti? (Pod kakšnimi pogoji?)

Odgovori in komentarji:

»RR bi vsekakor lahko bistveno olajšala iskanje obstoječih podzemnih inštalacij. Kot vse nove tehnologije bo tudi RR potrebno uveljavljati postopno, najprej kot dodatek. Za pomembnejše podzemne inštalacije v Sloveniji že obstaja elektronski register, tako da bi mi, če bi imel na voljo aplikacijo RR, ki bi mi omogočala ogled podzemnih inštalacij, to zelo olajšalo delo. Moj glavni pomislek je v zanesljivosti

in natančnosti delovanja. Svojega kapitala ne bi vložil v razvoj, vendar ko bodo takšne aplikacije na voljo, bi bil pripravljen odšteti 1000 € za nakup.»(Gradbenik)

»Gradbeništvo je specifična, zelo tradicionalna in konservativna panoga, v kateri se nove tehnologije zelo težko uveljavijo. Vsekakor je vlaganje denarja v nove tehnologije smiselno, predvsem na dolgi rok. Menim, da bo najbrž potrebna zamenjava generacije, preden se bo dokončno uveljavil princip 3D-načrtovanja. Glede vložka pa je odvisno od tega, koliko kapitala bi imel.« (Gradbenik)

»Trenutno je slovenski gradbeni sektor v hudi krizi. Podjetja se borijo za preživetje, krčijo stroške na vseh področjih. V tem trenutku nimamo kapitala za takšna vlaganja. Vsekakor pa menim, da se investicije v nove tehnologije na dolgi rok povrnejo. Ko bo gradbena dejavnost v boljši kondiciji, 1000 € najbrž ne bi bilo problem investirati.« (Gradbenik)

»1000 evrov je relativno majhen znesek. Po mojem mnenju je to kaplja v morje. Če bi se želeli resno lotiti dela na takšnem projektu, bi bilo potrebno investirati dosti več. Ob pravilno pripravljene finančni konstrukciji in realni oceni izvedljivosti projekta bi bila takšna vlaganja smiselna.« (Gradbenik)

»Menim, da je tehnologija že na voljo, predvsem za vizualizacije 3D-modelov na terenu. Arhitekti bi najbrž to že lahko uporabljali. Problem je v konservativnosti gradbenega sektorja. Gradbeniki moramo najprej v celoti pričeti izdelovati projektno dokumentacijo v obliki informacijskih modelov, šele nato se bomo pogovarjali o nadzoru gradnje in o ostalih bolj kompleksnih opravilih.« (Gradbenik)

»Papirnate načrte bi bilo mogoče opustiti v začetnih fazah, V izvedbeni fazi pa še nekaj časa ne. Pri nadzoru skladnosti izvedenih del s projektno dokumentacijo in pri adaptacijah bi bila RR zelo uporabna, vendar bo najprej potrebno zagotoviti, da bo ob predaji objektov obvezna izdelava PID v BIM-načinu. Trenutno mi finančni položaj ne dovoljuje vlaganj.« (Gradbenik)

»V takšen sistem bi bil pripravljen vložiti kapitel pod pogojem, če bi šel razvoj v smer dnevne dokumentiranja stanja na gradbišču. To bi lahko kasneje služilo kot dokazno gradivo pri uveljavljanju kazni za zamude na gradbišču.« (Gradbenik)

»1000 evrov najbrž ne bi bil problem, če bi mi zagotovili, da se mi bo vložek v doglednem roku povrnil. Kot gradbenik pa menim, da tehnologija, razen za potrebe vizualizacij, še nekaj časa ne bo na voljo.«(Gradbenik)

»Z investicijami v nove tehnologije se ne ukvarjam, zato lastnega kapitala ne bi investiral. RR bi uporabil predvsem kot dodatek, ne pa kot primerno sredstvo komunikacije.«(Gradbenik)

»Projektna dokumentacija se bo še nekaj časa izdelovala tudi v 2D-obliki, saj nas k temu zavezuje zakonodaja. Za pridobitev gradbenega dovoljenja je potrebno imeti izdelane 2D-načrte. Predstavitvene metode, kot je RR, bi v tem trenutku lahko s pridom uporabili pri trženju produktov (vizualizacije). Svojega kapitala ne vlagam v start UP podjetja, zato kot fizična oseba ne bi investiral svojega kapitala. Kot pravna oseba pa mislim, da 1000 € ne bi bilo problem investirati, če bi imel takšen projekt izdelano jasno vizijo.« (Arhitekt)

»V praksi sta primarno sredstvo izmenjave informacij v začetnih fazah še vedno risalna deska in keramični svinčnik. Saj lahko arhitekti na ta način najlažje dokumentiramo svoje misli. CAD in BIM sta trenutno uporabna predvsem v kasnejših fazah načrtovanja. Menim pa, da bi lahko RR uporabili kot most za komunikacijo med javnostjo in stroko. V razvoj RR bi bil pripravljen investirati pod pogojem, da bi imel tako velik biro, da to ne bi predstavljalo prevelikega stroška. Prej bi kupil aplikacijo RR kot dodatek BIM-programa.« (Arhitekt)

»Menim, da bodo sodobne tehnologije kot RR v prihodnosti močno zaznamovale gradbeno panogo, zato so takšna vlaganja smiselna. Za konkretniji odgovor o vložku pa bi potreboval bolj konkretno predstavitev, kako točno naj bi bila videti aplikacija.« (Arhitekt)

»Projektna dokumentacija v 2D bo najbrž še dolgo primarno sredstvo komunikacije v fazi gradnje objekta. RR bi lahko uporabili kot dodatek k renderjem pri predstavitvi idejnih študij. Ne, svojega denarja ne bi vložil. Znesek se mi zdi za mojo plačo previsok. Če bi bila lastnica biroja, bi investirala ob pametnem finančnem planu projekta.« (Arhitekt)

»Kot arhitektka sem se že večkrat znašla v položaju, ko končni produkt ni bil takšen, kot sem si ga zamislila, zato menim, da bi bilo potrebno idejo o RR razvijati in čim prej razviti do takšne mere, da bi bila primerna za komercialno rabo. Menim, da 1000 € ni previsok znesek. Bila bi pripravljena investirati, če bi dobila občutek, da bo aplikacija v doglednem času res na voljo za komercialno rabo.« (Arhitekt)

»Sodobne predstavitvene metode se bodo v prihodnosti najbrž vedno bolj uveljavljale, vendar papirja kot primarnega sredstva za komunikacijo, predvsem na gradbišču, še nekaj časa ne bodo povsem izrinila. Trenutno tega kapitala nimam na voljo, zato v takšno investicijo ne bi šel. Če bi ga imel, bi se mogoče drugače odločil.« (Arhitekt)

6 SKLEP

Glavni sklep doktorske disertacije je, da lahko razširjena resničnost pomembno pripomore k razumevanju projektne dokumentacije. Ugotovitev temelji na primerjavi uveljavljenih predstavitvenih tehnik s prototipno aplikacijo za razširjeno resničnosti, na teoretični oceni te aplikacije in anketi s potencialnimi uporabniki. Na osnovi izdelanega prototipa in opravljenih intervjujev lahko ocenimo, kako pomembno lahko RR pripomore k razumevanju.

Primerjali smo razumljivost in uporabnost projektne dokumentacije v obliki štirih predstavitvenih tehnik, to je predstavitev z (1) načrti v papirnati obliki, z (2) informacijskimi modeli na računalnikih, s (3) projektno dokumentacijo na tabličnih računalnikih in z (4) razširjeno resničnostjo. Anketirance smo prosili, naj primerjajo in kvantitativno ocenijo predstavitvene tehnike v dveh uporabniških scenarijih.

Ocenjevali smo vizualizacijo idejnih študij in časovni nadzor gradnje. Kvantitativna primerjava predstavitvenih tehnik je v obeh primerih pokazala, da naj bi bila razširjena resničnost vsaj toliko boljša od informacijskih modelov, kot so informacijski modeli boljši od 2D-načina predstavitve projektne dokumentacije. Morda celo bolj, saj nismo upoštevali vpliva majhnosti zaslona, ki je najbolj negativno vplival na oceno prikaza projektne dokumentacije na tablici.

S tem smo potrdili hipotezo naloge: *»Z uporabo sintetičnega okolja, ki omogoča integracijo 4D-modela v živo sliko realne okolice, je mogoče izboljšati razumevanje projektne dokumentacije.«*

6.1 Povzetek ugotovitev

V teoretičnem delu disertacije smo obravnavali odnos med stvarnostjo, abstraktnim svetom projektne dokumentacije in človekovim dojemanjem le-te ter prišli do naslednjih ugotovitev.

- Ugotovili smo, da v procesu načrtovanja in gradnje problem nastopi na relaciji med različnimi oglišči Ogdenovega pomenskega trikotnika. Gre za prenos od človekovih zamisli preko simbolov projektne dokumentacije v fizično resničnost zgrajenega objekta.
- Simbolizacijo idej oziroma strukturiranje misli lahko v grajenem okolju razumemo kot izdelavo projektne dokumentacije. Temu je bilo v preteklosti namenjeno veliko pozornosti. Rezultat tega je programska oprema, ki omogoča relativno enostavno in zanesljivo izdelavo informacijskih modelov zgradb.
- Proces, obraten procesu informacijskega modeliranja, je fizična realizacija informacijskega modela oziroma proces gradnje. Informacijske modele pretvarjajo v fizične objekte ljudje, razen ko gradijo roboti. Ljudje morajo simbolično predstavitev informacijskega modela dojeti

in razpoznati v ideje in te implementirati v gradbenih materialih in komponentah. Poiskali smo načine, s katerimi je mogoče proces dojetanja projektne dokumentacije olajšati. Teoretična analiza je pokazala, da bi bilo to mogoče narediti z vključevanjem virtualnih informacij v vidno polje uporabnikov.

- Pregledali smo razvoj razširjene resničnosti in ugotovili, da obstajajo tehnološke rešitve, s katerimi je mogoče zadostiti minimalnim standardom za obstoj razširjene resničnosti – sintetičnega okolja, ki združuje realni in virtualni svet.

V aplikativnem delu disertacije smo razvili prototip in prišli do naslednjih ugotovitev.

- Ugotovljeno je bilo, da komponente, potrebne za izdelavo sistema razširjene resničnosti, ki temelji na BIM-principu, že obstajajo. Potrebno jih je le smiselno sestaviti v celovit sistem.
- Izkazalo se je, da je mogoče 3D-informacijske modele relativno enostavno vključiti v živo sliko realne okolice. Integracija časovne komponente s 3D-modeli pa je nekoliko kompleksnejša, saj je potrebno vsakemu elementu modela dodati časovno komponento. Prikazana je zgolj ena izmed možnosti izdelave 4D-modelov (uporaba GUID identifikacijskih števil). Za večjo uporabnost 4D BIM-sistemov RR bo v prihodnje potrebno to področje celostno obravnavati.
- Tri glavne težave, s katerimi smo se soočili med testiranjem, so (1) nezadostne strojne zmogljivosti prenosnih naprav, (2) vizualno prekrivanje in (3) nenatančnost sledenja. To niso nove težave, saj se z njimi soočajo vsi razvijalci RR-sistemov. To so tehnične težave, ki jih gradbeniki prepuščamo računalničarjem in razvijalcem RR-prikazovalnikov. Gradbeni informatiki pa se osredotočamo na aplikativno področje integracije orodij, specifičnih za gradbeno industrijo, s splošnimi prikazovalniki razširjene resničnosti.
- S testiranjem smo pokazali, da trenutna implementacija sistema poenostavlja dostop do projektne dokumentacije. Strežnik s preprostim uporabniškim vmesnikom omogoča izmenjavo, usklajevanje in administracijo informacijskih modelov zgradb. Mobilna aplikacija pa zagotavlja nemoten dostop do relevantnih informacij. S tem smo poskušali rešiti težave, z nedostopnostjo projektne dokumentacije.
- Prototip, ki je predstavljen v tej disertaciji, ni prvi v smislu prikaza razširjene resničnosti, predstavlja pa nov način razmišljanja, kako je mogoče s pomočjo obstoječih komponent izdelati RR-sistem in posledično dvigniti dostopnost RR v praksi.
- Aplikativni del naloge se predvsem osredotoča na delovanje sistema s tehničnega vidika ter na tehnično oceno prototipa.

Da bi dobili oceno uporabnosti RR ter uporabniško oceno prototipa, smo na koncu izvedli še empirično raziskavo. Z metodo vodenega intervjuja smo poskusili izločiti vpliv, ki bi ga na oceno imelo dejstvo,

da smo anketirancem lahko prikazali zgolj raziskovalni prototip, ki se po vložnem delu ne more primerjati s komercialnimi izdelki, ki bodo gotovo sledili v prihodnosti. Prišli smo do naslednjih ugotovitev:

- Glavni zaključek raziskave je, da se razumljivost in uporabnost projektne dokumentacije z uvajanjem novih tehnologij izboljšujeta. Ugotovili smo, da bo imel preskok iz 3D na razširjeno resničnost vsaj tolikšen učinek, kot ga je imel preskok iz 2D na 3D. To bo mogoče, ko bomo imeli na voljo brežhibno delujoč sistem RR.
- Razširjena resničnost lahko pripomore k razumevanju projektne dokumentacije. Zaradi nezadostno razvite tehnologije, predvsem pri vizualizaciji 3D-modelov v okolju, kjer ni tveganja za vizualno prekrivanje.
- Funkcija vizualizacije objektov je uporabnejša od funkcije za časovni nadzor gradnje. Rezultat strukturirani intervjujev je pokazal, da je 4D-prikaz v takšni obliki, kot je bil predstavljen v tej disertaciji, lahko uporaben predvsem pri komunikaciji z investitorji.
- S prototipom, ki je predstavljen v tej disertaciji, je mogoče ugotavljati, ali dela na gradbišču potekajo skladno s terminskim planom. Kvaliteta prikaza je zadovoljiva, najbolj moteč dejavnik je vizualno prekrivanje. Aplikaciji bi bilo najprej potrebno dodati funkcijo, ki bi ob kliku na element prikazala dodatne informacije o elementu in možnost povečave enega področja slike.
- Malo verjetno je, da bi v bližnji prihodnosti popolnoma opustili uporabo projektne dokumentacije v 2D-obliki.
- Najobetavnejša področja za nadaljnji razvoj razširjene resničnosti so: 3D-vizualizacije, iskanje obstoječih elementov pod zemljo, nadzor skladnosti izvedenih del s projektno dokumentacijo in ogled skritih, obstoječih inštalacij v zgradbah.

6.2 Nadaljnje delo in odprta vprašanja

V prihodnosti se je potrebno osredotočiti na tri glavna področja: (1) v nadaljnji razvoj strojnih in programskih komponent, (2) v povečevanje uporabnosti informacijskih modelov, predvsem njihove časovne dimenzije, in (3) izboljšanje razumevanja procesov prenosa informacij.

Naše raziskave so razkrile resne tehnične težave s trenutnim stanjem opreme. Težko je pričakovati, da bomo raziskovalci, ki se ukvarjamo z gradbeno informatiko, rešili težave s strojnimi in sistemsko-programskimi komponentami, zato je po našem mnenju smiselno ta del prepustiti ekspertom informacijskih tehnologij. Strojna oprema, npr. Google Glass, ki jo bo mogoče uporabiti v prihodnosti, se že razvija. Ko bo na voljo, bo rešitve, ki smo jih predstavili v tej disertaciji, mogoče aplicirati na njej.

Eksponentni trend napredka mobilnih naprav na področju računskih, pomnilniških in prikaznih zmogljivostih ter energijskih učinkovitosti je tak, da je v naslednjih petih do desetih letih mogoče pričakovati strojno podporo za prikaz informacijskih modelov v RR-okolju. To ugotovitev je mogoče podpreti z Moorovim zakonom o povečevanju procesorskih zmogljivosti (Moore, 1965), s Koomeyevim zakonom o energetski učinkovitosti računalnikov (Koomey et al., 2011) in z rezultati testov zmogljivosti strojne opreme, ki se nahajajo v tej disertaciji. Več težav je mogoče pričakovati z odpravo težave vizualnega prekrivanja. Takšne trende je mogoče razbrati tudi iz Gartnerjevih ciklov popularnosti novih tehnologij (Gartner's, 2012), (Gartner's, 2013).

Raziskovalci že vsaj dve desetletji preučujejo informacijske modele, ki bi vključevali časovno komponento. Komercialna implementacija zaostaja, morda tudi zato, ker ni dovolj primerov, v katerih bi bili ti podatki zares potrebni. Implementacija RR na področju grajenega okolja postavlja dodaten motiv za to. Proizvajalci BIM programske opreme in razvijalci BIM strežnikov se bodo morali tudi bolj posvetiti mobilnim platformam in odprtim podatkovnim strukturam tipa OBJ/MTL in VRML, ki jih je kasneje mogoče uporabiti za pripravo podatkov, primernih za prikaz z visoko zmogljivimi okolji tipa Layar.

Po našem mnenju bo v prihodnosti potrebno zadostno mero pozornosti nameniti tudi tretji točki, to je izboljšanju razumevanja procesov prenosa informacij. Potrebno bo natančno določiti: (1) katere informacije, (2) v kakšni obliki in (3) v katerem trenutku jih gradbeniki potrebujejo, saj je bilo v tej disertaciji ugotovljeno, da lahko prevelika količina nepotrebnih informacij negativno vpliva na uporabnost RR.

V disertaciji smo študirali predvsem uporabo RR v tistih fazah gradnje, v katerih informacijske modele v glavnem uporabljamo. RR pa odpira še eno pomembno področje raziskav, to je uporabo v fazah, v katerih informacijski modeli nastajajo. Gre torej za projektiranje na prenosnih napravah v realnem okolju, ne pa za računalnikom oziroma za mizo. Eno izmed možnosti za razvoj takšnega sistema RR vidimo pri obnovah obstoječih objektov. Tehnologija za izdelavo posnetkov trenutnega stanja že obstaja. Z laserskim skeniranjem dobimo množico točk, ki predstavlja obris obstoječih objektov. Te podatke je potrebno v nadaljevanju ročno povezati, če želimo izdelati informacijski model. Z RR-sistemom bi lahko to opravilo poenostavili na terenu.

VIRI

Adams, E. C. 1993. Fighter cockpits of the future. 12th Digital Avionics Systems Conference, DASC., AIAA/IEEE: 318 - 323.

Anderson, J. R. 1995. Cognitive psychology and its implementations fourth edition. Freeman and Company.

Anumba, C. J. Bouchlaghem, N. M., Whyte, J., Duke, A. 2000. Perspectives on an integrated construction project model. International Journal of Cooperative Information Systems, 9: 283-313. doi: 10.1142/S0218843000000107.

Aouad, G. 1998. An IT Map for a Generic Design and Construction Process protocol, Journal of Construction Procurement, 4: 132-51.

Autodesk. 2013. BIM for Infrastructure: A vehicle for business transformation. <http://usa.autodesk.com/building-information-modeling/about-bim/> (Pridobljeno 5. 4. 2013).

Autodesk. 2014. IFC Exporter. <https://apps.exchange.autodesk.com/RVT/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3Aifcexporterforrevit2014%3Aen> (Pridobljeno 6. 6. 2014).

Azuma, R. 2001. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, 25:1 - 15. doi:10.1109/38.963459.

Bajec, M., Rupnik, M., 2004. RUP. Osnove informacijskih sistemov 2. letnik, Programska oprema, pp.156 - 159.

Banerjee, J. C. 1994. Gestalt Theory of Perception. Encyclopaedic Dictionary of Psychological Terms. Pvt. Ltd. Publications.

BCIS. 2011. UK government Building Information Modelling (BIM) Strategy. <http://www.bimtaskgroup.org/bim-faqs/> (Pridobljeno 2. 10. 2012).

Behzadan, A. H., Kamat, V. R. 2006. Animation of construction activities in outdoor augmented reality. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, 1:1 - 9.

Behzadan, A.H. Kamat, V. R. 2010. Scalable Algorithm for Resolving Incorrect Occlusion in Dynamic Augmented Reality Engineering Environments. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 25: 3 – 19. doi: 10.1111/j.1467-8667.2009.00601.x.

Bermúdez, J. L. 2010. Cognitive Science: An Introduction to the Science of the Mind. Cambridge University Press.

Biderman, I. 1988. Surface vs. edge – based determinations of visual recognition. Cognitive psychology, 97: 22 – 27. doi: 10.1016/0010-0285(88)90024-2.

BIM server. 2013. BIM srv. <http://code.google.com/p/bimserver/wiki/Home?tm=6> (Pridobljeno 5. 10. 2013).

- Björk, B. C. Penttila, H. 1989. A scenario for the development and an implementation of the building product model standard. *Advances in Engineering Software*, 11:76-187.
- Boddy, S., Rezgui, Y., Cooper, G., Wetherill, M. 2007. Computer integrated construction: A review and proposals for future research. *Advances in Engineering Software*, 38: 677 - 687. doi: 10.1016/j.advengsoft.2006.10.007
- Brazzola, C. 2013. Mobile Glossary. <http://mobileman.projects.supsi.ch/glossary.html> (Pridobljeno 18. 7. 2013).
- Bröchner, J., Badenfelt, U. 2011. Changes and change management in construction and IT projects. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20: 767–75.
- Broll, W. 2001. A Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, Fraunhofer Institute for Applied Information Technology (FIT), 1: 1 - 10.
- BuildingSMART, 2013. Open BIM. <http://www.buildingsmart.org/openbim> (Pridobljeno 27. 9. 2013).
- Cai, X., Lyn, M., Wong, K.F., Ko, R. 2010. Component-Based Software Engineering: Technologies, Development Frameworks, and Quality Assurance Schemes. *Software Engineering Conference (APSEC)*: 372 - 379.
- Cameron, C. 2010. How augmented reality helps doctors save lives. http://readwrite.com/2010/06/02/how_augmented_reality_helps_doctors_save_lives (Pridobljeno 4. 6. 2013).
- Castillo, J. 2012. Snowball Sampling. <http://www.experiment-resources.com/snowball-sampling.html> (Pridobljeno 10. 10. 2012).
- Caudell, T. 1992. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on Augmented reality*:659 – 699.
- Cerar, M. 2012. Nadgrajena resničnost na osnovi označevalnikov. Diplomaska naloga UL, FE.
- Cerovšek, T. 2011. A review and outlook for a ‘Building Information Model’ (BIM) A multi – standpoint framework for technological development. *Advanced Engineering Informatics*, 25: 224 – 244. doi: 10.1016/j.aei.2010.06.003.
- Cerovšek, T., Turk, Ž., Duhovnik, J. 2002. Informacijski modeli zgradb. *Zbornik 24. zborovanja gradbenih konstruktorjev*: 44 – 50.
- Cesnik, B. 2006. Izbrana poglavja iz informacijskih tehnologij. Inštitut Jožef Stefan.
- Chakraborty, A. 2007. *Methaphysics for Scientific Realism – Knowing the Unbervable*. Cambridge University Press.
- Cherry, K. 2010. Perception and the perceptual process. <http://psychology.about.com/od/sensationandperception/ss/perceptproc.htm> (Pridobljeno 7. 9. 2013).

Chi, H. L., Shin, C. K. Wang, X. 2013. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering and construction. *Automation in Construction*, 33: 116 – 122. doi: 10.1016/j.autcon.2012.12.017.

COBie. 2013. Construction Operations Building Information Exchange. <http://www.wbdg.org/resources/cobie.php> (Pridobljeno 26. 9. 2013).

Craig, A. B. 2013. Mobile Augmented Reality. *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*, 7: 209 – 220. doi: 10.1016/B978-0-240-82408-6.00007-2.

Curtis, S. 2013. Techworld. <http://features.techworld.com/mobile-wireless/3437672/indoor-positioning-market-heats-up-with-apple-acquisition-of-wifislam/> (Pridobljeno 16. 12. 2013).

Davidson, J. N., Campbel, L. A. 1996. Collaborative Design in Virtual Space-GreenSpace II: A Shared Environment for Architectural Design Review, Design Computation, Collaboration, Reasoning, Pedagogy. *Proceedings of the ACADIA Conference*: 165–79.

Dong, S., Behzadan, A. H., Chen, F., Kamat, V. R. 2013. Collaborative visualization of engineering processes using tabletop augmented reality. *Advances in Engineering Software*, 55: 45 – 55. doi: 10.1016/j.advengsoft.2012.09.001.

Dong, S., Feng, C., Kamat, V. R. 2012. Real-Time Occlusion Handling for Dynamic Augmented Reality Using Geometric Sensing and Graphical Shading. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27: 575 – 768. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000278.

Duston, P. S., Shin, H. 2009. Key Areas And Issues For Augmented Reality Applications On Construction Sites. *Mixed Reality in architecture Design and Construction*. Springer.

Eastman, C. 1976. The use of computers instead of drawings. *AIA Journal*, 12:56 - 50.

Eastman, C. 1992. Modeling of buildings: evolution and concepts. *Automation in Construction*, 63: 99 – 109. doi: 10.1016/0926-5805(92)90001-Z.

Eastman, C. 1999. *Building product models: computer environments supporting design and construction*. CRC Press.

Eastman, C., Teicholz, P., Liston, K. 2008. *BIM handbook*. Wiley.

EKA. 2013. Repräsentativnost. <https://www.1ka.si/c/701/Repräsentativnost/?preid=644> (Pridobljeno 10. 10. 2013).

Elber, G. 2002. Beyond Escher for Real. <http://www.cs.technion.ac.il/~gershon/EscherForReal/> (Pridobljeno 20. 6. 2013).

Elgan, M. 2013. Why Apple's 'indoor GPS' plan is brilliant. http://www.computerworld.com/s/article/9242393/Why_Apple_s_indoor_GPS_plan_is_brilliant (Pridobljeno 3. 5. 2013).

Endsley, M. R. 2000. Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review. *Situation Awareness analysis and Measurement*, 10: 3–32.

- EUROSTAT. 2013. Eurostat. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=sbs_na_4a_co&lang=en (Pridobljeno 20. 7. 2013).
- Fard, M. G., Mora, F. P., Arboleda, C. A., Lee S. H. 2009. Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs. *Journal of computing in civil engineering*, 23:391-404. doi: 10.1061/(ASCE) 0887-3801(2009)23:6(391).
- Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T., Webster, A. 1993. Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM - Special issue on computer augmented environments: back to the real world*, 36: 53-62.
- Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T., Webster, A. 1997. A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Wearable Computers*, 8:74 - 81.
- Feng, Z. 2008. Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*: 193 - 202.
- Fijačko, J. 2011. Mobilna aplikacija za dopolnjeno stvarnost na osnovi lokacijskih podatkov. Diplomska naloga UČ, FE.
- Foley, J. D. 1984. *Fundamentals of Interactive Computer Craphic*. Wesley.
- Frankl, V. 1989. *The Will to Meaning: Foundations and Applications of Logotherapy*. New american library trade.
- Fry, P. 2012. Lecture 3 - Ways In and Out of the Hermeneutic Circle. <http://oyc.yale.edu/english/engl-300/lecture-3> (Pridobljeno 24. 5. 2014).
- Gallagher, S. Z. 2008. *The Phenomenological Mind*. Edison.
- Gargenta, M. 2011. *Learning Android*. Sebastopol. O'Reilly.
- Gartner's. 2012. Gartner's Hype Cycle Special Report. <http://www.gartner.com/technology/research/hype-cycles>. (Pridobljeno 22. 7. 2013).
- Gartner's. 2013. Gartner's 2013 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps Out Evolving Relationship Between Humans and Machines. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2575515> (Pridobljeno 5. 4. 2014).
- Glass. 2013. Google Glass. <http://www.google.com/glass/start/> (Pridobljeno 26. 8. 2013).
- Goldhill, O. 2013. Business Insider. <http://www.businessinsider.com/android-is-utterly-dominant-in-europe-2013-7> (Pridobljeno 24. 10. 2013).
- Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., Savarese, S. 2009. D4 AR- A 4 - dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13: 129-53.
- Google. 2013. Google Play. <https://play.google.com/store/> (Pridobljeno 23. 9. 2013).

Graphisoft. 2013. Graphisoft.
<http://www.graphisoft.com/openbim/bim/>. (Pridobljeno 12. 2. 2013).

Gruber, T. 1992. What is an ontology?.
<http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html#1> (Pridobljeno 12. 4. 2012).

Gruber, T. 1995. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal Human-Computer Studies*, 6: 907-28.

Gu, N. 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19: 988 – 999. doi:10.1016/j.autcon.2010.09.002.

Harman F. 2013. Augmented reality car windscreens to display phone calls and GPS information.
<http://www.telegraph.co.uk/motoring/motoringvideo/9915073/Augmented-reality-car-windscreens-to-display-phone-calls-and-GPS-information.html>. (Pridobljeno 5. 5. 2013).

Hartmann, T. Meerveld, H., Vossebeld, N., Adriaanse, A. 2012. Aligning building information model tools and construction management methods. *Automation in Construction*, 22: 605 – 613. doi: 10.1016/j.autcon.2011.12.011.

Haymaker, J., Fischer, M., Kunz, J., Sunter, B. 2004. Engineering test cases to motivate the formalization of an AEC project model as a directed acyclic graph of views and dependencies. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 9:419 - 441.

Heidegger, M. 1962. *Being and time - Sein und zeit*. Harper & Row.

Hollerer, T. 1999. Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System. *Computers & Graphics*, 23 :779 - 785.

IfcOpenShell. 2014. IfcOpenShell.
<http://ifcopenshell.org/ifcconvert.html> (Pridobljeno 6. 6. 2014).

Imoran, A. 2009. Current Applications of AR.
<http://augreality.pbworks.com/w/page/9469034/Current%20Applications%20of%20AR> (Pridobljeno 6. 6. 2013).

Isikdag, U., Underwood, J. 2010. Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration. *Automation in Construction*, 19: 544–53. doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.006,

ISO 16739. 2005. IFC standard.
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38056 (Pridobljeno 1. 10. 2013).

Kam, C., Fischer, M. 2004. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 8: 988 – 999. doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.002.

Kang, L. S. 2010. Improved link between Schedule Data and 3D Object in 4D CAD Systems by using WBS Code. *Journal of Civil Engineering*, 6: 803 – 814. doi:10.1007/s12205-010-0960-4.

Kareem, H. I. A., Bakar, A. H. 2011. Identifying IT benefits for Malaysian construction companies. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16, :477 - 492.

- Karrbom, T., Samuelson, O., Wikforss, Ö. 2012. Organizing it in construction: present state and future challenges in Sweden. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 33:520 - 534.
- Klinc, R. 2010. Spletne storitve nove generacije kot infrastruktura za obvladovanje virtualnih organizacij. Doktorska naloga. UL FGG.
- Klinker, G., Stricker, D., Reiners, D. 2001. Augmented reality for exterior construction applications. *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*: 388-91.
- Koomey, J. G., Berard, S., Sanchez, M., Wong, H. 2011. Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing. *IEEE Annals of the History of Computing*, 33: 46 - 54. doi: 10.1109/MAHC.2010.28
- Kosslyn, S. 1994. *Image and brain*. MIT Press.
- Krainer, 2012, TIGR, Delavnica DS1 Ljubljana (30.5.2012)
- Kumalić, E., 2013. Spremljanje gradnje z uporabo razširjene resničnosti (Augmented reality) na primeru naselje koliščarji. Magisterska naloga. UM. FG.
- Laiserin, J. 2003. The BIM page. <http://www.laiserin.com/features/bim>. (Pridobljeno 25. 4. 2014).
- Lange, E. 2011. 99 volumes later: We can visualise. Now what? *Landscape and Urban Planning*, 4: 403 – 406. doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.02.016.
- Layar. 2013. Layar developer documentation. <http://www.layar.com/documentation/browser/3d-model-converter/> (Pridobljeno 20. 6. 2013).
- Layar. 2013. Layar on google glass; it's not augmented reality. <https://www.layar.com/news/blog/2013/06/25/layar-on-google-glass>. (Pridobljeno 27. 9. 2013).
- Levit, D. J. 2002. *Foundations of Cognitive Psychology*. 2nd ed. MIT press.
- Li, N., Gerber, B. 2011. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. *Advanced Engineering Informatics*, 25: 535 – 546. doi: 10.1016/j.aei.2011.02.004.
- Lin, T., Ma, M., Lachapelle, G. 2013. Demonstration of a high sensitivity GNSS software receiver for indoor positioning. *Advances in Space Research*, 51: 1035 – 1045. doi: 10.1016/j.asr.2012.06.011.
- Litchfield, S. 2010. Defining the Smartphone - part 1. http://www.allaboutsymbian.com/features/item/Defining_the_Smartphone.php (Pridobljeno 18. 7. 2013).
- Lu, M., Zhang, Y., Hu, Z., Li, J. 2009. Integration of four – dimensional computer – aided design modeling and three – dimensional animation of operations simulation for visualizing construction of the main stadium for the Beijing 2008 Olympic games. *Journal of Civil Engineering*, 36: 473 – 479. doi: 10.1139/L08-145.
- Madden, L. 2011. *Professional Augmented Reality Browsers for Smartphones; programming for junaio, Layar and Wikitude*. Wiley.

Malleson, A. 2014. BIM Survey: Summary of findings. National BIM Report 2014:11 - 21.

Marr, D. 1982. Vision. San Francisco.
<http://www.m-w.com> (Pridobljeno 26. 3. 2012).

Milgram, P., Takemura, H. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Proc. Telemanipulator and Telepresence Technologies: 282 - 292. doi:10.1117/12.197321.

Mobitel, 2012. Tehnik.
<http://tehnik.telekom.si/novice/delez-uporabnikov-pametnih-telefonov-pri-nas-vztrajno-raste-predvsem-na-racun-androida> (Pridobljeno 24. 10. 2013).

Montoro, M. P. 2007. The phenomenon of information – a conceptual approach to information flow. The Scarecrow Press.

Moore, G. E. 1965. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics, 38, :114 - 117. doi:10.1109/jproc.1998.658762.

MWD. 2013. Merriam-Webster Dictionary.
<http://www.merriam-webster.com/dictionary/symbol> (Pridobljeno 21. 9. 2013).

NBMS. 2013. The National BIM Standard-United States™.
<http://www.nationalbimstandard.org/> (Pridobljeno 20. 9. 2013).

NIBS. 2013. National institute of building sciences - Construction Operations Building information exchange (COBie).
http://www.nibs.org/?page=bsa_cobie (Pridobljeno 27. 9. 2013).

Northwood, C. 2013. Digital engineering. National BIM Report 2013:21 - 22.

Nozarok, G. 2013. Is Google Glass an Augmented Reality Device?.
<http://blog.integratedrealities.com/?p=261> (Pridobljeno 22. 7. 2013).

Ogden, C. H., Richards, I. A. 1989. (First published 1923) The meaning of meaning.. Harcourt Brace Jovanovich.

Olson, T. D. Savison , A. T., Hakkarainen, M., Woodward, C. 2012. User evaluation of mobile augmented reality in architectural planning. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - ECPPM:733–740, doi: 10.1201/b12516-116.

OpenGlass. 2013. OpenGlass gives Google Glass real-time augmented reality (video).
www.engadget.com/2013/08/21/openglass-google-glass-real-time-augmented-reality/ (Pridobljeno 27. 9. 2013).

OpenIFC. 2010. Open IFC Tools.
http://www.openifctools.org/Open_IFC_Tools/Home.html (Pridobljeno 2. 10. 2012).

Palmer, D. 2002. Ali središče drži? Uvod v zahodno filozofijo / besedilo in ilustracije Donald Palmer ; prevedli Mišo Dačić, Alenka Hladnik, Marjan Šimenc. DZS.

- Panzarino, M. 2013. TWN. <http://thenextweb.com/apple/2013/03/26/what-exactly-wifislam-is-and-why-apple-acquired-it/#!pZOzx> (Pridobljeno 16. 12. 2013).
- Pawsey, N., Howe, J. 2013. Advancing Asset Knowledge through the Use of Augmented Reality Technologies. Fiatch.
- Pazlar, T. 2008. Preslikave med arhitekturnimi in računskimi apsekti v informacijskih modelih zgradb. Doktorska disertacija. UL, FGG.
- Pazlar, T., Dolenc, M., Duhovnik, J. 2004. Rezultati raziskave o rabi informacijskih tehnologij v arhitekturi inženirstvu in gradbeništvu v Sloveniji. *Gradbeni vestnik*, 60:233 - 229.
- Petri, C.A. 1977. Modeling as a communication discipline in mesuring. North Holland.
- PJM. 2008. <http://osebje.famnit.upr.si/~savnik/predmeti/PMJ/0708/predavanja/1-SDM.pdf> (Pridobljeno 5. 4. 2012).
- Podlesk K. 2011. Implementacija in uporaba knjižnice za prikaz bližnjih zanimivih točk z obogateno resničnostjo na mobilnih napravah. Diplomaska naloga. UL, FRI.
- Podrekar, G. 2011. Razvoj sistema za ne invazivno opazovanje podkožnih ven z obogateno resničnostjo. Diplomaska naloga. UL, FE.
- Pokorny, B. 2012. Osnove znanstveno raziskovalnega dela: za mlade raziskovalce in mentorje. ERICO.
- Posner, M. I. 1994. Attention: The mechanism of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 16, :7398–402.
- Pour, G. 1998. Component-based software development approach: new opportunities and challenges. *Proceedings Technology of Object-Oriented Languages*:375 - 383.
- Pucer, P. 2011. Razširjena resničnost. *Zdravstveni vestnik* , 80:578 – 585.
- Radford, A., Atkinson, M., Britain, D., Spencer, A. 2009. *Linguistics An Introduction* second edition. Cambridge university press.
- Ramey, D., Rose, L. 1995. MTL material format. <http://paulbourke.net/dataformats/mtl/> (Pridobljeno 27. 11. 2013).
- Rebolj, D. 2008. Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*, 22: 493 – 503. doi: 10.1016/j.aei.2008.06.002.
- Rebolj, D., Mazel, K. 2004. Mobile computing in construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19: 281 - 283.
- Remic, K. 2011. Mobilna aplikacija za razpoznavo gora na osnovi dopolnjene resničnosti. Diplomaska naloga. UL. FE.
- Richard, D., Harty, C. 2013. Implementing 'Site BIM': A case study of ICT innovation on large hospital project. *Automation in Construction*, 30: 15 – 24. doi:10.1016/j.autcon.2012.11.024.

Rivard, H. 2000. A survey on impact of information technology on the Canadian architecture, engineering and construction industry. *Journal of information technology in construction, (ITcon)*, 3 ; 37 - 56.

Ruikar, K. 2010. User survey: the benefits of an online collaborative contact management system. *Journal of information technology in construction, (ITcon)*, 15: 258 - 268.

Russel, B. 1991. *A history of western philosophy*. Routledge and Kegan Paul.

Sacks, R. Radosavljevic, M., Bark, R. 2010. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in construction*, 19: 641 – 655. doi: 10.1016/j.autcon.2010.02.010.

Samuelson, O. 2002. IT-Barometer 2000–The use of IT in the Nordic construction industry. *Journal of information technology in construction, (ITcon)*, 7: 1-26.

Saussure, F. 1983. *Course in General Linguistics*. Bloomsbury Publishing.

Schacter, D., Gilbert , D.T., Wegner, D. M. 2011. *Psychology*. Worth Publishers.

Schnabel, M. A. 2006. Framing Mixed realities. In *Mixed Reality in Architecture Design & Construction*. Springer.

Schön, D. A. 1990. *Evaluating the reflective practitioner: toward a new design for teaching and learning practioner*. Jossey Bass.

Şenyapılı, B., Gökçen Bozdağ, B. 2012. A domain specific software model for interior architectural education and practice. *Automation in Construction*, 21: 10 – 23. doi: 10.1016/j.autcon.2011.05.008.

Shall, G. 2012. Handheld Geospatial Augmented Reality Using Urban 3D Models. *Proceedings of the Workshop on Mobile Spatial Interaction, ACM International Conference , 17: 56 - 67*.

Shin, D. H., Dunston, P. S. 2008. Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*, 17: 882 – 894. doi: 10.1016/j.autcon.2008.02.012.

Shin, D. H., Dunston, P. S. 2009. Evaluation of Augmented Reality in steel column inspection. *Automation in Construction*, 18:118 – 129. doi: 10.1016/j.autcon.2008.05.007.

Sokolowski, R. 2000. *Introduction to phenomenology*. 5th ed. Cambridge university press.

Solibri. 2013. Solibri Viewer. <http://www.solibri.com/> (Pridobljeno 8. 9. 2013).

Sommerville, I. 2004. *Software engineering*. Pearson Press.

Southerland, I. 1968. A head mounted Three dimensional display. *AIPFS conference proceedings: 757 – 764*. doi: 10.1145/1476589.1476686.

Sowa, J. F. 1984. *Conceptual structures: information processing in mind and machine*. IBM Systems Research Institute. Addison – Wesley Publishing Company.

- SSKJ. 2013. Slovar slovenskega knjižnega jezika. <http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (Pridobljeno 3. 4. 2013).
- Stein, S. 2013. Challenges for High Performance Wearable Solutions. <http://www.cnet.com/news/so-what-the-heck-is-wearable-tech-anyway/> (Pridobljeno 11. 12. 2013).
- Stein, S. 2013. CNET. http://reviews.cnet.com/8301-34900_7-57595998/so-what-the-heck-is-wearable-tech-anyway/ (Pridobljeno 11. 11. 2013).
- STSI. 2012. Spletni terminološki slovar informatike. http://www.islovar.org/iskanje_enostavno.asp (Pridobljeno 4. 5. 2012).
- SURS. 2012. Statistični letopis. <http://www.stat.si/letopis/LetopisPrvaStran.aspx?lang=si> (Pridobljeno 6. 6. 2013).
- SURS. 2013. Statistični letopis. <http://www.stat.si/letopis/LetopisPrvaStran.aspx?lang=si> (Pridobljeno 8. 4. 2013).
- Topping, R. E. 2013. Advanced Asset Knowledge through the use of augmented reality technologies. Austin: The University of Texas at Austin Fiatech.
- Turk, Ž. 2001. Phenomenological foundations of conceptual product modeling in architecture, engineering and construction. *Artificial Intelligence in Engineering* 15: 83 – 92. doi:10.1016/S0954-1810(01)00008-5.
- Turk, Ž. 2006. Methodologies for Construction Informatics Research. *Intelligent Computing in Engineering and Architecture*, 20: 663 – 669. doi:10.1016/j.aei.2005.10.002.
- Turk, Ž. 2013. Gradivo za predmet opisna geometrija. <http://kgi.fgg.uni-lj.si/old/pouk/opisna/folije/> (Pridobljeno 20. 12. 2013).
- Vanlande, R., Nicolle, C., Cruz, C. 2008. IFC and Building Lifecycle Management. *Automation in construction*, 18: 70 - 78. doi: 10.1016/j.autcon.2008.05.001.
- Vele, U. 2006. Heideggrova zastavitev filozofije – fenomenologija in vprašanje biti. *ANTHROPOS*, 3-4: 21–29.
- Vračko, N. 2012. Uporaba nadgrajene resničnosti v gradbeništvu. Diplomaska naloga UM, FG.
- VTT. 2013. Mobile Augmented Reality for Building Maintenance. <http://www.youtube.com/watch?v=uYFtYbqvoq/> (Pridobljeno 3. 10. 2013).
- Wang, X., Kin, M. J., Love, P. E. D., Kang, S. C. 2013. Augmented Reality in build environment: Classification and implementation for future research. *Automation in construction*, 23, :1 - 13. doi: 10.1016/j.autcon.2012.11.021.
- Webster, A. 1996. Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation. *Proc., Computing in civil engineering, ASCE*: 913 – 919.
- Wertheimer, M. 1912. Experimentelle Studien über das Sehen von Beugung. *Aertishhrift Fuer Psihology*:161 - 265.

Wiesel, A., Becker, R. 1996. CAD model for performance evaluation. *Building and Environment*, 4, :345–361. doi: 10.1016/0360-1323(96)00004-2.

Wikforss, O. 2007. Rethinking communication in construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 12, :337 - 345.

Wikitude. 2010. Wikitude. <http://www.wikitude.com/> (Pridobljeno 23. 7. 2013).

Windston, P. H. 1970. *Learning structural descriptions from examples*. Cambridge Press.

Woksepp, S., Olofsson, T. 2008. Credibility and applicability of virtual reality models in design and construction. *Advanced engineering informatics*, 22: 520 - 528. doi: 10.1016/j.aei.2008.06.007

Woo, J. H. 2004. Dynamic knowledge Map: reusing expert's tactic knowledge in AEC industry. *Automation in Construction*, 13: 203 - 207. doi: 10.1016/j.autcon.2003.09.003.

Woodward, C., Hakkarainen, M. 2011. Mobile mixed reality system for architectural and construction site visualization. In A.Y.C. Nee, ed. *Augmented reality - Some Emergent Application Areas*. InTech. :115-30.

Woodward, C., Hakkarainen, M., Billinghamurst, M. 2012. A Client/Server Architecture for Augmented Assembly on Mobile Phones. *Handbook of Research on Mobile Software Engineering: Design, Implementation, and Emergent Applications*: 1- 16. doi: 10.4018/978-1-61520-655-1.ch001.

Woodward, C. 2010. Mixed reality for mobile construction site visualization and communication. *Proc. 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2010)*: 35 - 44.

Woodward, C., Hakkarainen, M., Raino, K. 2010. Mobile Augmented Reality for Building and Construction. *Mobile AR Summit @ MWC 2010*: 1 - 2.

Wright, K. B. 2005. Researching Internet-Based Populations: Advantages and Disadvantages of Online Survey Research, Online Questionnaire Authoring Software Packages, and Web Survey Services. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 10: 3 – 11. doi: 10.1111/j.1083-6101.2005.tb00259.x.

XAMPP. 2013. open-source web server package. <http://www.apachefriends.org/en/xam.html> (Pridobljeno 25. 5. 2013).

Xiaoyang, K. 2013. Virtual Lane Graphics for Swimming with CSS3. <http://xy-kao.com/index.php?id=virtual-graphics-for-swimming> (Pridobljeno 21. 1. 2013).

Yeh, K., Tsai, M., Kang, S. 2012. On-Site Building Information Retrieval by Using Projection-Based Augmented Reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26:342–55. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000156

ZGO. 2008. ZGO - Pravilnik o projektni dokumentaciji. <http://www.uradni-list.si/1/content?id=86836> (Pridobljeno 15. 7. 2013).

Zimbardo, P. G., Gerrig, R. G. 2002. *Foundations of cognitive psychology - perception*. 4th ed. MIT Press.

ZRSZ. 2011. Gradbeništvo v času krize. http://www.ess.gov.si/_files/3113/gradbenistvo_v%20casu_krize.pdf (Pridobljeno 16. 9. 2013)

Ta stran je namenoma prazna

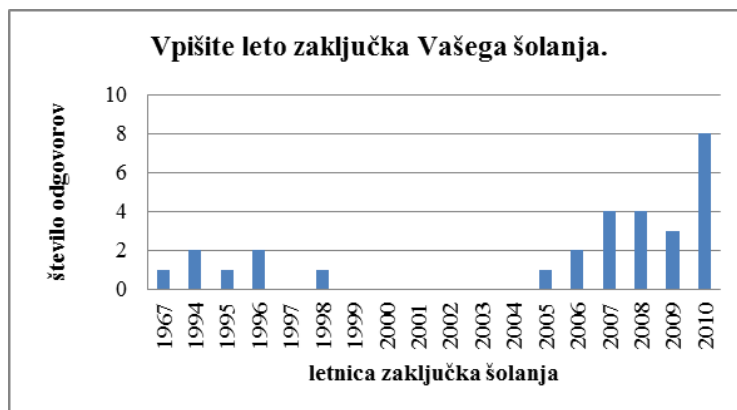
A – 1: RAZISKAVA O POZNAVANJU IN UPORABI INFORMACIJSKO KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJ V GRADBENIŠTVU

1. S čim se ukvarja vaše podjetje? (Uporabniki bodo morda potrditi več potrditvenih polj, zato bodo skupni odstotki morda večji od 100 %.)
 - a. *projektiranje* (56 %)
 - b. *inženiring* (34 %)
 - c. *gradnja* (44 %)
 - d. *zaključna dela* (9 %)
 - e. *izobraževanje* (9 %)

2. Izberite velikost vašega podjetja.
 - a. *do 5 zaposlenih* (34 %)
 - b. *do 20 zaposlenih* (13 %)
 - c. *do 50 zaposlenih* (13 %)
 - d. *do 100 zaposlenih* (3 %)
 - e. *več kot 100 zaposlenih* (37 %)

3. Izberite stopnjo vaše izobrazbe.
 - a. *3. stopnja: dokončana poklicna šola* (0 %)
 - b. *4. stopnja: dokončana srednja strokovna šola* (1 %)
 - c. *5. stopnja: dokončana gimnazija ali druga štiriletna strokovna šola* (2 %)
 - d. *6. stopnja: dokončana višja strokovna šola* (19 %)
 - e. *7. stopnja: dokončana visoka strokovna šola* (75 %)
 - f. *8. stopnja: znanstveni magisterij* (1 %)
 - g. *9. stopnja: doktorat znanosti* (2 %)

4. Vpišite leto zaključka vašega šolanja.



5. Vpišite, koliko časa ste že zaposleni v gradbeni stroki.



6. Ali vaše podjetje sledi trendom razvoja gradbene informatike?

a. da (75 %)

b. ne (25 %)

7. Označite, katera programska orodja uporabljate. (Uporabniki bodo morda potrdili več potrditvenih polj, zato bodo skupni odstotki morda večji od 100 %.)

a. Autodesk AutoCAD (81 %)

b. Autodesk Revit (13 %)

c. Bentley Microstation (0 %)

d. Bentley systems Structural (3 %)

e. Computers and Structures SAP (13 %)

f. Catia (0 %)

g. Graphisoft ArchiCAD (25 %)

h. Google SketchUP (25 %)

i. Excel (94 %)

- j. *MS Project* (50 %)
- k. *Nemetschek Allplan* (16 %)
- l. *Solid works* (0 %)
- m. *Vico Construction estimator* (0 %)
- n. *nič od naštetega* (0 %)
- o. *urejevalnike besedila* (81 %)
- p. *drugo* (25 %)

8. Ali ste že slišali za BIM-tehnologijo?

- a. *da* (59 %)
- b. *ne* (41 %)

9. Če uporabljate BIM-tehnologijo, označite, za katera opravila jo uporabljate.

- a. *3D- projektiranje* (58 %)
- b. *izdelava terminskih planov* (33 %)
- c. *izdelava popisov del* (58 %)
- d. *vnašanje popravkov med gradnjo* (33 %)

10. Če BIM-tehnologije ne uporabljate, prosim, označite razloge za to.

- a. *BIM-tehnologija je preslabo razvita za uporabo v praksi.* (0 %)
- b. *BIM-tehnologija ni primerna za delo, ki ga opravljamo.* (7 %)
- c. *Nakup programske opreme BIM predstavlja prevelik začetni vložek.* (36 %)
- d. *Zaposleni nimajo dovolj znanja za uspešen prehod na novo tehnologijo.* (43%)

A – 2: VPRAŠALNIK: RAZISKAVA O PRENOSU PODATKOV IN RAZUMEVANJU PROJEKTNE DOKUMENTACIJE V GRADBENIŠTVU

OSNOVNA VPRAŠANJA

1. Letnica rojstva

2. Glavna dejavnost podjetja.

- a. *gradnja* (19 %)
- b. *arhitektura* (17 %)
- c. *inženirske analize* (8 %)

- d. *investicije* (2 %)
- e. *inženiring* (19 %)
- f. *obrtniška dela* (8 %)
- g. *nadzor* (2 %)
- h. *drugo* (26 %)

3. Velikost podjetja

- a. *1 zaposlen* (9 %)
- b. *2–9 zaposlenih* (25 %)
- c. *10–49 zaposlenih* (36 %)
- d. *več kot 50 zaposlenih* (26 %)

4. Naše podjetje sledi trendom informacijske tehnologije.

- a. *se močno strinjam* (25 %)
- b. *se strinjam* (58 %)
- c. *ne vem* (4 %)
- d. *se ne strinjam* (9 %)
- e. *se močno ne strinjam* (0 %)

5. Kje opravljate svoje delo?

- a. *v pisarni* (34 %)
- b. *na terenu* (81 %)
- c. *v pisarni in na terenu* (51 %)

6. Vaša vloga v podjetju

- a. *direktor* (11 %)
- b. *arhitekt* (9 %)
- c. *projektant* (30 %)
- d. *priprava dela* (9 %)
- e. *vodja gradbišča* (11 %)
- f. *nadzornik* (8 %)
- g. *obračunski tehnik* (6 %)
- h. *fizični delavec* (0 %)
- i. *drugo* (15 %)

7. Naprave, ki jih imate na razpolago na delovnem mestu. (Uporabniki bodo morda potrditi več potrditvenih polj, zato bodo skupni odstotki morda večji od 100 %.)

- a. mobilni telefon (61 %)
- b. pametni telefon (61 %)
- c. tablični računalnik (8 %)
- d. dlančnik (8 %)
- e. stacionarni računalnik (61 %)
- f. prenosni računalnik (75 %)

8. Ali ste naprave, ki jih uporabljate, dobili v službi?

- a. da (92 %)
- b. ne (8 %)

PROJEKTNA DOKUMENTACIJA

9. Splošno mnenje o kvaliteti projektne dokumentacije

- a. slabo (8 %)
- b. zadovoljivo (42 %)
- c. dobro (15 %)
- d. zelo dobro (15 %)

10. Kvaliteta projektne dokumentacije je boljša pri

- a. javnih investicijah (25 %)
- b. zasebnih investicijah (23 %)
- c. ni razlike (43 %)

11. Kvaliteta projektne dokumentacije se je s pojavom sodobnih informacijski komunikacijskih tehnologij

- a. izboljšala (66 %)
- b. poslabšala (19 %)
- c. se ni spremenila (11 %)

12. Med gradnjo pogosto prihaja do sprememb

- a. se močno strinjam (36 %)
- b. se strinjam (53 %)
- c. ne vem (2 %)

- d. *se ne strinjam* (4 %)
- e. *se močno ne strinjam* (2 %)

13. Kako se usklajuje projektna dokumentacija? (Uporabniki bodo morda potrdili več potrditvenih polj, zato bodo skupni odstotki morda večji od 100 %.)

- a. *osebno* (59 %)
- b. *telefonsko* (57 %)
- c. *s pomočjo elektronske pošte* (80 %)
- d. *v skupini na sestankih* (71 %)
- e. *drugo* (6 %)

14. Kako poteka prenos informacij iz projektivnih birojev na gradbišče? (Uporabniki bodo morda potrdili več potrditvenih polj, zato bodo skupni odstotki morda večji od 100 %.)

- a. *načrti so natisnjeni in v fizični obliki prineseni na gradbišče* (86 %)
- b. *načrti so natisnjeni neposredno na gradbišču* (6 %)
- c. *ogled poteka s pomočjo računalnika* (39 %)
- d. *drugo* (8 %)

15. Dostop do projektne dokumentacije

	<i>da</i>	<i>ne</i>	<i>ne vem</i>
<i>Ali menite, da pogosto prihaja do težav zaradi slabo pripravljene projektne dokumentacije?</i>	53 %	31 %	16 %
<i>Ali menite, da je projektna dokumentacija pogosto napačno razumljena?</i>	63 %	31 %	3 %
<i>Ali menite, da je na gradbišču vedno na voljo zadnja verzija projektne dokumentacije?</i>	14 %	80 %	6 %
<i>Ali menite, da pogosto prihaja do zlorab zaradi možne dvoumne interpretacije projektne dokumentacije.</i>	55 %	29 %	16 %

16. Oceni tveganje napak zaradi

	<i>veliko</i>	<i>zmerno</i>	<i>zanemarljivo</i>
<i>nepopolna projektna dokumentacija</i>	46 %	46 %	8 %
<i>nepredvidljivi dogodki tekom gradnje</i>	35 %	61 %	4 %
<i>slaba komunikacija</i>	55 %	39 %	6 %
<i>nedostopnost do aktualnih informacij</i>	43 %	45 %	12 %

17. Oцени tveganje napak pri posamezni stopnji

	<i>veliko</i>	<i>zmerno</i>	<i>zanemarljivo</i>
<i>predstavitev zahtev</i>	28 %	53 %	19 %
<i>analiza zahtev</i>	25 %	53 %	22 %
<i>pregled izvedljivosti</i>	25 %	64 %	11 %
<i>pregled energetske učinkovitosti in preliminarna finančna ocena</i>	30 %	60 %	10 %
<i>pregled konceptualne zasnove</i>	19 %	53 %	28 %
<i>končana konceptualna zasnova</i>	19 %	51 %	30 %
<i>izdelava projektne dokumentacije in končna finančna analiza</i>	42 %	49 %	9 %
<i>izdelava izvedbenih načrtov</i>	40 %	47 %	13 %
<i>gradnja</i>	40 %	49 %	11 %
<i>upravljanje</i>	19 %	43 %	43 %

BIM

18. Ali poznate BIM?

- a. *da* (71 %)
- b. *ne* (29 %)

19. Če BIM-orodij ne uporabljate, označite razloge za to

- a. *BIM sploh ne poznam* (20 %)
- b. *BIM je preslabo razvit za praktično uporabo* (11 %)
- c. *BIM ni primeren za delo, ki ga opravljamo* (7 %)
- d. *zaposleni nimajo dovolj znanja* (32 %)
- e. *nakup programske opreme predstavlja prevelik začetni vložek* (30 %)

20. BIM-orodja

	<i>uporabljam vsakodnevno</i>	<i>uporabljam občasno</i>	<i>ne uporabljam, vendar poznam</i>	<i>sploh ne poznam</i>
<i>Autodesk Revit</i>	15 %	17 %	28 %	x
<i>Graphisoft ArchiCAD</i>	8 %	13 %	32 %	x
<i>Nemetschek Allplan</i>	4 %	6 %	51 %	x
<i>Bentley Microstation</i>	0 %	0 %	30 %	x
<i>Tekla</i>	2 %	0 %	13 %	x
<i>Sofistik</i>	5 %	0 %	28 %	x

21. Za katera opravila uporabljate BIM-orodja?

- a. 3D-projektiranje* (30 %)
- b. analiza in optimizacija energetske učinkovitosti objektov* (6 %)
- c. izdelava terminskega plana gradnje* (12 %)
- d. izdelava popisa predvidenih del* (16 %)
- e. vnašanje popravkov med gradnjo* (18 %)
- f. statične in dinamične analize konstrukcij* (10 %)
- g. optimizacija nosilne konstrukcije* (8 %)
- h. drugo* (0 %)

22. Vaše mnenje o IFC

- a. dobro* (17 %)
- b. slabo* (9 %)
- c. nevtrarno* (23 %)
- d. IFC sploh ne poznam* (51 %)

A- 3 VPRAŠANJA STRUKTURIRANEGA INTERVJUJA

1. Spol

a. moški (75 %)

b. ženski (15 %)

2. Starost

36, 33, 33, 48, 40, 55, 28, 28, 50, 35, 31, 32, 43, 27, 30;

povprečje 36,6 let

3. Najvišja dosežena formalna izobrazba

a. 6. stopnja: dokončana višja strokovna šola (26 %)

b. 7. stopnja: dokončana visoka strokovna šola (53 %)

c. 8. stopnja: znanstveni magisterij (0 %)

d. 9. stopnja: doktorat znanosti (13 %)

4. Smer izobrazbe

a. arhitektura (60 %)

b. gradbeništvo (40 %)

5. Kakšno delo opravljajte?

projektant gradbenih konstrukcij, projektant nizkih gradenj, nadzor, nadzor, direktor, direktor, gradbeni inženir v operativi, vodenje del, priprava dela in kalkulacije, izdelava arhitekturnih načrtov – lastnik biroja, izdelava arhitekturnih načrtov, izdelava arhitekturnih načrtov, izdelava arhitekturnih načrtov, izdelava arhitekturnih načrtov, izdelava arhitekturnih načrtov

6. Velikost vašega podjetja je:

a. do 10 zaposlenih (33 %)

b. 10–49 zaposlenih (40 %)

c. 50–100 zaposlenih (13 %)

d. več kot 100 zaposlenih (13 %)

7. Kje opravljate svoje delo?

- a. v pisarni. (73 %)
 b. na terenu. (27 %)
 c. v pisarni in na terenu.

Primer 1: Vizualizacija idejnih študij: Na voljo imate vse spodaj navedene predstavitvene tehnike. Vaša naloga je, da jih primerjate in ovrednotite.

1. Z oceno od 1 – 10 ocenite razumljivost projektne dokumentacije. (1 – najmanj, 10 – najbolj)

2D-načrti v papirnati obliki	5	7	9	7	5	9	7	7	8	7	7	9	8	7	8
3D-modeli na računalniku	9	8	8	7	7	9	8	9	9	6	4	10	8	7	7
2D-načrti in 3D-modeli na tablici	7	7	8	6	8	7	6	6	7	9	3	10	6	6	7
Razširjena resničnost	9	10	9	8	9	9	9	10	10	8	6	10	8	9	9

2. Z oceno od 1 do 10 ocenite uporabnost projektne dokumentacije. (1 – najmanj, 10 – najbolj)

2D-načrti v papirnati obliki	7	8	8	7	5	6	7	7	8	8	5	10	6	6	5
3D-modeli na računalniku	9	8	7	6	8	6	7	8	9	6	4	9	5	7	6
2D-načrti in 3D-modeli na tablici	6	6	7	5	9	7	7	6	6	7	3	8	5	7	5
Razširjena resničnost	9	9	8	8	9	9	8	9	10	7	6	7	9	8	9


Primer 2: Nadzor gradnje Na voljo imate vse spodaj navedene predstavitvene tehnike. Vaša naloga je, da jih primerjate in ovrednotite.


3. Z oceno od 1 do 10 ocenite razumljivost projektne dokumentacije. (1 – najmanj, 10 – najbolj)

2D-načrti v papirnati obliki	4	7	7	6	5	8	7	8	5	5	5	8	7	3	7
3D-modeli na računalniku	6	7	6	6	8	7	7	5	4	8	4	9	7	8	8
2D-načrti in 3D-modeli na tablici	5	5	5	5	9	8	6	4	4	7	3	9	6	6	6
Razširjena resničnost	7	8	7	7	9	7	7	6	8	9	7	10	8	8	7

4. Z oceno od 1 do 10 ocenite uporabnost projektne dokumentacije. (1 – najmanj, 10 – najbolj)

<i>2D-načrti v papirnati obliki</i>	4	6	5	7	5	7	7	8	5	5	6	9	4	2	6
<i>3D-modeli na računalniku</i>	7	6	4	5	8	5	6	7	4	5	4	8	7	7	7
<i>2D-načrti in 3D-modeli na tablici</i>	5	6	5	4	9	5	6	5	4	5	5	9	6	7	5
<i>Razširjena resničnost</i>	8	7	6	6	9	7	7	9	6	7	8	10	8	8	7

 gradbeniki

 arhitekti

5. Predstavljajte si, da se nahajate na gradbišču. Vaša naloga je, da ocenite, ali dela potekajo skladno s terminskim planom. Na voljo imate tudi tablični računalnik, ki omogoča prikaz realne okolice z dodanimi virtualnimi elementi. Z zeleno barvo je označen element, ki je trenutno na terminskem planu.

Ali je s slike prikaza na tablici mogoče razbrati, ali dela na gradbišču potekajo skladno s terminskim planom? (Če da, kako?)

- a. da (86 %)
 b. ne (10 %)
 c. ne vem (4 %)

Vsi, ki so ocenili, da je s slike razvidno, kako potekajo dela, so kasneje pravilno ugotovili, da dela zamujajo za terminskim planom.

6. Primerjajte realen prikaz RR in idealiziran prikaz in ocenite kaj vas najbolj moti.

	zelo moteče	deloma moteče	ni moteče
<i>Virtualni model ni povsem poravnan z realno okolico.</i>	1	3	11
<i>Gradbiščna ograja in ostali elementi, ki se nahajajo med opazovalno točko in dejanskim objektom, preveč zastirajo pogled.</i>	9	1	5
<i>Velikost in resolucija slike sta premajhni.</i>	0	3	12

7. Kaj bi dodali oz. v aplikaciji spremenili, da bi bila ta še uporabnejša?

Odgovori na to vprašanje so v petem poglavju naloge.

Splošno o razširjeni resničnosti

8. Kje vidite glavne prednosti uporabe RR?

	zelo uporabno	kar uporabno	srednje uporabno	ni uporabno
<i>Možnost ogleda modela na predvideni lokaciji gradnje.</i>	10	3	2	0
<i>Možnost prostega gibanja po realnem prostoru, brez uporabe tipkovnice, miške itd.</i>	7	6	2	0
<i>Možnost hitrega ogleda modela iz različnih zornih kotov, brez slikanja okolice klasičnega združevanja renderja in slike okolice.</i>	10	4	1	0
<i>Možnost hitrega spreminjanja lege predvidenega objekta na terenu.</i>	8	4	2	1

9. Ocenite uporabnost RR pri spodnjih opravilih.

	zelo uporabna	kar uporabna	srednje uporabna	neuporabna
<i>Vizualizacija idejnih študij. (Možnost ogleda vpliva predvidenih zgradb na okolico.)</i>	10	4	1	0
<i>Izdelava projektne dokumentacije. (Možnost pregleda, ali bo predviden objekt takšen, kot smo si ga zamislili.)</i>	3	10	2	0
<i>Opravljanje posameznih gradbenih del. (Vizualizacija, na kakšen način je potrebno vgraditi določen element, prikaz navodil.)</i>	5	5	3	2
<i>Iskanje obstoječih elementov. (Možnost ogleda obstoječih kanalizacijskih vodov.)</i>	13	2	0	0
<i>Lociranje gradbenih materialov in opreme med gradnjo.</i>	7	3	4	1
<i>Časovni nadzor poteka gradnje. (Možnost ogleda, ali gradnja poteka skladno s terminskim planom.)</i>	4	4	4	3
<i>Nadzor skladnosti izvedenih del s projektno dokumentacijo. (Možnost ogleda, ali so bila dela izvedena tako, kot je predvideno v projektni dokumentaciji.)</i>	12	3	0	0
<i>Redno vzdrževanje zgradb. (Možnost ogleda lastnosti komponent zgradbe.)</i>	2	8	3	2
<i>Adaptacije. (Možnost prikaza skritih inštalacij.)</i>	12	2	1	0

10. Če bi imeli na voljo brežhibno delujočo aplikacijo za prikaz RR, ali bi še uporabljal papirne načrte?

(Pri katerih opravilih in pod kakšnimi pogoji jih ne bi.)

Odgovori na to vprašanje so v petem poglavju naloge.

11. Ali bi bili pripravljeni investirati 1000 € v strojno in programsko opremo, ki bi omogočala RR.

(Pod kakšnimi pogoji?)

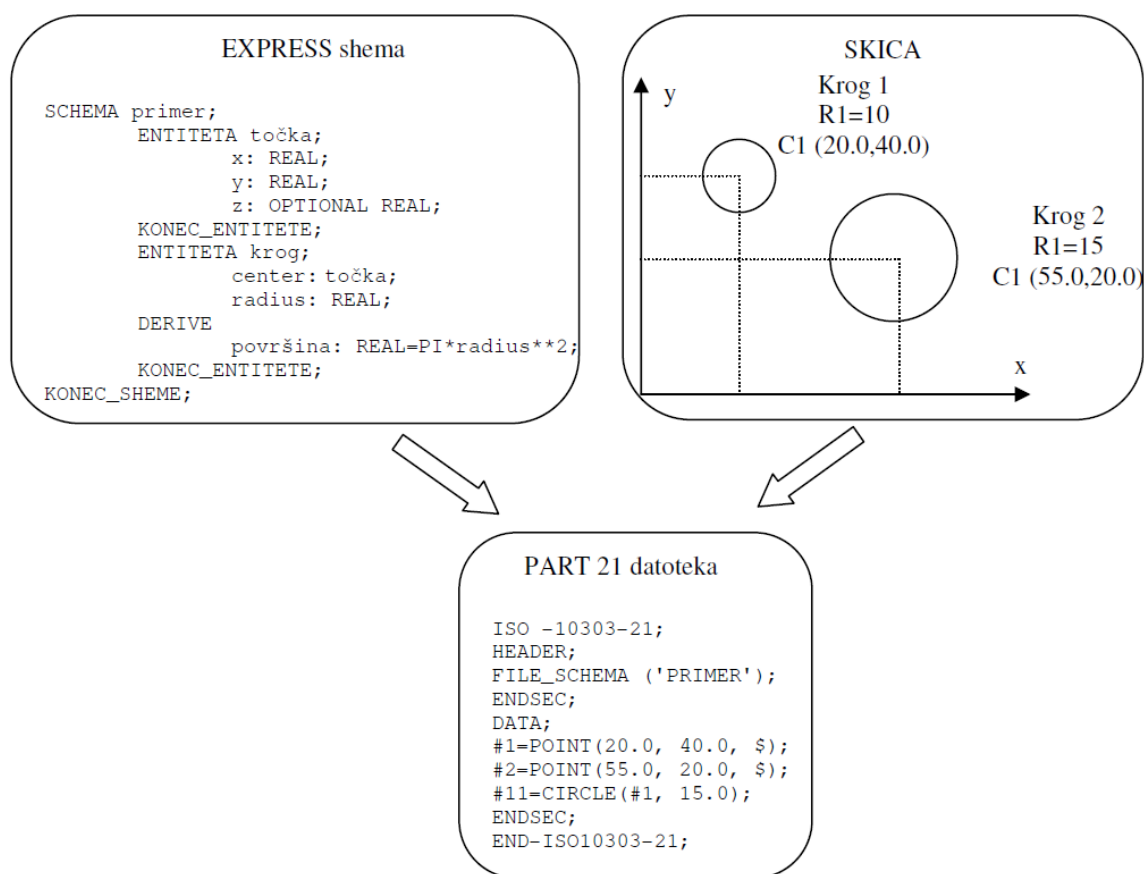
Odgovori na to vprašanje so v petem poglavju naloge.

B – 1 STANDARD ZAPISA DATOTEK IFC

STEP ZAPIS SCHEMA EXPRESS

Vsaka step datoteka je sestavljena iz glave in podatkovnega dela. V glavi mora biti definirana shema zapisa EXPRESS v predstavljenem primeru je to »FILE_SCHEMA ('PRIMER')«. Pri IFC-datotekah pa se shema definira kot »FILE_SCHEMA ('IFC2X3')«.

Podatkovni del se začne prične z oznako »DATA;« in konča z »ENDSEC«. V podatkovnem delu se lahko pojavijo le entitete iz sheme, ki je definirana v glavi STEP-datoteke. Vsak element iz podatkovnega dela datoteke je sestavljen iz #številka_vrstice = entiteta(atributi).



Prevzeta slika B1 1: EXPRESS-shema – STEP-fizična datoteka (Pazlar, 2008)

Adopted figure B1 1: EXPRESS-G schema – STEP physical file (Pazlar, 2008)

PRIMER IFC-MODELA

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [CoordinationView]', 'Option
[Entire project;Keep GUIDs;All Domain;All elements;All
struct.;scale:100.000000;CSG:Extruded;Comp. wall:Extruded;Building
element parts;Chained beam:Extruded;Comp. slab:Extruded]'), '2;1');
FILE_NAME('C:\\Users\\Sebastjan\\Desktop\\eko hisa fasada.ifc',
'16/05/2013 12:22:48', ('Architect'), ('Building Designer Office'),
'PreProc - EDM 5.0',
'IFC file generated by Graphisoft ArchiCAD-64 16.0.0 INT FULL
Windows version (IFC2x3 add-on version: 3006 INT FULL).',
'The authorising person');
FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));
ENDSEC;

DATA;
#4= IFCPERSON($, 'Undefined', $, $, $, $, $, $);
#6= IFCORGANIZATION($, 'Undefined', $, $, $);
#10= IFCPERSONANDORGANIZATION(#4, #6, $);
#11= IFCORGANIZATION('GS', 'Graphisoft', 'Graphisoft', $, $);
#15= IFCAPPLICATION(#11, '16.0.0', 'ArchiCAD-64',
'IFC2x3 add-on version: 3006 INT FULL');
#16= IFCOWNERHISTORY(#10, #15, $, .ADDED., $, $, $, 1378135709);
...
#265=
IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('04ldtj6cp2dME6CiP80Bzh', #16, $, $
, (#246, #390, #531, #660, #789), #148);
#267= IFCMATERIAL('Lightweight Concrete');
#270= IFCMATERIALLAYER(#267, 300., .U.);
#272= IFCMATERIALLAYERSET((#270), 'Lightweight Concrete 300');
...
#94= IFCRELAGGREGATES('0Du7$nzQXCktK1PUTLFSAT', #16, $, $, #53, (#82));
#96= IFCPOSTALADDRESS($, '', '', '', (''), '', '', '', '', '');
#100= IFCDIRECTION((1., 0., 0.));
#104= IFCDIRECTION((0., 0., 1.));
#108= IFCCARTESIANPOINT((0., 0., 0.));
#112= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#108, #104, #100);
#115= IFCLOCALPLACEMENT(#79, #112);
#118=
IFCBUILDING('00tMo7QcxqWdIGvc4sMN2A', #16, 'Untitled', $, $, #115, $, $,
.ELEMENT., $, $, #96);
...

```

POVZETEK DEFINICIJ POVEZAV V IFC-STRUKTURI

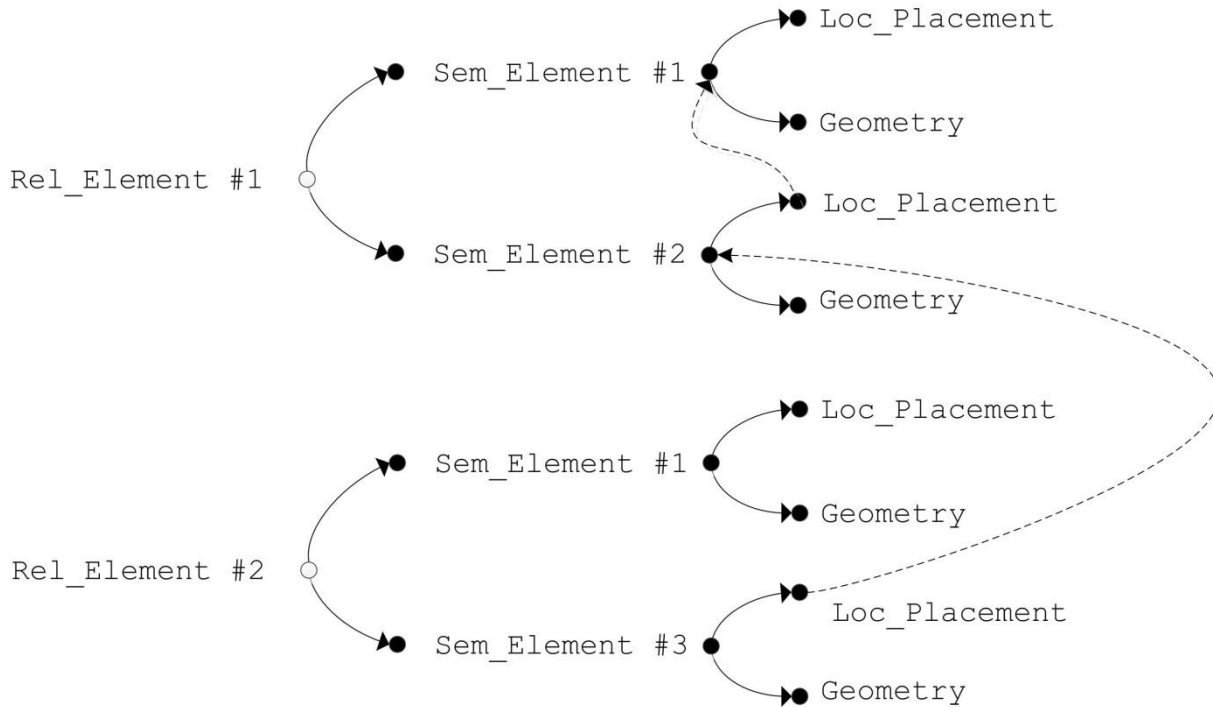
IFC-model je sestavljen iz elementov in povezav med temi elementi. Objektni atributi predstavljajo semantiko objekta. IFC-model je objektni model, ki je zapisan z EXPRESS-jezikom. IFC-model je sestavljen iz približno 600 razredov. Obstajajo tri vrste IFC-razredov (object classes, relation classes in resource classes).

1. Vsak objektni razred je sestavljen iz trojčka (GUID, OS, FU), pri čemer je GUID globalna identifikacijska oznaka (*angl. »Globally Unique Identifier« - GUID*), OS je oznaka za lastništvo objekta, FU pa so funkcijske enote. Funkcijske enote definirajo kontekst uporabe razreda npr. geometrija, pozicija, sestava itd. Povezavo je mogoče razbrati iz primera zapisa IFC-datoteke, kjer je trojček IFCPERSONANDORGANIZATION sestavljen iz trojčka, ki se sklicuje na #4 in #6.
2. V odnosnih razredih (*angl. »Relation class«*) so zapisane povezave med objektnimi razredi in njihovimi funkcijskimi enotami. Primer #128 IFCRELAGGREGATES je prvi razred s povezavami, v njem je definirana povezava z osnovnim razredom #118= IFCBUILDING. Mogoč je tudi primer, da se na določen element sklicuje več drugih elementov. Takšno povezavo definiramo z IfcRelContainedInSpatialStructure. To pomeni, da obstaja tudi posredna povezava med elementoma, to je lepše vidno iz slike ((Prezeta slika B1 3) (Vanlande et al., 2008).
3. V tretjo skupino spadajo razredi virov (*angl. »Resource classes«*). Ti so sestavljeni z množice lastnosti, s katerimi so opisane funkcijske enote. Viri so organizirani po hierarhičnem principu. Bolj poglobljena študija IFC-instanc pokaže kompleksnost prekrivanja med instancami povezovalnih razredov in instancami objektnih razredov. Relacijski elementi povezujejo množico semantičnih kaj z množico resursov. Na tej stopnji sta dve vrsti povezav med objekti. Imenujemo jih direktne in indirektne povezave. Indirektne povezave so definirane z relacijskimi povezavami in z relacijskimi elementi, indirektne povezave so označene s puščicami med belimi pikami (Prezeta slika B1 3) (Vanlande et al., 2008).

Direktne povezave so definirane z instancami razredov resursov. Obstajata dve vrsti direktnih povezav. Prva vrsta povezave definira resurse elementov. Te povezave so označene s puščicami med črnimi pikami. Te povezave so organizirane v drevesno strukturo. Z drugo vrsto povezav pa povežemo dva semantična elementa. Te povezave so označene s črtkano črto.

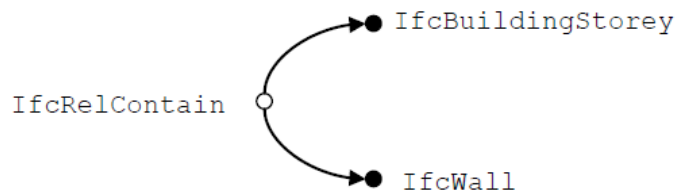
V IFC-modelu je navadno definirana le ena povezava med semantičnimi elementi. To je pozicijska povezava med semantičnim elementom in dizajnom zgradbe v 2D- in 3D-načinu. Ta povezava je

definirana z atributom IfcLocalPlacement. Glavna težava pri delu s strukturo zapisa v IFC-formatu je sočasna obravnava semantičnih in hierarhičnih povezav (Vanlande et al., 2008).



Prezeta slika B1 3: Primer direktnih povezav med IFC-elementi (Vanlande et al., 2008)

Adopted figure B1 3: Example direct links between IFC elements (Vanlande et al., 2008)



Prezeta slika B1 3: Primer direktnih povezav med IFC-elementi (Vanlande et al., 2008)

Adopted figure B1 3: Example direct links between IFC elements (Vanlande et al., 2008)

B – 2 STANDARD ZAPISA DATOTEK OBJ / MTL

OBJEKTNE DATOTEKE (OBJ)

OBJ-datoteka je preprost standardni zapis geometrije 3D-objektov. Datoteka sestoji iz zapisa položajev posameznih oglišč, normal in povezav do pripadajočih materialov. Oglišča so razdeljena v množice, iz katerih so sestavljeni poligoni, le-ti pa nadalje definirajo 3D-objekte. V vsakem poligonu sta najprej definirana lista posameznih oglišč in material, nato pa so koordinate oglišč zapisane v nasprotni smeri urinega kazalca. Preprosti objekti (kocke in piramide) so definirani z imeni. Povezave v preprostih elementih so privzete in jih ni potrebno še enkrat definirati. Objektne datoteke nimajo definiranih enot. Komentarji v OBJ- in MTL-datotekah se začnejo z znakom #.

Zapis povezave do datoteke z materiali:

```
mtllib materiali.mtl
```

Zapisi imena objekta; ker gre za kocko povezav med oglišči, ki sestavljajo poligone s pripadajočimi normalami, jih ni potrebno posebej definirati:

```
o Cube
```

Zapisi imena koordinat oglišč:

```
v 1.00 -1.00 -1.00
v 1.00 -1.00 1.00
v -1.00 -1.00 1.00
v -1.00 -1.00 -1.00
v 1.00 1.00 -1.00
v 1.00 1.00 1.00
v -1.00 1.00 1.00
v -1.00 1.00 -1.00
```

Zapisi povezave do materiala:

```
usemtl nov_material
```

Zapisi normal poligonov:

```
f 1 2 3 4
f 5 8 7 6
f 1 5 6 2
f 2 6 7 3
f 3 7 8 4
f 5 1 4 8
```

KNJIŽNICA MATERIALOV (MTL)

Datoteka s končnico (.mtl) je zbirka definicij enega ali več materialov. Opisu vsakega posameznega materiala pripadajo opis barve, teksture in povezave do materiala. Materiali, ki so zapisani v MTL-datotekah, navadno pripadajo površinam objektov, ki so definirani z oglišči. Materialne datoteke so shranjene v ASCII-načinu. Vsak opis materiala v MTL-datoteki sestoji iz stavka newmtl, ki definira ime materiala in pove, da je to začetek zapisa lastnosti materiala. (Ramey et al., 1995).

*PRIMER ZAPISA MTL-DATOTEKE (materiali.mtl):**# Zapisi imena materiala:*

```
newmtl nov_material
```

Zapis barve in osvetlitve materiala:

```
Ka 0.0435 0.0435 0.0435
Kd 0.1086 0.1086 0.1086
Ks 0.0000 0.0000 0.0000
Tf 0.9885 0.9885 0.9885
illum 6
d -halo 0.6600
Ns 10.0000
sharpness 60
Ni 1.19713
```

Zapis teksture:

```
map_Ka -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 chrome.mpc
map_Kd -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 chrome.mpc
map_Ks -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 chrome.mpc
map_Ns -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 wisp.mps
map_d -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 wisp.mps
disp -s 1 1 .5 wisp.mps
decal -s 1 1 1 -o 0 0 0 -mm 0 1 sand.mps
bump -s 1 1 1 -o 0 0 0 -bm 1 sand.mpb
```

Zapis odboja svetlobe:

```
refl -type sphere -mm 0 1 clouds.mpc
```