

Analia primjene BIM standarda Industry Foundation Classes (IFC) kod izrade 4D BIM modela

Dobrović, Damjan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:201581>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Damjan Dobrović

**ANALIZA PRIMJENE BIM STANDARDA
INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) KOD
IZRADE 4D BIM MODELA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Damjan Dobrović

**ANALIZA PRIMJENE BIM STANDARDA
INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) KOD
IZRADE 4D BIM MODELA**

DIPLOMSKI RAD

dr. sc. Sonja Kolarić, prof. dr. sc. Malden Vukomanović

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Damjan Dobrović

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE
INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) BIM
STANDARD WHEN DEVELOPING 4D BIM
MODEL**

MASTER THESIS

dr. sc. Sonja Kolarić, prof. dr. sc. Malden Vukomanović

Zagreb, 2024

ZAHVALE

Ovim putem želim izraziti svoju zahvalnost svima koji su mi pružili podršku tijekom izrade ovog diplomskog rada. Iskreno zahvaljujem dr. sc. Sonji Kolarić na njenom stručnom vodstvu i konstruktivnim savjetima, što mi je uvelike pomoglo u svim fazama rada. Također, zahvaljujem direktoru firme DCT mag. ing. aedif. Marko Gašić na prilici za sudjelovanje u njihovom projektu, kao i na pruženoj podršci DCT tima, smjernicama i resursima koji su mi omogućili dublje razumijevanje teme.

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se primjenom Building Information Modeling (BIM) tehnologije, s posebnim naglaskom na integraciju 3D modela s vremenskim planiranjem u cilju izrade 4D BIM modela. Rad istražuje ulogu IFC standarda u osiguravanju interoperabilnosti između različitih softverskih alata korištenih u građevinskoj industriji. Teoretski dio rada obuhvaća pregled ključnih BIM standarda, razina razvijenosti, klasifikacijskih sustava i BIM dimenzija, dok praktični dio uključuje analizu stvarnog slučaja – modeliranje i simulaciju faza izgradnje poslovnog prostora. Korištene metode uključuju izradu 3D modela u Revitu, vremensko planiranje u MS Projectu te integraciju u 4D model putem Synchro 4D. Zaključci rada potvrđuju da primjena BIM tehnologije, uz podršku IFC standarda, može značajno unaprijediti planiranje i izvedbu građevinskih projekata, smanjujući rizike i optimizirajući resurse. Rad također naglašava važnost točnog prijenosa podataka između različitih softverskih alata kako bi se osigurala uspješna integracija i koordinacija u složenim građevinskim projektima.

Ključne riječi: Building Information Modeling (BIM); 3D model; 4D model; Interoperabilnost; Standardizacija

SUMMARY

This thesis focuses on the application of Building Information Modeling (BIM) technology, with a special emphasis on integrating 3D models with scheduling to create a 4D BIM model. The study explores the role of the IFC standard in ensuring interoperability between various software tools used in the construction industry. The theoretical part of the thesis covers an overview of key BIM standards, levels of development, classification systems, and BIM dimensions, while the practical part involves the analysis of a real case study – modeling and simulating the construction phases of an office space. The methods used include creating a 3D model in Revit, scheduling in MS Project, and integrating it into a 4D model using Synchro 4D. The conclusions of the thesis confirm that the application of BIM technology, supported by the IFC standard, can significantly improve the planning and execution of construction projects, reducing risks and optimizing resources. The thesis also highlights the importance of accurate data transfer between different software tools to ensure successful integration and coordination in complex construction projects.

Key words: : Building Information Modeling (BIM); 3D model; 4D model; Interoreability; Standardization

SADRŽAJ

ZAHVALE (NEOBAVEZNO)	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	2
2.1. Otvoreni Bim standardi.....	2
2.1.1. Podatkovni standardi (Data standards)	4
2.1.2. Standardi za tijek rada (Workflow standards)	5
2.1.3. otvoreniBIM API standardi	7
2.2. HRN EN ISO 19650 serija standarda	8
2.2.1. ISO 19650-1: Koncepti i načela	9
2.2.2. ISO 19650-2: Faza isporuke imovine	11
2.2.3. ISO 19650-3: Operativna faza imovine	12
2.2.4. ISO 19650-4: Razmjena podataka (eng. Information Exchange).....	14
2.2.5. ISO 19650-5: Sigurnosni pristup upravljanju informacijama (Security-minded approach).....	16
2.3. HRN EN ISO 16739	18
2.3.1. Formati i verzije IFC-a	19
2.3.2. IFC Shema	20
2.3.2.1. Razvoj IFC sheme	21
2.3.2.2. Analiza rasta IFC sheme	23
2.3.2.3. Ograničenja IFC sheme	25
2.3.2.4. Budućnost IFC sheme	26
2.4. BIM razine razvijenosti	27
2.4.1. Razina detalja elementa (LoD).....	28
2.4.2. Razina razvijenosti elementa (LoI).....	28
2.4.3. Stupanj razrade elementa (LOD)	29
2.4.3.1. Usporedba LOD-a i LoD-a.....	32
2.4.3.2. Usporedba popularnih LOD konceptata	32
2.4.4. Razina potrebnih informacija (LOIN)	33
2.5. BIM dimenzije	35
2.6. Klasifikacijski sustavi	38
2.6.1. UniClass.....	39
2.6.2. MasterFormat	41
2.6.3. UniFormat	42
2.6.4. OmniClass	43

3.	ANALIZA STUDIJE SLUČAJA	46
3.1.	Tehnički opis	46
3.2.	Vremenski plan	48
3.2.1.	Prijenos podataka	49
3.2.2.	Hijerarhijska raščlamba rada WBS (Work breakdown structure)	50
3.3.	Softverski alati	51
4.	REZULTATI	53
4.1.	Izrada oblaka točaka	53
4.2.	Izrada 3D BIM modela	54
4.2.1.	Izrada konstrukcije	54
4.2.2.	Izrada elektroinstalacije	59
4.2.3.	Izrada vodovoda i odvodnje	61
4.2.4.	Izrada sustava grijanja, hlađenja i ventilacije	62
4.2.5.	Modeliranje opreme ureda	64
4.2.6.	Izrada vizualnih prikaza.....	64
4.3.	Izrada tablice razine razvijenosti elemenata (LOI).....	66
4.3.1.	Klasifikacija elemenata u Revitu	70
4.4.	Provjera usklađenosti 3D BIM modela	71
4.5.	Analiza sudara.....	75
4.6.	Integracija 3D modela i vremenskog plana	81
5.	ZAKLJUČAK	85
	POPIS LITERATURE	86
	POPIS SLIKA	90
	POPIS TABLICA.....	Error! Bookmark not defined.
	PRILOZI	92

1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća, građevinska industrija doživjela je značajan tehnološki napredak, a jedno od najznačajnijih postignuća svakako je razvoj informacijskog modeliranja gradnje (eng. Building Information Modeling - BIM) tehnologije. BIM predstavlja revolucionarni pristup u planiranju, projektiranju, izgradnji i upravljanju građevinskim objektima. U središtu ovog pristupa nalaze se digitalni modeli koji integriraju sve aspekte građevinskog projekta, omogućujući time učinkovitiju suradnju među sudionicima te preciznije planiranje i izvršenje radova.

Jedan od ključnih standarda u BIM tehnologiji je Industry Foundation Classes (IFC). IFC je otvoreni standard koji omogućuje interoperabilnost između različitih softverskih alata korištenih u građevinskoj industriji. Kroz primjenu IFC standarda, različiti sudionici projekta, kao što su arhitekti, inženjeri, izvođači i vlasnici objekata, mogu učinkovito dijeliti i razmjenjivati podatke, što doprinosi boljem razumijevanju i koordinaciji tijekom cijelog životnog ciklusa građevinskog objekta.

Tema ovog diplomskog rada fokusira se na analizu primjene IFC standarda kod izrade 4D BIM modela. 4D BIM modeliranje predstavlja dodatak tradicionalnom 3D modeliranju s aspekta vremena, omogućujući time simulaciju procesa građenja kroz vrijeme. Kroz 4D BIM modeliranje, moguće je bolje planirati i upravljati građevinskim projektima, identificirati potencijalne probleme prije nego što se pojave na gradilištu te optimizirati resurse i vrijeme građenja. Primjena IFC standarda u ovom kontekstu omogućuje interoperabilnost i povećava točnost podataka, što je od iznimne važnosti za složene građevinske projekte.

Značaj ove teme proizlazi iz potrebe za unapređenjem učinkovitosti i kvalitete u građevinskoj industriji. Korištenje BIM tehnologije, posebno 4D BIM modeliranja, pruža mnoge prednosti uključujući smanjenje troškova, bolju kontrolu nad projektima te povećanu sigurnost na gradilištima. Analiza primjene IFC standarda u izradi 4D BIM modela može dodatno istaknuti kako standardizacija i interoperabilnost doprinose ovim ciljevima te pružiti smjernice za daljnji razvoj i implementaciju BIM tehnologije u praksi.

U prvom dijelu rada, Pregledu literature, analiziraju se ključni BIM standardi i koncepti, uključujući IFC standarde, razine razvijenosti i različite dimenzije BIM modela, kao i ulogu klasifikacijskih sustava u strukturiranju i organiziranju informacija. U drugom dijelu rada, Analizi studije slučaja, proći će se kroz ulazne podatke projekta kao što su tehnički opis projekta i vremenski plan izvedbe projekta. U završnom dijelu rada, pod naslovom Rezultati, prikazuju se konkretni ishodi projekta, uključujući proces izrade oblaka točaka, kreiranje 3D BIM modela i Lol tablice, te analizu usklađenosti modela i integraciju s vremenskim planom. Rezultati također pružaju uvid u analizu sudara različitih struka te demonstriraju kako integracija 3D modela i vremenskog plana može unaprijediti projektiranje i izvedbu građevinskih projekata.

2. PREGLED LITERATURE

Ovo poglavlje služi kao temelj za razumijevanje i primjenu BIM tehnologije u izradi 3D i 4D modela, pružajući ključne teoretske osnove potrebne za daljnji rad. Kroz ovo poglavlje razmatrat će se ključni standardi i koncepti koji omogućuju učinkovitu implementaciju BIM-a u građevinskim projektima. BIM standardi predstavljaju ključni dio moderne građevinske industrije, omogućujući dosljednu i učinkovitu razmjenu informacija među svim sudionicima u projektu. Standardizacija unutar BIM-a pomaže u usklađivanju podataka i procesa, čime se smanjuje rizik od pogrešaka i poboljšava koordinacija.

Na početku se istražuju BIM standardi, koji postavljaju okvir za primjenu ove tehnologije, nudeći smjernice i međunarodno priznate norme koje osiguravaju dosljednost i kvalitetu u primjeni BIM-a. Unutar ovog konteksta, posebno se naglašava važnost IFC standarda, koji omogućuju interoperabilnost među različitim softverskim alatima i sudionicima u građevinskim projektima, čime se osigurava razmjena informacija i podataka.

Nadalje će se analiza usmjeriti na BIM razine razvijenosti, koje obuhvaćaju različite aspekte detaljnosti i informacijskih potreba modela. Ovi koncepti, uključujući LOD, LoD, LoI i LOIN, ključni su za osiguranje preciznosti i pouzdanosti BIM modela te su važni za pravilno upravljanje informacijama tijekom cijelog životnog ciklusa građevinskog projekta.

Fokus zatim prelazi na BIM dimenzije, koje se ne odnose samo na prostor (3D) već obuhvaćaju i dodatne aspekte poput vremenskog planiranja (4D), troškova (5D), održivosti (6D), održavanja (7D), zaštite na radu (8D), Lean konstrukcije (9D) i industrijalizacije (10D). Ova proširena dimenzionalnost omogućuje sveobuhvatno upravljanje projektima, uzimajući u obzir sve ključne faktore koji utječu na uspješnost izgradnje i održavanja objekata.

Na kraju poglavlja obradit će se i klasifikacijski sustavi, obzirom da predstavljaju ključnu ulogu u strukturiranju i organizaciji podataka unutar BIM modela.

2.1. Otvoreni Bim standardi

buildingSMART je međunarodna organizacija koja se bavi razvojem i promicanjem otvorenih standarda za razmjenu informacija u građevinskoj industriji. Cilj buildingSMART-a je omogućiti učinkovitu suradnju među različitim sudionicima u građevinskim projektima kroz upotrebu interoperabilnih formata podataka, neovisnih o određenom softveru ili platformi.

Jedan od najvažnijih doprinosa buildingSMART-a je razvoj IFC (Industry Foundation Classes) standarda, koji omogućuje standardiziranu razmjenu informacija između različitih BIM (Building Information Modeling) alata. Osim toga, buildingSMART razvija i druge standarde i alate kao što su BCF (BIM Collaboration Format) za upravljanje suradnjom i razmjenom informacija o problemima u BIM modelima te IDS (Information Delivery Specification) koji pomaže definirati potrebne informacije za različite faze projekta.

buildingSMART također podržava razvoj nacionalnih i regionalnih inicijativa za standardizaciju te radi na usklađivanju standarda s međunarodnim normama, kao što su ISO standardi, kako bi se osigurala globalna primjenjivost i prihvaćenost njihovih rješenja. Kroz svoje aktivnosti, buildingSMART doprinosi povećanju učinkovitosti, smanjenju rizika i troškova te unaprjeđenju kvalitete u građevinskoj industriji (buildingSMART International, 2024).

OtvoreniBIM (openBIM) proširuje prednosti BIM-a (Building Information Modeling) poboljšavajući dostupnost, upotrebljivost, upravljanje i održivost digitalnih podataka u građevinskoj industriji. U svojoj srži, otvoreniBIM je kolaborativni proces koji je neovisan o dobavljačima softvera. Procesi otvorenogBIM-a definiraju se kao zajedničke projektne informacije koje podržavaju neometanu suradnju svih sudionika u projektu. OtvoreniBIM omogućuje interoperabilnost koja donosi koristi projektima i objektima kroz cijeli njihov životni ciklus.

OtvoreniBIM potiče sudionike na razvoj novih načina rada transformirajući tradicionalne procese rada. Raskidanjem podatkovnih silosa, otvoreniBIM značajno poboljšava isporuku projekata i performanse objekata. Tvrtke koje usvoje pristup otvorenogBIM-a razvijaju suradnju među različitim stranama, poboljšanu komunikaciju i standardizirane metodologije razmjene podataka. To rezultira boljim ishodima projekata, većom predvidljivošću, poboljšanim performansama i povećanom sigurnošću uz smanjenje rizika.

Kroz cijeli životni ciklus objekta, otvoreniBIM pomaže povezati ljude, procese i podatke kako bi se postigli ciljevi isporuke, operacija i održavanja objekata. OtvoreniBIM, zajedno s neometanim digitalnim tokovima podataka, čini ključne projektne informacije dostupnima sudionicima na vrijeme, podržavajući donošenje odluka kroz različite faze projekta, od početka do primopredaje, obnove pa čak i rušenja. OtvoreniBIM uklanja tradicionalni problem BIM podataka koji su obično ograničeni vlasničkim formatima, disciplinama ili fazama projekta.

Pridržavanjem međunarodnih standarda i radnih procedura, otvoreniBIM proširuje uporabu BIM-a stvaranjem zajedničke usklađenosti i jezika. Tehničke aplikacije razvijene za otvoreniBIM poboljšavaju upravljanje podacima i eliminiraju nepovezane radne procese. Nezavisni standardi kvalitete osiguravaju pouzdanu razmjenu otvorenih podataka.

OtvoreniBIM omogućuje digitalne tokove rada temeljene na formatima neovisnim o dobavljačima, kao što su IFC, BCF, COBie, CityGML, gbXML i drugi. OtvoreniBIM također omogućuje pristupačan digitalni blizanac, koji pruža temelj dugoročne strategije upravljanja podacima za izgrađene objekte, osiguravajući bolju održivost projekata i učinkovitije upravljanje izgrađenim okolišem (buildingSMART International, 2024).

BIM standardi će za potrebe ovog rada biti podijeljeni prema buildingSMART-u na: Data standarde, Workflow standarde i openBIM API standarde. Ta je raspodjela jasno prikazana na slici ispod.

Data standards	Workflow standards	openBIM API standards
Industry Foundation Classes (IFC)	Information Delivery Specification (IDS)	Foundation API (common) ↗
> IFC Specifications database	BIM Collaboration Format (BCF)	Documents API ↗
Use-case Model View Definitions (MVD)	Information Delivery Manual (IDM)	BCF API ↗
> MVD database	> IDM database	bSDD API ↗

Slika 1.: Raspodjela BIM standarda prema buildingSMART-u (buildingSMART International, 2024)

2.1.1. Podatkovni standardi (Data standards)

Data standardi usmjereni su na definiranje kako se podaci trebaju strukturirati i prenositi između različitih softverskih alata i sudionika u projektu. Ovi standardi omogućuju interoperabilnost, što je ključno za učinkovit rad u BIM okruženju.

- Industry Foundation Classes (IFC) je jedan od najvažnijih standarda za razmjenu podataka u BIM-u. Razvijen od strane buildingSMART International, IFC standard omogućuje interoperabilnost između različitih BIM softverskih alata, osiguravajući da svi sudionici u projektu mogu koristiti i razumjeti iste podatke. IFC definira objekte, njihove attribute i odnose, pružajući jedinstvenu osnovu za razmjenu informacija o građevinskim objektima. IFC je standardizirani, digitalni opis građevinske industrije. To je otvoreni međunarodni standard (ISO 16739-1:2018) koji promiče neutralne i interoperabilne mogućnosti, neovisne o proizvođaču, te omogućuje upotrebu na širokom spektru hardverskih uređaja, softverskih platformi i sučelja za različite primjene. Danas se IFC standard najčešće koristi za razmjenu informacija između različitih strana u okviru specifičnih poslovnih transakcija. Na primjer, arhitekt može vlasniku dostaviti model novog projektiranog objekta, vlasnik može taj model proslijediti izvođaču radova kako bi zatražio ponudu, a izvođač može vlasniku dostaviti model izvedenog stanja s detaljima o ugrađenoj opremi i informacijama o proizvođačima. IFC se također može koristiti kao sredstvo za arhiviranje projektnih informacija, bilo postupno tijekom faza projektiranja, nabave i izgradnje, ili kao zbirka podataka o izvedenom stanju za dugoročnu pohranu i potrebe održavanja. Željeni IFC podaci mogu se kodirati u različitim formatima, kao što su XML, JSON i STEP, te se mogu prenositi putem web servisa, uvoziti/izvoziti u datotekama ili upravljati u centraliziranim ili povezanim bazama podataka. Dobavljači softvera za modeliranje informacija o građevinama – uključujući alate za izradu modela, projektiranje, simulaciju i analizu, pregledavanje i slično – pružaju korisnicima sučelja za izvoz, uvoz i prijenos podataka u nekom od IFC formata. Na korisnicima je da odluče koje podatke žele dijeliti putem IFC-a (buildingSMART International, 2024). Ovaj standard će se detaljnije opisati u idućim poglavljima.

- Model View Definition (MVD) standardi su specifične varijacije IFC-a koje definiraju različite poglede ili "vizualizacije" modela potrebne za različite faze projekta ili specifične potrebe korisnika. MVD omogućuju prilagodbu IFC podataka tako da zadovolje specifične zahtjeve korisnika, čime se poboljšava preciznost i učinkovitost razmjene informacija (buildingSMART International, 2024).

2.1.2. Standardi za tijek rada (Workflow standards)

Standardi za tijek rada (Workflow standards) od buildingSMART-a služe za standardizaciju i optimizaciju radnih procesa unutar građevinske industrije koristeći BIM tehnologiju. Njihov cilj je osigurati dosljednost, interoperabilnost i učinkovitost u razmjeni podataka među različitim sudionicima projekta. Oni definiraju kako se informacije trebaju strukturirati, razmjenjivati i koristiti kroz cijeli životni ciklus građevinskog projekta.

- Information Delivery Specification (IDS) je standard razvijen od strane buildingSMART-a za definiranje zahtjeva za informacijama u računalno interpretabilnom obliku. IDS omogućuje automatsku provjeru usklađenosti IFC modela, što poboljšava kontrolu kvalitete i točnost podataka. Ovaj standard pomaže u učinkovitom isporučivanju podataka postavljanjem očekivanja i pružanjem jasnih smjernica o tome što treba razmjenjivati. Korisnik IDS-a može specificirati kako objekti, klasifikacije, materijali, svojstva, pa čak i vrijednosti trebaju biti isporučeni u IFC modelu. Primjeri korištenja IDS-a uključuju situacije kada je potrebno osigurati da svi sudionici projekta slijede iste standarde za razmjenu podataka. Na primjer, prilikom implementacije novog sustava u zgradu, IDS može definirati kako bi podaci o novom sustavu trebali biti strukturirani i predstavljeni u IFC modelu, što omogućava različitim timovima i softverskim alatima da dosljedno interpretiraju i koriste te podatke. IDS također može pomoći u automatiziranju procesa provjere usklađenosti modela s projektiranim specifikacijama, što može ubrzati revizije i smanjiti ljudske pogreške. Jedna od glavnih prednosti IDS-a je poboljšana točnost i dosljednost podataka, jer omogućuje automatsku provjeru usklađenosti sa specifičnim zahtjevima. Također, IDS olakšava razmjenu podataka između različitih sudionika i softverskih alata, čime se smanjuje potreba za ručnim usklađivanjem i interpretacijom informacija. Korištenje IDS-a može rezultirati bržim procesima isporuke podataka i smanjenjem grešaka, što povećava ukupnu učinkovitost projekta. Međutim, IDS može imati i neka ograničenja. Implementacija IDS-a zahtijeva da svi sudionici projekta budu upoznati s njegovim pravilima i standardima, što može zahtijevati dodatnu obuku i prilagodbu. Također, iako IDS poboljšava kvalitetu podataka, može biti izazovno za postaviti precizne specifikacije koje odgovaraju svim potrebama projekta, posebno u kompleksnim scenarijima. U svakom slučaju, IDS predstavlja važan alat za poboljšanje standardizacije i točnosti u BIM procesima (buildingSMART International, 2024).

- BIM Collaboration Format (BCF) je otvoreni standard koji se koristi za razmjenu informacija specifičnih za koordinaciju i komunikaciju unutar BIM (Building Information Modeling) okruženja. BCF omogućuje korisnicima razmjenu komentara, pitanja i problema vezanih za 3D modele, bez potrebe za izmjenom samog modela. Najčešće se koristi za komunikaciju između različitih struka, poput arhitekata, inženjera i izvođača, tijekom faze projektiranja i izgradnje. Na primjer, ako arhitekt primijeti koliziju između strukturnih i MEP (mechanical, electrical, plumbing) elemenata, može stvoriti BCF datoteku koja sadrži lokaciju problema, vizualni prikaz modela i detaljne komentare, te je poslati inženjerima radi ispravljanja problema. Tijekom projektiranja, BCF se također može koristiti za praćenje promjena i revizija modela, dokumentirajući promjene u nacrtima i razloge za njih, čime se osigurava da su svi sudionici projekta u toku s najnovijim informacijama. BCF format omogućava timovima bilježenje i praćenje problema, poput nedostataka u dizajnu ili nejasnoća u specifikacijama, te delegiranje zadataka za njihovo rješavanje. Jedna od glavnih prednosti BCF-a je poboljšana komunikacija, jer omogućuje jasan i organiziran način komunikacije između različitih timova i struka, čime se olakšava rješavanje problema i donošenje odluka. Također, BCF omogućuje razmjenu informacija bez potrebe za mijenjanjem ili ponovnim dijeljenjem cijelog BIM modela, što smanjuje mogućnost pogrešaka i gubitka podataka. Kao otvoreni standard, BCF je kompatibilan s različitim softverskim alatima, što olakšava njegovu implementaciju u različitim BIM okruženjima. Međutim, BCF ima i neka ograničenja. Fokusiran je isključivo na komunikaciju i koordinaciju, te ne omogućava razmjenu složenijih podataka ili geometrije modela, što znači da se za potpunu koordinaciju i razmjenu informacija moraju koristiti dodatni formati ili alati. Također, iako je BCF otvoreni standard, njegova primjena ovisi o podršci u softverskim alatima koje koriste sudionici projekta, a ne podržavaju svi BIM alati BCF format u istoj mjeri, što može otežati njegovu implementaciju. Unatoč tim ograničenjima, BCF se pokazao kao koristan alat u BIM procesima, posebno u složenim projektima s više sudionika, zahvaljujući mogućnosti jednostavne i jasne komunikacije (buildingSMART International, 2024).
- IDM, ili Information Delivery Manual (Priručnik za isporuku informacija), predstavlja standardiziranu metodologiju razvijenu za građevinsku industriju, uključujući izgradnju zgrada i infrastrukture. Ova industrija često uključuje velik broj različitih tvrtki i institucija koje surađuju u specifičnim projektima, što stvara potrebu za jasnim i učinkovitim načinima komunikacije i razmjene informacija među svim sudionicima. Kako bi se osigurala učinkovita suradnja, posebno u kontekstu digitalnih alata koji imaju vrlo nisku toleranciju na pogreške pri tumačenju digitalnih podataka, potrebno je definirati točno koje informacije trebaju biti razmijenjene, kada i kako. Upravo zato je razvijen standard ISO 29481-1:2010, nazvan "Building Information Modelling – Information Delivery Manual – Part 1: Methodology and Format", kojeg je izradio buildingSMART. IDM se koristi za dokumentiranje postojećih ili novih procesa, kao i za

opisivanje informacija koje trebaju biti razmijenjene između strana uključenih u projekt. Rezultati dobiveni primjenom ovog standarda mogu se koristiti za izradu detaljnih specifikacija koje, ako je potrebno, mogu poslužiti kao osnova za razvoj softvera. Ključna svrha IDM-a je osigurati da se relevantni podaci prenose na način koji omogućuje njihovu pravilnu interpretaciju od strane softvera na strani primatelja. Da bi IDM bio operativan, mora ga podržavati odgovarajući softver. Metodologija IDM-a danas je prihvaćena kao ISO standard, a očekuje se da će standardu biti dodan dodatni materijal kako bi se preciznije dokumentirali scenariji razmjene informacija te definirali dobro strukturirani koraci u komunikacijskom procesu između strana. Nekoliko projekata temeljenih na IDM-u već je rezultiralo specifikacijama koje su testirane u stvarnim građevinskim projektima. Iako se koncept IDM-a danas aktivno istražuje i razvija, izazovi ostaju, posebice zbog nedostatka strukturiranih i dobro dokumentiranih procesa u određenim područjima. U takvim slučajevima, nužno je postići dogovor o procesima i relevantnim aktivnostima te zahtjevima za razmjenu podataka. U nekim situacijama, rad na razvoju IDM-a mora biti popraćen razvojem softverskih rješenja kako bi se postigli očekivani rezultati. Stoga je ključno da inicijator IDM-a ima jasnu strategiju za implementaciju IDM-a u softverska rješenja kako bi se osiguralo postizanje željenih ciljeva (buildingSMART International, 2024).

2.1.3. otvoreniBIM API standardi

OtvoreniBIM (openBIM) predstavlja pristup u građevinskoj industriji koji omogućuje otvorenu, neutralnu i interoperabilnu razmjenu podataka između različitih softverskih alata i sudionika u građevinskim projektima. Cilj openBIM-a je omogućiti suradnju i koordinaciju između različitih profesionalaca i alata kroz standardizirane procese i formate podataka. Ovo omogućuje bolju integraciju informacija i poboljšava učinkovitost i točnost tijekom cijelog životnog ciklusa građevinskog objekta. S druge strane, API (Application Programming Interface) je set pravila i protokola koji omogućuju različitim softverskim aplikacijama da komuniciraju među sobom. API-ji omogućuju aplikacijama da koriste funkcionalnosti ili podatke drugih aplikacija, što omogućava bolju integraciju i interoperabilnost među različitim sustavima.

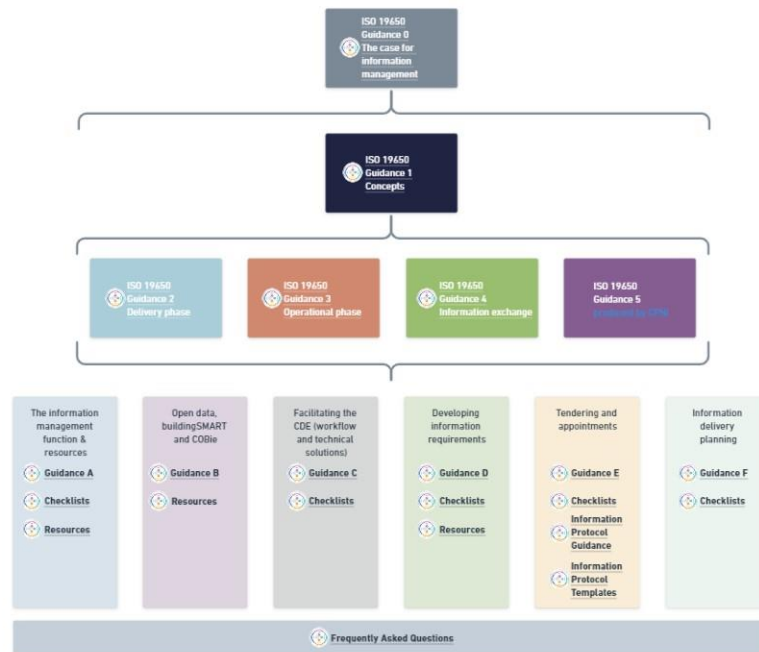
openBIM API standardi su specifični standardi i protokoli dizajnirani za omogućavanje interoperabilnosti između različitih softverskih alata i aplikacija u kontekstu openBIM-a. Ovi standardi definiraju kako aplikacije trebaju razmjenjivati podatke i informacije na način koji je usklađen s openBIM pristupom. Na primjer, IFC API omogućuje aplikacijama da čitaju i pišu IFC (Industry Foundation Classes) podatke, što je ključno za razmjenu informacija među različitim BIM alatima. Arhitektonski softver može koristiti IFC API za izvođenje modela u IFC format koji zatim može biti uvezen u softver za analizu struktura ili građevinsku izvedbu. BCF API omogućuje integraciju i razmjenu informacija o problemima i rješenjima između različitih softverskih platformi, olakšavajući komunikaciju o tehničkim pitanjima i promjenama u modelima.

Prednosti openBIM API standarda uključuju povećanu interoperabilnost, što omogućuje različitim softverskim alatima da komuniciraju i razmjenjuju podatke bez gubitka informacija, bolju koordinaciju između različitih disciplina i profesionalaca, te veću efikasnost u automatizaciji razmjene podataka i smanjenju potrebe za ručnim unosom. Međutim, postoje i mane, kao što su kompleksnost implementacije koja zahtijeva tehničko znanje, mogući problemi s kompatibilnošću ako različiti alati ili verzije softvera ne podržavaju isti API standard, te potreba za kontinuiranim održavanjem i nadogradnjom API standarda i alata. Općenito, openBIM API standardi igraju ključnu ulogu u omogućavanju učinkovitije i preciznije razmjene informacija u građevinskoj industriji, podržavajući otvoreni pristup i interoperabilnost među različitim sustavima i aplikacijama (buildingSMART International, 2024).

2.2. HRN EN ISO 19650 serija standarda

U oznaci HRN EN ISO 19650, HRN označava Hrvatski Registar Normi, što znači da je standard usvojen i primjenjiv u Hrvatskoj. EN označava Europski Normativ, što upućuje na to da je standard usklađen s europskim normama, čime je priznat na razini Europske unije. ISO predstavlja International Organization for Standardization, međunarodnu organizaciju koja razvija globalne standarde. Ova oznaka ukazuje da je standard HRN EN ISO 19650 usklađen s međunarodnim standardima i usvojen kao europski standard, specifično u području upravljanja informacijama u građevinskoj industriji. HRN EN ISO 19650 standard je sveobuhvatan okvir za organizaciju i upravljanje informacijama u građevinskim projektima, obuhvaćajući sve faze životnog ciklusa objekta, od početnog koncepta do završetka izgradnje i kasnijeg održavanja. Ovaj međunarodni standard temelji se na britanskoj normi PAS 1192, koja je bila pionirski dokument u području upravljanja informacijama u građevinskoj industriji. ISO 19650 pomaže osigurati dosljednost i kvalitetu informacija koje se dijele među različitim dionicima, smanjujući mogućnost nesporazuma i pogrešaka koje mogu nastati zbog loše organizacije ili nedostatka koordinacije.

ISO 19650 je podijeljen na nekoliko dijelova (serija), od kojih svaki pokriva specifične aspekte upravljanja informacijama u građevinskom projektu, a svaki od njih pojašnjen je kroz daljnja potpoglavlja. Raspodjela je prikazana na slici ispod.



Slika 2.: Raspodjela ISO 19650 standarda (UK BIM Framework, 2024)

2.2.1. ISO 19650-1: Koncepti i načela

ISO 19650-1 pruža temelj za razumijevanje standarda, definirajući osnovne koncepte i principe upravljanja informacijama. Ovaj dio naglašava važnost strukturiranog pristupa upravljanju informacijama i uspostavlja okvire za cijeli proces, od prikupljanja do distribucije informacija. Kroz jasnu definiciju uloga i odgovornosti, ISO 19650-1 postavlja temelje za učinkovitiju suradnju među svim sudionicima u projektu. ISO 19650-1 objašnjava definiranje informacijskih zahtjeva i rezultirajućih informacijskih modela. Ovaj standard je relevantan za sve sudionike u životnom ciklusu nekog objekta, bez obzira na oblik informacija (modeli, tablice, nacrti, certifikati) koje se koriste. ISO 19650-1 pruža okvir za razumijevanje razloga zašto su informacije potrebne, koje informacije su potrebne, tko ih treba pružiti, te kako bi se one trebale koordinirati i dijeliti s drugim sudionicima. Standard također naglašava važnost suradnje kroz zajedničko podatkovno okruženje, interoperabilnost i razmjenu informacija, pravne aspekte, te sigurnosne aspekte u procesu upravljanja informacijama. U nastavku će se detaljnije proći kroz 4 ključna polazišta: zajedničko podatkovno okruženje (CDE), interoperabilnost i razmjena informacija, pravna razmatranja i sigurnosna osviještenost (Hrvatski zavod za norme, 2019).

Zajedničko podatkovno okruženje (CDE) definirano je u ISO 19650-1 standardu kao ključni element za učinkovitu suradnju u građevinskim projektima. Suradnja putem CDE-a omogućava nesmetanu komunikaciju između svih sudionika uključenih u razvoj informacija, osiguravajući da svi imaju pristup ažuriranim i točnim podacima. Time se sprječava nesigurnost oko toga što drugi rade i osigurava se jedinstveni izvor pouzdanih informacija za sve sudionike projekta. Za

uspješnu suradnju u CDE-u, informacije se trebaju razvijati u skladu s dijelovima 2 i 3 ISO 19650 standarda, koji obuhvaćaju proizvodnju, dijeljenje, autorizaciju i prihvaćanje informacija. ISO 19650-4 nadograđuje ove odredbe, postavljajući detaljnije zahtjeve za razmjenu informacija. ISO 19650-1 razlikuje između CDE radnog toka (procesa) i rješenja (tehnologije), što pomaže u razumijevanju uloge CDE-a u upravljanju informacijama. Tehnologije korištene u CDE-u trebaju podržavati ove procese, osiguravajući da su informacije pravilno upravljane i dostupne onima kojima su potrebne, u trenutku kada su im potrebne. Često se pogrešno smatra da je CDE isključivo tehnološko rješenje ili pojedinačni proizvod. Međutim, ISO 19650-1 pojašnjava da može biti potrebno više različitih tehnologija kako bi se zadovoljile funkcionalne potrebe CDE-a. Ključ je u tome da radni tok bude podržan tehnologijom, a ne da se prilagođava tehnologiji. CDE se razlikuje od jednostavnih usluga za pohranu datoteka ili sustava za upravljanje dokumentima (DMS) po tome što uključuje ne samo pohranu i proces, već i praćenje audita te prikladnost informacija za upotrebu. CDE omogućuje suradnju većeg broja sudionika, pružajući robustan proces, audit trail i zaštitu informacija, što omogućava sigurno i redovito dijeljenje informacija unutar projekta. Na taj način, CDE stvara povjerenje u upravljanju informacijama, gdje su vlasništvo, odgovornost i prikladnost jasno definirani, uz pravno sigurno i robusto praćenje cijelog procesa (UK BIM Framework, 2024).

Interoperabilnost, kao jedan od četiri temeljna polazišta upravljanja informacijama, odnosi se na sposobnost sigurne razmjene i korištenja informacija, pri čemu informacije ostaju neovisne o tehnologijama koje se koriste za njihovu isporuku. Interoperabilnost je ključna za maksimiziranje vrijednosti fizičkih resursa u izgrađenom i upravljanom okruženju tijekom cijelog njihovog životnog ciklusa. Postoji pet temeljnih načela za postizanje i održavanje interoperabilnosti. Prvo je dugovječnost, koja omogućuje bolje dugoročno pronalaženje, pristup, ponovnu uporabu i iskorištavanje informacija, a time i njihovu kontinuiranu vrijednost. Drugo načelo je sigurnost, koja uključuje održavanje potrebne sigurnosti, povjerljivosti i zaštite privatnosti, dok se istovremeno maksimiziraju mogućnosti za dijeljenje neosjetljivih informacija u javnom interesu. Treće načelo, vrijednost informacija, odnosi se na povećanje vrijednosti informacija koje stvaraju, upravljaju i dijele profesionalci koji koriste tehnologiju. Četvrto načelo je vlasništvo nad informacijama, koje osigurava trajno vlasništvo i kontrolu nad vrijednim podacima o resursima koje posjeduju upravitelji imovine. Posljednje načelo je konkurencija, koja promiče poštenu konkurenciju među pružateljima tehnologija, a posredno i među korisnicima tih tehnologija.

Pravna razmatranja u kontekstu upravljanja informacijama prema ISO 19650-1 standardu od ključne su važnosti kako bi se osiguralo da su obveze vezane za upravljanje informacijama jasno definirane i poštovane. Ove obveze trebaju biti ugrađene u ugovore i sporazume kako bi se osigurala njihova provedba. To se postiže kroz informacijski protokol, koji prema ISO 19650 dijelovima 2 i 3 mora biti dio dokumentacije za natječaj i imenovanje resursa. Predlošci informacijskih protokola razvijeni su kako bi podržali aktivnosti na projektima i upravljanju resursima, kao i rad u skladu sa sigurnosnim smjernicama. Ovi predlošci dostupni su unutar UK BIM Frameworka i osmišljeni su tako da se mogu integrirati u bilo koji standardni ili

nestandardni oblik ugovora na koji se primjenjuje englesko pravo. Važan aspekt ovih predložaka je mogućnost da se obveze definirane protokolom prenesu na podizvođače i u podugovore, čime se na jednostavan način osigurava konzistentnost u upravljanju informacijama na svim razinama projekta (UK BIM Framework, 2024).

Sigurnosna osviještenost u okviru ISO 19650-1 standarda ključna je za osiguranje sigurnosti i otpornosti resursa, proizvoda i okruženja u kojem se upravlja i održava građevinskim objektima. ISO 19650 serija standarda zahtijeva transparentan i suradnički pristup radu između različitih sektora, što podrazumijeva uzajamno razumijevanje i povjerenje, uz primjenu odgovarajućih mjera i postupaka za smanjenje rizika od gubitka, zloupotrebe, izmjene ili neovlaštenog pristupa informacijama. Osjetljive informacije definiraju se kao one koje mogu negativno utjecati na privatnost, dobrobit ili sigurnost pojedinca ili grupe, ugroziti intelektualno vlasništvo ili poslovne tajne organizacije, prouzročiti komercijalnu ili ekonomsku štetu organizaciji ili državi, ili ugroziti sigurnost, unutarnje i vanjske poslove države. Sveobuhvatno sigurnosno upravljanje osigurava da se odgovornost za sigurnost održava na najvišoj razini organizacije. U okviru ove strukture upravljanja, sigurnosno osviješten pristup upravljanju informacijama trebao bi uključivati kontrole za osoblje, fizičku sigurnost i kibernetičku sigurnost (UK BIM Framework, 2024).

2.2.2. ISO 19650-2: Faza isporuke imovine

ISO 19650-2 usredotočen je na praktičnu primjenu koncepta iz prvog dijela u fazi izgradnje. Ovdje se detaljno opisuje kako organizirati i upravljati informacijama koje nastaju tijekom izgradnje objekta. To uključuje smjernice za izradu informacijske strategije, definiranje odgovornosti za upravljanje informacijama, te osiguranje dosljednosti i točnosti podataka. Standard naglašava važnost jasno definiranih procedura za prikupljanje, pohranu i distribuciju informacija, čime se osigurava njihova dostupnost i točnost u svakom trenutku (Hrvatski zavod za norme, 2019).

Prema UK BIM Framework-u svaki projekt se dijeli na sljedećih 8 faza: potreba i procjene, objava natječaja, rezultati natječaja, ugovaranje, mobilizacija, kolaborativna isporuka informacija, isporuka informacijskog modela i zatvaranje projekta.

- **Potreba i procjene** (19650-2 članak 5.1) predstavlja početnu fazu projekta u kojoj se uspostavlja okvir informacija. Ova faza uključuje identifikaciju potreba i zahtjeva projekta te definiranje informacija koje su potrebne za uspješno planiranje, projektiranje i provedbu. Kroz ovu procjenu, projektini tim može razviti jasne smjernice za sve naknadne faze.
- **Objava natječaja** (19650-2 članak 5.2) odnosi se na izradu informacija za natječaj, usmjerenih prema potencijalnim partnerima koji će biti imenovani za provedbu projekta. Ova faza uključuje pripremu i distribuciju dokumentacije koja će omogućiti ponuđačima da razumiju projektne zahtjeve i pripreme svoje prijedloge za sudjelovanje.

- **Rezultati natječaja** (19650-2 članak 5.3) obuhvaća proces predaje ponuda od strane potencijalnih partnera. U ovoj fazi, zainteresirane strane dostavljaju svoje prijedloge koji uključuju tehničke i financijske informacije, koje će se kasnije analizirati kako bi se donijela odluka o odabiru najprikladnijeg partnera za projekt.
- **Ugovaranje** (19650-2 članak 5.4) označava finalizaciju i potvrdu imenovanja odabranih partnera. Ova faza uključuje formalno sklapanje ugovora i potvrdu da su svi ključni partneri službeno angažirani na projektu.
- **Mobilizacija** (19650-2 članak 5.5) odnosi se na pripremu tima za isporuku projekta. U ovoj fazi, svi članovi tima i resursi pripremaju se za početak rada, uključujući obuku, postavljanje radnih procesa i osiguranje potrebne opreme i resursa.
- **Kolaborativna isporuka informacija** (19650-2 članak 5.6) obuhvaća fazu u kojoj se informacije razvijaju i dijele među svim uključenim stranama. Ova faza uključuje kontinuirani rad i ažuriranje informacija kako bi se osigurala njihova točnost i relevantnost tijekom cijelog trajanja projekta.
- **Isporuka informacijskog modela** (19650-2 članak 5.7) odnosi se na provjeru informacija prije objave na ključnim informacijskim prekretnicama. U ovoj fazi, provjeravaju se i potvrđuju svi aspekti informacijskog modela kako bi se osiguralo da su svi podaci točni i spremni za daljnju upotrebu ili distribuciju.
- **Zatvaranje projekta** (19650-2 članak 5.8) označava završnu fazu projekta, u kojoj se svi preostali zadaci dovršavaju, a projekt formalno zatvara. Ova faza uključuje finalnu inspekciju, predaju završne dokumentacije i analizu učinkovitosti projekta, kako bi se osigurala potpuna usklađenost s inicijalnim ciljevima i zahtjevima.

2.2.3. ISO 19650-3: Operativna faza imovine

ISO 19650-3 proširuje primjenu standarda na fazu eksploatacije, tj. na period nakon završetka izgradnje kada objekt prelazi u fazu korištenja i održavanja. Ovaj dio pruža smjernice za učinkovito upravljanje informacijama tijekom životnog vijeka objekta, uključujući održavanje, renovacije i eventualno rušenje objekta. Naglasak je stavljen na dugoročno očuvanje informacija i njihovu dostupnost svim relevantnim stranama tijekom eksploatacije objekta (Hrvatski zavod za norme, 2020).

ISO 19650-3 usredotočen je na upravljanje informacijama tijekom operativne faze imovine, što je ključan dio životnog ciklusa imovine prema standardu ISO 55000. U ovoj fazi, imovina se koristi, upravlja i održava kako bi se ostvarila njezina vrijednost za organizaciju. Operativna faza, prema ISO 19650-1, odnosi se na razdoblje kada imovina ispunjava svoju funkciju i obično ne prolazi kroz značajne promjene poput gradnje ili proširenja. Tijekom ove faze, mogu se događati manji popravci i održavanje zbog inspekcija i zamjene malih komponenti. ISO 19650-3 pruža smjernice za upravljanje informacijama u operativnoj fazi, naglašavajući važnost specifikacije, proizvodnje, razmjene, provjere i odobravanja informacija. Informacije bi trebale biti strukturirane i dosljedne te, gdje je to moguće, podržavati predvidljive i ponovljive

rezultate. Upravljačke informacije trebaju se smatrati vrijednim resursom s vlastitim kriterijima izvedbe. Izvedba se može procjenjivati ekonomskim pokazateljima, kao što su povrat na ulaganje ili smanjenje odgovornosti, te njenom relevantnošću za podršku procesu upravljanja imovinom. ISO 55000 definira upravljanje imovinom kao „koordinirane aktivnosti organizacije za ostvarivanje vrijednosti iz imovine“. Imovina se definira kao „stavka, stvar ili entitet koji ima potencijalnu ili stvarnu vrijednost za organizaciju“. Upravljanje imovinom obuhvaća sve vrste imovine, uključujući zgrade i objekte, koje se u ISO 55000 nazivaju portfelj imovine. Upravljanje imovinom pokriva sve dijelove životnog ciklusa portfelja imovine, uključujući operativnu fazu, koja se definira kao „dio životnog ciklusa, tijekom kojeg se imovina koristi, upravlja i održava“. Standard ISO 19650-3 pruža smjernice za upravljanje informacijama tijekom operativne faze imovine, pokrivajući aktivnosti kao što su planiranje i provođenje intervencija, od jednostavne zamjene komponenata do reakcije na velike incidente i podrške planovima kontinuiteta poslovanja. Informacije o imovini moraju biti dostupne, pristupačne i čitljive u budućnosti, jer podaci razvijeni prije izgradnje imovine mogu biti ključni za obnovu ili sigurno uklanjanje imovine u budućnosti. Informacije o imovini trebaju biti precizne i pouzdane kako bi se podržali svi aspekti životnog ciklusa imovine, uključujući operativne i održavateljske aktivnosti, razvoj i reviziju strateških planova upravljanja imovinom te prodaju ili prijenos imovine novim vlasnicima. Usvajanje pristupa upravljanju informacijama prema standardima ISO 19650 značajno povećava količinu i kvalitetu digitalnih informacija o imovini, poznatih kao digitalni blizanac, koji može biti dinamički povezan s fizičkom imovinom. Osim toga, lanac opskrbe uključen u aktivnosti upravljanja imovinom ima odgovornost podržati vlasnike imovine i ispuniti zahtjeve za informacijama specificirane u ugovorima. Pružanje informacija ključni je dio intervencija na imovini, a vlasnici imovine trebaju osigurati da njihovi ugovori i upute za rad uključuju zahtjeve za informacijama zajedno s tehničkim specifikacijama radova. Na kraju, dostupnost cjelovitih, ažurnih, točnih i pouzdanih informacija o imovini donosi koristi kroz sve faze životnog ciklusa imovine, uključujući operativnu fazu, održavanje i planiranje budućih intervencija te podršku sigurno, troškovno učinkovitom razgradnji i odlaganju imovine na kraju njezina životnog ciklusa (UK BIM Framework, 2024).

ISO 19650-3 se usredotočuje na upravljanje informacijama tijekom operativne faze imovine, koja uključuje upravljanje, održavanje i uporabu imovine nakon što je izgrađena i predana na korištenje. Ova faza je ključna za maksimiziranje vrijednosti imovine tijekom njenog životnog ciklusa. Evo kako se specifične faze upravljanja informacijama razvijaju tijekom operativne faze imovine prema ISO 19650-3:

- **Potreba i procjene** (19650-3 članak 5.1) odnosi se na fazu u kojoj se uspostavlja okvir za upravljanje informacijama tijekom operativne faze. Ova faza uključuje specifikaciju informacija potrebnih za učinkovito upravljanje imovinom. Razumijevanje potreba za informacijama omogućava organizaciji da razvije odgovarajuće procese za prikupljanje, pohranu i upotrebu informacija koje će biti ključne za održavanje i upravljanje imovinom.

- **Objeva natječaja** (19650-3 članak 5.2) u kontekstu operativne faze obuhvaća pripremu i distribuciju informacija koje će biti potrebne za angažiranje dobavljača i usluga koji će sudjelovati u upravljanju i održavanju imovine. Ovo uključuje izradu zahtjeva za informacije koje će omogućiti potencijalnim dobavljačima da razumiju što se očekuje od njih u smislu isporuke i održavanja.
- **Rezultati natječaja** (19650-3 članak 5.3) odnosi se na proces kada dobavljači i pružatelji usluga dostavljaju svoje ponude i prijedloge. U ovoj fazi, organizacija ocjenjuje prijedloge na temelju njihove sposobnosti da ispune zahtjeve za upravljanje imovinom i održavanje. Ova faza uključuje analizu tehničkih i financijskih aspekata ponuda kako bi se odabrali najprikladniji partneri.
- **Ugovaranje** (19650-3 članak 5.4) označava službeno potvrđivanje i sklapanje ugovora s odabranim dobavljačima i pružateljima usluga. Ova faza uključuje formalno potvrđivanje svih angažiranih strana i utvrđivanje njihovih odgovornosti u vezi s upravljanjem i održavanjem imovine.
- **Mobilizacija** (19650-3 članak 5.5) odnosi se na pripremu tima i resursa za početak operativne faze. U ovoj fazi, svi uključeni u upravljanje imovinom pripremaju se za rad, što može uključivati obuku, postavljanje operativnih procesa i osiguranje potrebne opreme i resursa za održavanje i upravljanje imovinom.
- **Kolaborativna isporuka informacija** (19650-3 članak 5.6) obuhvaća fazu u kojoj se informacije o imovini kontinuirano razvijaju i dijele među svim uključenim stranama. Ova faza uključuje ažuriranje i usklađivanje informacija kako bi se osiguralo da su svi podaci točni i relevantni tijekom cijelog trajanja operativne faze.
- **Isporuka informacijskog modela** (19650-3 članak 5.7) odnosi se na provjeru i potvrdu informacija prije njihova objavljivanja na ključnim prekretnicama operativne faze. U ovoj fazi, informacije se pregledavaju i potvrđuju kako bi se osiguralo da su svi podaci točni i spremni za uporabu u upravljanju i održavanju imovine.
- **Zatvaranje projekta** (19650-3 članak 5.8) u operativnoj fazi označava završetak određenih aktivnosti ili ciklusa održavanja. Ova faza uključuje analizu učinkovitosti i rezultate intervencija, te pripremu dokumentacije za završnu inspekciju i zatvaranje aktivnosti koje su se odvijale u sklopu operativne faze.

2.2.4. ISO 19650-4: Razmjena podataka (eng. Information Exchange)

ISO 19650-4 usredotočuje se na standardizirane procese za razmjenu informacija između različitih strana u građevinskom projektu. Cilj ovog dijela je osigurati da se informacije razmjenjuju na način koji je dosljedan, siguran i prilagođen potrebama svih sudionika. Ovdje su specificirane tehničke smjernice za format, sadržaj i način razmjene informacija, kako bi se osiguralo da sve strane imaju pristup točnim i pravovremenim podacima potrebnim za donošenje odluka (Hrvatski zavod za norme, 2022).

ISO 19650-4 je ključni dio serije ISO 19650 koji se fokusira na upravljanje kvalitetom informacija tijekom njihovog razmjena u kontekstu projekata i imovine. Ovaj standard nadograđuje postojeće procese i alate opisane u ISO 19650-1, -2 i -3, te ih usklađuje s ciljem osiguravanja visoke kvalitete razmijenjenih informacija. ISO 19650-4 naglašava važnost korištenja Zajedničkog Okoliša Podataka (CDE) kao ključnog alata za održavanje kvalitete informacija tijekom njihovog prijenosa. Standard postavlja kriterije za usvajanje specifičnih tehnologija i standarda koji se koriste u procesu nabave informacija. Ovo uključuje postavljanje zajedničkih, ali često zanemarenih, kriterija koji se trebaju primijeniti na svaki pojedinačni prijenos informacija. Svrha ISO 19650-4 je osigurati da sve informacije koje se razmjenjuju između različitih strana i sustava zadovoljavaju visoke standarde kvalitete. Ovo uključuje definiranje zahtjeva za tehnologiju i standarde koji se koriste za prijenos informacija, te osiguranje da svi sudionici u procesu razmjene informacija razumiju i primjenjuju ove kriterije. Na taj način, ISO 19650-4 pomaže u održavanju dosljednosti i pouzdanosti informacija koje su ključne za uspješno upravljanje projektima i imovinom (UK BIM Framework, 2024).

ISO 19650-4 pruža značajne prednosti u upravljanju informacijama tijekom njihovog razmjene, osobito kada se koristi u skladu s pravilima i standardima. Ključna prednost koju donosi ovaj standard jest uspostavljanje mehanizma za osiguranje poštovanja i povjerenja među različitim stranama uključenim u projekt. Kroz primjenu ISO 19650-4, može se osigurati da svaki prijenos informacija doprinosi kvaliteti cjelokupnog modela informacija o projektu ili imovini. Jedna od glavnih prednosti upravljanja informacijama prema ISO 19650-4 je poboljšanje dizajnerskih i planerskih rezultata. Precizno i pouzdano upravljanje informacijama dovodi do boljih rezultata na gradilištu, veće spremnosti za sljedeću fazu projekta ili događaje u upotrebi te bolju pripremljenost za dugotrajnu upotrebu izgrađene imovine tijekom cijelog životnog ciklusa. Ove poboljšanja imaju koristi ne samo za trenutne sudionike u procesu izgradnje, već i za buduće korisnike. Za klijente i vlasnike/operatora, prednosti su još izraženije. Kroz upotrebu pouzdanih informacija, oni mogu učinkovitije ostvarivati ciljeve dekarbonizacije, osigurati sigurnost, izvještavati o pitanjima vezanim uz okoliš, društvo i upravljanje, te bolje razumjeti ranjivosti u opskrbnom lancu. U konačnici, primjena ISO 19650-4 osigurava da su informacije na raspolaganju točne i pouzdane, što je ključno za uspješno upravljanje projektima i imovinom te omogućava dugoročnu vrijednost i održivost (UK BIM Framework, 2024).

ISO 19650-4 postavlja ključne kriterije za ocjenu razmjene informacija kako bi se osigurala njihova kvaliteta i korisnost. Prema stavcima 7.1 do 7.6, standard definira šest osnovnih kriterija koji pomažu u procjeni informacija tijekom razmjene. Ovi kriteriji su u velikoj mjeri neovisni o zahtjevima imenovane strane i metodama isporuke imenovanih strana, što ih čini prikladnim za standardizaciju. Cilj ovih kriterija je maksimizirati korisnost informacija te očuvati i razviti vrijednost modela informacija o projektu i/ili imovini. Konkretno, fokusira se na minimiziranje rizika od kontradikcija i nesuglasica među informacijama. Važno je napomenuti da ISO 19650-4 ne propisuje funkcionalne, tehničke ili slične kriterije, već se koncentrira na opće kriterije kvalitete koji omogućuju dosljednu i pouzdanu razmjenu informacija. Zajedničko podatkovno okruženje (CDE) igra ključnu ulogu u upravljanju informacijama prema standardu

ISO 19650. CDE je kombinacija tehničkih rješenja i procesnih tijekova. Ono može uključivati softverska rješenja poput elektroničkih sustava za upravljanje dokumentima (EDMS), ali također može obuhvaćati i druga sredstva, uključujući papirnate sustave u organiziranim ormarima ili poštanske usluge. Iako su digitalna rješenja najčešće korištena, važno je napomenuti da mnoge različite tehnologije mogu biti uključene u jedno radno okruženje. Prema ISO 19650-2, CDE bi trebao osigurati i upravljati strana koja je imenovana za upravljanje projektom (ili treća strana koja djeluje u njihovo ime). Ovaj projektni CDE upravlja svim informacijskim kontejnerima koji se razvijaju i razmjenjuju tijekom životnog ciklusa projekta. Međutim, ISO 19650-2 također predviđa mogućnost da timovi za isporuku implementiraju vlastite (distribuirane) CDE-ove, uz postojeći projektni CDE, što može unijeti dodatne složenosti u upravljanje informacijama. CDE nije samo tehnološko rješenje, već i dobro razvijen procesni tijek. Prvo je važno razviti tijekove rada, a zatim odabrati tehnologiju koja će ih podržati. CDE može uključivati razne komponente kao što su upravljanje stanjima informacija, klasifikacija informacijskih kontejnera pomoću metapodataka, kontrola revizija i dopuštena uporaba informacija, a sve te komponente osiguravaju da informacije budu pravilno planirane, dijeljene, pohranjene, upravljane i dostupne kada su potrebne.

2.2.5. ISO 19650-5: Sigurnosni pristup upravljanju informacijama (Security-minded approach)

ISO 19650-5 naglašava važnost sigurnosti informacija u građevinskim projektima, posebno u kontekstu digitalizacije i sve veće upotrebe BIM tehnologija. Ovaj dio standarda pruža smjernice za identificiranje i upravljanje sigurnosnim rizicima povezanim s informacijama, uključujući zaštitu podataka, kontrolu pristupa i osiguranje integriteta informacija tijekom cijelog životnog ciklusa projekta. Poseban fokus je na zaštiti osjetljivih podataka i osiguravanju da su svi sudionici projekta svjesni svojih odgovornosti u pogledu sigurnosti informacija (Hrvatski zavod za norme, 2020).

ISO 19650-5 obrađuje 6 načela za sigurnosni pristup upravljanja informacijama, a to su:

- **Utvrđivanje potrebe za pristupom usmjerenim na sigurnost putem procesa procjene osjetljivosti**
Ovo načelo naglašava važnost identifikacije i procjene osjetljivosti informacija prije nego što se pristupi razvoju sigurnosnih mjera. Proces procjene osjetljivosti pomaže organizacijama da razumiju koje informacije su kritične i koje bi mogle biti podložne riziku od gubitka, zloupotrebe, modifikacije ili neovlaštenog pristupa. Time se osigurava da se odgovarajući sigurnosni zahtjevi postave na temelju stvarne vrijednosti i osjetljivosti informacija, čime se smanjuje mogućnost sigurnosnih incidenata.
- **Pokretanje pristupa usmjerenog na sigurnost**
Nakon što se utvrdi potreba za sigurnosnim pristupom, sljedeći korak je iniciranje tih mjera. To uključuje donošenje odluka o sigurnosnim politikama i procedurama koje će biti implementirane. Inicijacija sigurnosnog pristupa znači da se odgovorni za sigurnost

jasno definiraju i da se osigura da su svi relevantni sudionici obaviješteni o novim sigurnosnim praksama i procedurama koje će se primjenjivati.

- **Razvijanje strategije sigurnosti**

Razvijanje strategije sigurnosti uključuje planiranje i formuliranje općeg pristupa upravljanju sigurnošću informacija. Strategija sigurnosti treba obuhvatiti ciljeve, opseg i prioritete sigurnosnih mjera. Treba uključivati metode za zaštitu informacija i procese za njihovo osiguranje u skladu s procijenjenim rizicima i osjetljivošću informacija. Strategija treba biti fleksibilna kako bi se mogla prilagoditi promjenama u okruženju ili novim prijetnjama.

- **Razvijanje plana upravljanja sigurnošću**

Plan upravljanja sigurnošću detaljno opisuje konkretne aktivnosti, resurse i odgovornosti za implementaciju sigurnosnih mjera. Ovaj plan uključuje opis metoda zaštite informacija, postavljanje sigurnosnih kontrola, dodjeljivanje uloga i odgovornosti, te definiranje postupaka za upravljanje i nadzor sigurnosnih aktivnosti. Plan također treba sadržavati procedure za redovito pregledavanje i ažuriranje sigurnosnih mjera kako bi se osigurala njihova učinkovitost.

- **Razvijanje plana za upravljanje sigurnosnim povredama/incidentima**

Plan za upravljanje sigurnosnim povredama ili incidentima osigurava odgovarajuće postupke za identificiranje, reagiranje na i upravljanje sigurnosnim incidentima. Ovaj plan treba sadržavati korake za obavješćavanje relevantnih strana, analizu uzroka povrede, procjenu utjecaja na informacije i implementaciju mjera za ispravljanje i prevenciju budućih incidenata. Također, plan treba definirati komunikacijske kanale i odgovornosti za upravljanje incidentima.

- **Suradnja s imenovanim stranama**

Sigurnosni pristup zahtijeva učinkovitu suradnju između svih uključenih strana. To uključuje koordinaciju s imenovanim partnerima ili dobavljačima koji mogu imati pristup ili upravljati informacijama. Suradnja osigurava da svi sudionici razumiju sigurnosne zahtjeve i postupke, te da se pridržavaju pravila i standarda. Također, suradnja može uključivati zajedničke aktivnosti u obuci, testiranju sigurnosnih mjera i razmjeni informacija o prijetnjama i ranjivostima.

Ova načela pružaju temelj za izgradnju sigurnosnog okvira u upravljanju informacijama, osiguravajući da su informacije zaštićene kroz cijeli njihov životni ciklus i da su odgovarajuće mjere implementirane za prevenciju i odgovor na sigurnosne prijetnje.

2.3. HRN EN ISO 16739

U oznaci HRN EN ISO 16739 Oznaka "HRN" označava da je standard usklađen s pravilima hrvatskog nacionalnog standarda. HRN je skraćenica za "Hrvatski Regulativni Normativ" i koristi se za standarde koje izdaje Hrvatski zavod za standardizaciju (HZN). Dakle, HRN označava da je standard primjenjiv u Hrvatskoj i da je usklađen s nacionalnim zahtjevima. Nadalje, Oznaka "EN" označava da je standard europski normativ. "EN" je skraćenica za "Europäische Norm" (Europski standard). Ovi standardi su razvijeni i prihvaćeni od strane Europske organizacije za standardizaciju (CEN). EN standardi su usklađeni s regulativama Europske unije i često se koriste u svim zemljama članicama EU. I na kraju, Oznaka "ISO" označava da je standard međunarodni standard razvijen od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO). ISO standardi su međunarodni standardi koji se koriste globalno i osiguravaju dosljednost i usklađenost u različitim zemljama.

ISO 16739, poznatiji kao IFC (Industry Foundation Classes), standardizira format za razmjenu podataka u građevinskoj industriji. Ovaj standard omogućuje interoperabilnost između različitih softverskih alata i aplikacija koje se koriste u dizajnu, građevini, upravljanju i održavanju zgrada i infrastrukture. ISO 16739 definira format za razmjenu informacija među različitim softverskim alatima i aplikacijama u građevinskoj industriji. Razvijen je kako bi omogućio učinkovitu razmjenu i integraciju informacija tijekom cijelog životnog ciklusa građevinskog projekta, uključujući faze projektiranja, gradnje, održavanja i upravljanja imovinom.

Ovaj standard služi za standardizaciju načina na koji se podaci o građevinskim projektima pohranjuju i razmjenjuju. Omogućuje različitim softverskim aplikacijama, kao što su alati za modeliranje informacija o građevini (BIM), da razmjenjuju informacije u jedinstvenom formatu. Time se poboljšava interoperabilnost između različitih sustava i olakšava suradnja među različitim sudionicima u projektu, kao što su arhitekti, inženjeri, izvođači i upravitelji.

Prednosti ISO 16739 uključuju povećanu interoperabilnost, unaprijeđenu suradnju, poboljšano upravljanje podacima i podršku za različite faze životnog ciklusa projekta. Omogućuje razmjenu podataka između različitih softverskih alata, smanjuje potrebu za manualnim unosom podataka i smanjuje mogućnost grešaka, te olakšava koordinaciju i komunikaciju među sudionicima. Također, omogućuje lakše praćenje i upravljanje podacima kroz cijeli životni ciklus građevinskog projekta. Međutim, postoje i mane. Implementacija standarda može biti kompleksna, osobito za manje organizacije bez stručnjaka za BIM. Također, postoji potreba za usklađivanjem različitih verzija i implementacija standarda između različitih softverskih rješenja, a IFC može imati ograničenja u pogledu specifičnih funkcionalnosti i detalja koji se mogu prenijeti između različitih aplikacija.

Ukratko, ISO 16739 (IFC) igra ključnu ulogu u modernoj građevinskoj industriji, omogućujući bolju koordinaciju i učinkovitiju razmjenu podataka među različitim sudionicima i softverskim alatima. Iako postoje izazovi u implementaciji i korištenju, njegove prednosti značajno doprinose uspjehu građevinskih projekata (Hrvatski zavod za norme, 2024).

2.3.1. Formati i verzije IFC-a

IFC podaci mogu se pohraniti i razmjenjivati u različitim formatima, pri čemu su najvažniji sljedeći:

- **IFC-SPF (STEP Physical File):** Ovo je najčešće korišteni format za pohranu i razmjenu IFC podataka. IFC-SPF je tekstualni format koji koristi STEP (Standard for the Exchange of Product model data) standard za strukturiranje podataka. Ovaj format omogućuje detaljnu i preciznu razmjenu informacija, uključujući sve aspekte BIM modela.
- **IFC-XML:** Ovaj format koristi XML (eXtensible Markup Language) za strukturiranje IFC podataka. IFC-XML je pogodan za primjenu u web okruženjima i omogućava lako razumijevanje i manipulaciju podacima pomoću standardnih XML alata.
- **IFC-BCF (BIM Collaboration Format):** BCF je format za razmjenu informacija o problemima i promjenama unutar BIM modela. Iako nije izravno dio IFC standarda, BCF se često koristi u kombinaciji s IFC za učinkovitu suradnju i komunikaciju među različitim sudionicima u projektu.

IFC standard je evoluirao kroz nekoliko verzija, svaka s poboljšanjima i dodatnim funkcionalnostima. Glavne verzije uključuju:

- **IFC 1.0 i 2.0:** Rane verzije IFC-a bile su usmjerene na osnovne potrebe razmjene podataka i postavljanje temelja za kasnije verzije. Ove verzije pružale su osnovnu funkcionalnost za modeliranje objekata i njihovih odnosa.
- **IFC 2x:** Ova verzija, predstavljena 2003. godine, uvela je značajna poboljšanja u strukturi podataka i proširila funkcionalnost kako bi uključila dodatne aspekte građevinskih objekata, kao što su sustavi i komponente.
- **IFC 2x2:** Predstavljena 2006. godine, verzija 2x2 uvela je nove smjernice za detaljnije modeliranje i razmjenu podataka, uključujući poboljšane definicije objekata i atributa.
- **IFC 2x3:** Ova verzija, lansirana 2009. godine, donijela je važna poboljšanja u oblasti interoperabilnosti i proširila mogućnosti za detaljno modeliranje građevinskih objekata. IFC 2x3 je i dalje široko korišten i podržan u mnogim BIM softverskim alatima.
- **IFC 4:** Predstavljena 2013. godine, verzija 4 uvela je značajna poboljšanja u funkcionalnosti, uključujući podršku za nove tipove objekata, proširene definicije i poboljšanu interoperabilnost. IFC 4 omogućuje detaljno modeliranje i razmjenu informacija o složenim građevinskim projektima.
- **IFC 4x1 i IFC 4x2:** Ove nadogradnje verzije 4 donose dodatne ispravke i poboljšanja na osnovnu verziju IFC 4. Svaka nadogradnja dodaje nove značajke i unapređuje funkcionalnost, kako bi se zadovoljile potrebe sve složenijih građevinskih projekata. (building SMART International, 2024)

2.3.2. IFC Shema

IFC (Industry Foundation Classes) je standard koji omogućuje interoperabilnost između različitih softverskih alata u građevinskoj industriji. Standard definira digitalne modele građevinskih objekata, omogućujući različitim sudionicima u projektu razmjenu informacija na standardiziran način. IFC shema je ključna komponenta ovog standarda, jer definira strukturu podataka, odnose između objekata i pravila za njihovu razmjenu. Posljednja aktualna verzija, IFC4.3.2.0, razvijena je prema normi ISO 16739-1:2024.

IFC shema strukturirana je kao hijerarhijski sustav entiteta (klasa), gdje svaki entitet predstavlja određeni objekt ili koncept u građevinskoj industriji. Na najvišoj razini, entiteti su podijeljeni u nekoliko glavnih kategorija:

- **IfcRoot**: Temeljna klasa iz koje nasljeđuju svi drugi entiteti. Ova klasa uključuje osnovne attribute poput identifikatora, imena, opisa, te informacije o promjenama i vlasništvu nad entitetima.
- **IfcObjectDefinition**: Klasa koja definira objekte, njihove odnose i hijerarhije. Tu spadaju **IfcObject**, **IfcTypeObject**, **IfcContext**, **IfcGroup**, i **IfcActor**.
- **IfcPropertyDefinition**: Klasa za definiranje svojstava i količina koje su pridružene objektima. Tu spadaju **IfcPropertySetDefinition**, **IfcPropertySet**, i **IfcElementQuantity**.
- **IfcRelationship**: Klasa koja definira odnose između različitih entiteta, omogućujući modeliranje složenih veza između objekata u građevinskom projektu. (Lee *i dr.*, 2016)

IFC4.3.2.0 verzija sadrži detaljan skup entiteta podijeljenih u specifične kategorije koje odgovaraju različitim aspektima građevinskog modela. Neke od najvažnijih kategorija su:

- **Geometrijske i Topološke Klase** - Ova kategorija obuhvaća entitete koji definiraju geometriju i topologiju objekata. Klase kao što su **IfcCartesianPoint**, **IfcCurve**, **IfcSurface**, i **IfcSolidModel** omogućuju precizno definiranje oblika i dimenzija građevinskih elemenata.
- **Elementarne Građevinske Komponente** - Entiteti iz ove kategorije odnose se na osnovne građevinske elemente, kao što su **IfcWall**, **IfcDoor**, **IfcWindow**, **IfcSlab**, i **IfcBeam**. Svaka od ovih klasa definira specifične attribute i relacije koje su potrebne za modeliranje tih elemenata unutar građevinskog modela.
- **Infrastrukturni Elementi** - S obzirom na proširenje IFC sheme za infrastrukturu u verziji IFC4.3.2.0, ova verzija uvodi detaljne entitete za modeliranje infrastrukture, kao što su **IfcBridge**, **IfcRoad**, **IfcRailway**, i **IfcPort**. Ove klase omogućuju precizno modeliranje infrastrukturnih projekata, uključujući mostove, ceste, željezničke pruge i luke.
- **Prostorni Elementi** - Prostorni elementi definiraju prostore unutar građevinskog objekta. Klase kao što su **IfcSite**, **IfcBuilding**, **IfcBuildingStorey**, i **IfcSpace** omogućuju modeliranje prostora i njihovih odnosa unutar građevinskog projekta.
- **MEP (Mechanical, Electrical, and Plumbing) Elementi** - Ova kategorija obuhvaća entitete koji se koriste za modeliranje mehaničkih, električnih i vodovodnih instalacija.

Klase kao što su **IfcPipeSegment**, **IfcDuctSegment**, **IfcCableCarrierSegment**, i **IfcFlowTerminal** omogućuju precizno definiranje instalacija unutar objekta.

Svaki entitet u IFC shemi ima skup atributa i svojstava. Atributi su osnovne karakteristike, poput identifikatora i naziva, dok su svojstva detaljniji podaci koji opisuju specifične aspekte entiteta, kao što su materijali, dimenzije, tehničke karakteristike i performanse. Ove informacije omogućuju detaljno modeliranje i analizu građevinskih objekata.

IFC4.3.2.0, kao dio ISO 16739-1:2024, predstavlja ključnu komponentu za osiguravanje interoperabilnosti unutar građevinske industrije. Njegova detaljna i složena struktura omogućuje modeliranje različitih aspekata građevinskih i infrastrukturnih projekata, pružajući snažnu osnovu za preciznu razmjenu informacija među sudionicima u projektu. Ovaj standard omogućava ne samo detaljno modeliranje, već i učinkovito upravljanje informacijama kroz cijeli životni ciklus građevinskog objekta. (building SMART International, 2024)

2.3.2.1. Razvoj IFC sheme

Razvoj IFC sheme počeo je s verzijom IFC 1.0, koja je predstavljena 1997. godine. Od tada je shema prošla kroz brojne revizije, a najnovija verzija, IFC 4.4, trenutno je u fazi izrade. Evolucija IFC-a obuhvaća dodavanje novih domena, kao i povezane koncepte, procese i tehnologije. Verzije sheme uključuju važna poboljšanja, kao što su uvođenje novih entiteta i značajki, refiniranje postojećih funkcionalnosti i ispravljanje manjih grešaka.

IFC shema se ažurira kroz različite razine izmjena: glavne verzije (major), manje verzije (minor), dodaci (addenda) i tehničke ispravke (technical corrigenda). Glavne verzije obuhvaćaju proširenja ili brisanje funkcionalnosti, dok manje verzije dodaju funkcionalnosti uz zajamčenu kompatibilnost za osnovnu shemu, ali ne za druge definicije. Dodaci uključuju poboljšanja postojećih značajki s zajamčenom kompatibilnošću, dok tehničke ispravke poboljšavaju dokumentaciju.

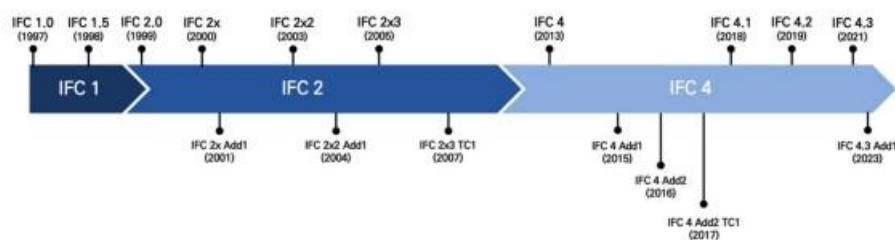
Na početku, IFC 1.0 je bio usmjeren na definiranje arhitektonskih domena, građevinskih usluga i upravljanja građevinskim projektima. S IFC 2.0 uvedeni su novi shemi za strukturalnu domenu i dodatne građevinske usluge, uključujući elektroinstalacije i HVAC. IFC 2X3 TC1 (2007) omogućio je povezivanje podataka s geografskim informacijskim sustavima (GIS).

Veće promjene nastale su s IFC 2X3 do IFC 4, koje su uključivale podršku za nove geometrijske oblike, parametarske funkcije i informacije o koordinatnim sustavima za GIS povezivanje. Ove promjene su bile ključne za uklanjanje strukturalnih nejasnoća, smanjenje složenosti formata datoteka i poboljšanje kompatibilnosti sheme IFC.

Razvoj je nastavio s IFC 4.1, koji je obogatio shemu izrazima usklađenja posebno dizajniranim za infrastrukturne strukture. Verzija IFC 4.2 proširila je opseg sheme kako bi uključila elemente povezane s mostovima i definirala posebnu prostornu hijerarhiju za infrastrukturu. Međutim, ove verzije su povučene kako bi se omogućila sveobuhvatnija redizajn za širu infrastrukturnu domenu. Najnovija verzija, IFC 4.3 ADD2, koja je objavljena 2024. godine, predstavlja značajan

korak naprijed u integraciji infrastrukture, obuhvaćajući širok raspon elemenata za domene kao što su željeznice, ceste, luke, vodeni putevi i mostovi (Yu, 2023).

IFC standard se stalno razvija kako bi se prilagodio dinamičkim zahtjevima građevinske industrije. Ipak, često postoji značajan vremenski razmak između razvoja ažuriranja i njihove službene objave i distribucije. Spora ažuriranja omogućuju širokom rasponu BIM aplikacija da se usklade s najnovijom verzijom IFC-a i pružaju stabilnost za istraživanje novih proizvoda i procesa. Ovi eksperimenti osiguravaju da su nova proširenja temeljito testirana i dobro promišljena, pružajući vrijedne uvide za buduće verzije IFC-a. Razvoj IFC sheme kroz godine prikazan je na slikama ispod.



Slika 3.: Razvoj IFC Sheme (building SMART International, 2024)

Version	Name (HTML Documentation)	ISO publication	Published (yyyy-mm)	Current Status	Full package	EXPRESS	XSD	pSet XSD	OWL HTML	RDF	TTL
4.4-dev	IFC 4.4.x development	not started		Extension of 4.3. Adding additional functionality. Currently under development.							
4.3.2.0	IFC 4.3 ADD2	ISO 16739-1:2024	2024-04	Official	ZIP	EXP	XSD	ZIP	ifcOWL		TTL (use correct MIME type)
4.2.0.0	IFC 4.2	-	2019-04	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x2.xsd	-			
4.1.0.0	IFC 4.1	-	2018-06	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x1.xsd	-			
4.0.2.1	IFC 4 ADD2 TC1	ISO 16739-1:2018	2017-10	Official	ZIP	EXP	IFC4.xsd	-	ifcOWL	RDF	TTL
4.0.2.0	IFC 4 ADD2	-	2016-07	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD2.xsd	-			
4.0.1.0	IFC 4 ADD1	-	2015-06	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD1.xsd	-			
4.0.0.0	IFC 4	ISO 16739:2013	2013-02	Retired	ZIP	EXP	ifcXML4.xsd	PSD_IFC4.xsd	ifcOWL	RDF	TTL
2.3.0.1	IFC 2x3 TC1	ISO/PAS 16739:2005	2007-07	Official	ZIP	EXP	IFC2X3.xsd	PSD_R2x3.xsl	ifcOWL	RDF	TTL
2.3.0.0	IFC 2x3	-	2005-12	Retired	ZIP	EXP	-	-	ifcOWL	RDF	TTL
2.2.1.0	IFC 2x2 ADD1	-	2004-07	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.2.0.0	IFC 2x2	-	2003-05	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.1.0	IFC 2x ADD1	-	2001-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.0.0	IFC 2x	-	2000-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.0.0.0	IFC 2.0	-	1999-10	Retired	-	-	-	-	-	-	-

Slika 4.: Prikaz verzija IFC-a kroz godine (building SMART International, 2024)

2.3.2.2. Analiza rasta IFC sheme

- **Entiteti**

Rast IFC sheme u velikoj mjeri može se pratiti kroz broj entiteta koji ona sadrži. Ukupan broj entiteta u IFC shemi pokazuje rast opsega sheme i, osobito u kasnijim verzijama, ti entiteti predstavljaju strukture potrebne za prikaz novih pojmova u domenama koje se dodaju shemi. Iako su slojevi jezgre sheme u novijim verzijama doživjeli manje promjene, rast broja entiteta također odražava globalnu kompleksnost sheme i trud potreban za razumijevanje cijelog skupa dostupnih entiteta.

Do značajnog povećanja veličine sheme dolazi od verzije 2.x do 2.x.2, a zatim još jednog značajnog povećanja od verzije 2.x.3 TC1 do verzije 4. Ova povećanja odgovaraju velikim promjenama u pokrivenosti IFC sheme kako se dodaju nove discipline. Sličan trend može se vidjeti u broju instanciranih entiteta (entiteti koji predstavljaju stvarne objekte koji mogu imati pridružene podatke), koji su se povećavali sličnim tempom.

Broj korijenskih entiteta (onih koji ne nasljeđuju od drugih entiteta), također je pokazivao sličan trend povećanja do verzije IFC 4, kada je značajno opao. Ovaj pad može ukazivati na pokušaje pojednostavljenja strukture IFC sheme; smanjenje broja putanja nasljeđivanja znači da postoji manji broj korijenskih struktura koje moraju razumjeti i implementirati korisnici sheme. Također, ovo segmentira shemu u manji broj skupova (što poboljšava razumljivost), iako povećava broj entiteta unutar svakog skupa (Amor, 2015).

- **Atributi**

Broj atributa u IFC shemi raste kako se povećava broj entiteta. Ovaj rast atributa pratimo kroz vrijeme, iako je omjer atributa po entitetu varirao i pokazuje blagi opadajući trend. Nizak broj atributa po entitetu u shemi koja odražava fizičku domenu poput AEC-FM (Architecture, Engineering, Construction, Facility Management) sugerira da se entiteti u IFC shemi koriste više kao sredstva za klasifikaciju i segmentaciju instanci koje se kreiraju za zgrade, nego za hvatanje svojstava tih instanci.

Velik broj jedinstvenih svojstava premašuje broj atributa, što ukazuje da se veći dio informacija o atributima za IFC nalazi u Skupinama Svojstava (Property Sets), a ne u atributima dodijeljenim entitetima. Ovo ima dvije glavne posljedice. Prva je da većina međunarodnih dogovora o informacijama potrebnim za entitet nije zabilježena u EXPRESS shemi korištenoj za predstavljanje IFC-a i objavljenoj od strane ISO-a, već se nalazi u dodatnim sporazumima dokumentiranim na web stranici buildingSMART. Druga posljedica odnosi se na performanse i učinkovitost SPF-a (Standardized PreProcessor File) koji se koristi za prijenos podataka o zgradi. SPF će biti složeniji i veći jer atributi entiteta nisu izravno zapisani u entitetu, već se povezuju s njim putem mehanizma Skupa Svojstava.

Još jedna promjena koja je očita u atributima opisanim u IFC shemi je povećanje broja opcionalnih atributa s vremenom. Posebno je značajna velika promjena u IFC 4, gdje je postotak opcionalnih atributa značajno porastao. To je indicija pokušaja da se IFC shema učini fleksibilnijom za implementatore i korisnike. Ako je manji broj atributa obavezan za popunjavanje prije nego što instanca postane valjana, instanca se može stvoriti ranije u AEC-FM procesu kada je manje informacija dostupno, ili se može koristiti u većem broju uvjeta uz manje prenesenih podataka. Kompromis ovdje je u tome koliko podataka je potrebno za valjanost instance za određenu svrhu (npr. toplinsku simulaciju). Međutim, s razvojem MVD struktura koje nadograđuju osnovnu IFC shemu kako bi specificirale točne zahtjeve za određene domene i procese, ti veći zahtjevi mogu i trebaju biti specificirani na toj razini (Amor, 2015).

- **Tipovi**

Broj tipova u IFC shemi raste kako se shema proširuje, što odražava rast broja entiteta od verzije IFC 2.x nadalje. Ovaj rast je očekivan s obzirom na to da IFC shema pokriva sve šire domene unutar AEC-FM sektora, što zahtijeva nove tipove za odražavanje informacija u tim novim domenama.

Međutim, može izgledati neobično koliko tipova postoji u odnosu na broj atributa. S omjerom od otprilike 4:1 za atribute prema tipovima, jasno je da su mnogi od ovih tipova definirani samo za jedan ili dva atributa u shemi. Iako je takav omjer možda neobičan, tipovi pružaju semantiku o očekivanim podacima za atribut, što čini vrijednim nastavak njihove obuhvaćenosti u shemi. Tipovi igraju ključnu ulogu u definiranju i ograničavanju vrsta podataka koji se mogu koristiti za atribut, čime se osigurava dosljednost i točnost informacija unutar IFC sheme (Amor, 2015).

- **Semantička kodifikacija**

Semantička kodifikacija u IFC shemi odnosi se na način na koji se semantičke informacije, funkcionalnosti i pravila pridružuju entitetima unutar EXPRESS jezika. EXPRESS omogućava specifikaciju određenih semantičkih značajki koje se mogu prikazati na entitete putem funkcija i pravila, kao i uz pomoć WHERE klauzula unutar entiteta. Međutim, ova funkcionalnost je u IFC shemi rijetko korištena, iako više od polovine entiteta ima WHERE klauzule. S obzirom na to da je značajna količina semantičkih informacija o entitetima dokumentirana u online priručnicima, moglo bi se uložiti veći napor u računalno interpretabilnu specifikaciju tih semantika.

Automatski prevodioci EXPRESS semantičkih informacija u druge programske jezike mogli bi omogućiti automatsko osiguranje funkcionalnosti u širokom rasponu softverskih alata. Ovaj pristup bi pomogao u održavanju dosljednosti i integritetu podataka, čime bi se poboljšala interoperabilnost između različitih softverskih rješenja. Jedan od aspekata semantičke kodifikacije je korištenje UNIQUE ključne riječi na atributima u shemi. Ova ključna riječ omogućava specifikaciju da ne smije biti dupliciranja vrijednosti atributa u modelu. Na primjer, GlobalId u IfcRoot predstavlja vrlo strogi zahtjev za jedinstvenost, jer identificira instance unutar skupa podataka koristeći globalno jedinstveni identifikator (IFC-GUID), koji se nikada ne smije mijenjati

tijekom životnog ciklusa objekta. Ova jedinstvenost omogućava spajanje, verzioniranje ili referenciranje podataka s drugih lokacija.

Iako nije iznenađujuće što se broj jedinstvenih atributa povećava s vremenom, zanimljivo je primijetiti da je u IFC 4 uloženo značajno napora u smanjenje broja tih jedinstvenih atributa. Prednost ovog smanjenja leži u provjeri dosljednosti i održavanju podataka unutar softverskog alata, gdje je potrebno manje truda da se osigura da jedinstveni atributi ostanu takvi. Mogući gubitak može biti u tome što se stavke koje bi trebale biti jedinstvene možda neće provoditi na taj način. Dok IFC 4 održava jedinstvene attribute za entitete kao što su `IfcApplication`, `IfcPropertyEnumeration` i `IfcRoot`, prethodni jedinstveni uvjeti za entitete poput `IfcActionRequest`, `IfcCostSchedule`, `IfcOrderAction`, `IfcPermit` i `IfcProjectOrder` su odbačeni. Na primjer, gdje je `IfcPermit` ranije imao obavezan jedinstveni `PermitId`, sada se nudi samo opcionalna Identifikacija putem `IfcControl` (Amor, 2015).

- **Skupine svojstava**

Korištenje skupina svojstava (Property Sets) postalo je dominantna značajka IFC sheme od verzije 2.x.2, pri čemu se u svakoj novoj verziji specificira sve veći broj skupina svojstava. Ove skupine omogućavaju fleksibilan način pohrane dodatnih informacija o entitetima, omogućujući proširenje i prilagodbu IFC sheme za različite primjene unutar AEC/FM industrije.

Međutim, povećanje broja skupina svojstava nije nužno povezano s proporcionalnim rastom broja jedinstvenih svojstava unutar tih skupina. To sugerira da, iako se broj skupina povećava, neka svojstva se ponavljaju ili su univerzalna za različite skupine, što može imati utjecaj na učinkovitost reprezentacije podataka.

Ovakav pristup, gdje informacije o instancama entiteta više ovise o skupinama svojstava nego o atributima unutar entiteta, može dovesti do smanjenja učinkovitosti pri obradi podataka. To je zbog toga što podaci nisu direktno povezani s entitetima, već se nalaze u zasebnim skupinama svojstava koje trebaju biti povezane s odgovarajućim entitetima. Ova struktura može rezultirati dodatnom kompleksnošću i duljim vremenom obrade podataka, što je važno uzeti u obzir prilikom implementacije i korištenja IFC sheme (Amor, 2015).

2.3.2.3. Ograničenja IFC sheme

Unatoč stalnom razvoju i unapređenju kroz godine, IFC shema i dalje pokazuje određena ograničenja koja otežavaju njezino široko usvajanje u praksi. Prvo ograničenje odnosi se na ograničenu pokrivenost. Iako je IFC shema s vremenom obogaćena dodavanjem novih entiteta kroz kontinuirane verzije, njezin opseg podrške ostaje ograničen na odabrane domene. Na primjer, prve verzije IFC-a bile su usmjerene na arhitektonsku domenu, pa su imale poteškoća u podržavanju entiteta iz drugih domena, poput infrastrukture. Prije uvođenja verzije IFC 4.3,

elementi mostova morali su se predstavljati koristeći privremene arhitektonske entitete ili elemente poput `IfcBuildingElementProxy`, što nije bilo dovoljno za precizno i ispravno predstavljanje mostovskih elemenata i njihovih svojstava. Ovakva ograničenja povećavaju rizik od pogrešaka i nedostataka pri razmjeni podataka između BIM aplikacija specifičnih za mostove, čime se smanjuje interoperabilnost podataka u infrastrukturnoj domeni.

Drugo ograničenje je zaostajanje za regionalnim praksama i razvojem novih tehnologija. IFC shema, koju distribuira `buildingSMART`, zamišljena je kao 'standardna' shema s općom primjenjivošću, zbog čega joj nedostaje fleksibilnost da uzme u obzir raznolike zakone, propise i standarde koji variraju među zemljama i regijama. Proces odobravanja novih iteracija sheme od strane `bSI Standards Committee`-ja često traje dugo, što otežava brzu integraciju novih tehnologija iz AEC/FM industrije u shemu. Ovisno o lokalnim uvjetima i stupnju zrelosti BIM-a, brzina usvajanja novih IFC verzija može se razlikovati od zemlje do zemlje. Institucije koje nemaju resurse za nadogradnju lokalnog softvera i procesa često se suočavaju s poteškoćama u praćenju najnovijih ažuriranja, što može dovesti do asinkronog korištenja IFC standarda.

Treće ograničenje odnosi se na selektivnu implementaciju sheme u softveru kompatibilnom s IFC-om. Glavni BIM alati dostupni danas pružaju različite razine podrške za Model View Definition (MVD) formate. Ti alati često pružaju podršku za najčešće korištene MVD-ove, ali ne uvijek za specijalizirane preglede, što može dovesti do nedosljednosti prilikom izvoza IFC datoteka. Različiti alati također mogu koristiti različite STEP funkcije za prevođenje IFC-a, što može rezultirati različitim strukturama i entitetima za istu vrstu informacija. Čak i kada su entiteti službeno objavljeni i ispravno korišteni, oni možda neće biti podržani u softveru koji je kompatibilan s IFC-om, što može dovesti do kritičnih nedostataka u razmjeni podataka.

Konačno, četvrto ograničenje je nepotpuna implementacija informacija specifičnih za određene domene. IFC sheme su kroz vrijeme dodavale nove specijalnosti u svoje domenske slojeve kako bi zadovoljile rastuće potrebe industrije. Međutim, iako su službeno objavljeni, entiteti i domene često nisu dovoljni za ispravno predstavljanje potrebnih semantičkih informacija i atributa specifičnih za određene discipline. Na primjer, entitet `IfcStructuralLoad`, koji je namijenjen za pohranu izlaznih vrijednosti strukturnih analiza, nije dovoljno detaljan da bi obuhvatio sve parametre koji se rutinski koriste u praksi, što ograničava njegovu primjenu i ukazuje na potrebu za prilagođenim IFC ekstenzijama (Yu, 2023).

2.3.2.4. Budućnost IFC sheme

Budućnost IFC sheme oblikovat će se kroz modernizaciju i prilagodbu potrebama koje proizlaze iz brzog tehnološkog razvoja u AEC industriji. Dosadašnji naponi na proširenju IFC sheme pokazali su različite pristupe u rješavanju njezinih ograničenja kako bi se zadovoljile potrebe za interoperabilnošću. Međutim, sve je jasnije da neka od tih ograničenja, koja su duboko ukorijenjena u samoj strukturi sheme, ne mogu biti riješena samo kroz proširenja.

Jedno od ključnih ograničenja koje je identificirano odnosi se na oslanjanje IFC-a na EXPRESS jezik za modeliranje, što ograničava prilagodljivost IFC sheme novim slučajevima upotrebe i tehnologijama, poput djelomičnih BIM ažuriranja, filtriranja podataka, brze razmjene informacija i primjene umjetne inteligencije ili strojnog učenja. Kao odgovor na te izazove, pokrenuta je inicijativa za razvoj IFC 5, koja za cilj ima modernizirati standardnu IFC shemu. IFC 5 naglašava modularnost, normalizaciju i neovisnost o jeziku, što omogućava širu kompatibilnost i fleksibilnost u predstavljanju podataka.

Jedan od ključnih ciljeva IFC 5 je poboljšanje kompatibilnosti s modernim okvirima kao što su UML, XML i JSON, čime će se pojednostaviti integracija IFC-a s suvremenim sustavima. To će omogućiti lakše i učinkovitije povezivanje BIM modela s novim tehnologijama i procesima u AEC industriji.

Pored toga, postoje izazovi vezani za interoperabilnost koje IFC shema sama po sebi možda neće moći riješiti. Jedno od mogućih rješenja je usvajanje CBIM (cloud-based BIM) pristupa, koji koristi pretvaranje BIM modela u RDF grafove i njihovo objedinjavanje u jedinstvenu, integriranu ontologiju. Ovakav pristup omogućava besprijekornu sinkronizaciju promjena između modela u različitim domenama, čime se osigurava dosljednost i smanjuju sukobi između različitih struka.

Budućnost razvoja IFC sheme bit će usmjerena na dublje promjene koje će omogućiti njezinu prilagodbu suvremenim zahtjevima, kao i na integraciju s novim tehnologijama koje se stalno razvijaju u AEC industriji. Ove inicijative pružaju uvid u smjer u kojem će se IFC shema razvijati kako bi ostala relevantna i korisna u budućnosti.

2.4. BIM razine razvijenosti

Razine razvijenosti BIM modela ključne su za pravilno upravljanje informacijama i postizanje željenih rezultata u građevinskim projektima. Različite razine razvijenosti omogućuju strukturirano prikazivanje informacija i osiguranje da svi sudionici u projektu razumiju opseg i detaljnost podataka koji su im dostupni. Ove razine uključuju Stupanj razrade elementa LOD (Level of Development) koji se sastoji od Razine detalja elementa LoD (Level of Detail) i Razine razvijenosti elementa LoI (Level of Information) te Razina potrebnih informacija LOIN (Level of Information Need).

2.4.1. Razina detalja elementa (LoD)

Razina detalja ili LoD (Level of Detail) u BIM modelu odnosi se na količinu informacija i preciznost detalja uključenih u modelirani element, neovisno o njegovoj pouzdanosti. LoD definira koliko je detalja sadržano u određenom elementu modela, što omogućava precizno predstavljanje fizičkih i funkcionalnih karakteristika građevinskih elemenata u različitim fazama projekta. Kroz povećanje LoD-a, modelirani elementi postaju sve detaljniji, pružajući dublji uvid u njihove dimenzije, materijale i druge važne atribute koji su relevantni za projektiranje, izgradnju i održavanje objekta.

LoD se obično koristi za označavanje različitih faza razvoja BIM modela, gdje svaki nivo detalja odgovara specifičnim potrebama i ciljevima u određenom stadiju projekta. Na primjer, niže razine detalja mogu biti dovoljne u ranim fazama dizajna, dok su veće razine detalja potrebne tijekom faze izgradnje i kasnijih operacija.

Dakle, LoD predstavlja ključni aspekt u definiranju koliko je model detaljan i koje informacije pruža u odnosu na stvarne građevinske elemente, omogućavajući sudionicima u projektu da bolje razumiju i upravljaju različitim aspektima projekta tijekom njegovog životnog ciklusa (Abualdenien i Borrmann, 2022).

Level of Detail (LoD) odnosi se na količinu vizualnih detalja koji su prikazani u BIM modelu i definira se rasponom brojeva od 0 do 3.

- **G0:** Model prikazuje osnovne obrise i volumene objekata, bez detaljnih informacija o unutrašnjosti ili specifičnim elementima. Ova razina se koristi za konceptualne prikaze i osnovnu analizu.
- **G1:** Uključuje dodatne detalje o vanjskim karakteristikama objekta, kao što su osnovne boje i teksture, ali još uvijek bez detaljnih prikaza unutarnjih elemenata i funkcionalnosti.
- **G2:** Model na ovoj razini prikazuje detaljne vizualne informacije, uključujući unutarnje komponente, teksture i materijale. Ova faza omogućuje realističnije prikaze i vizualizaciju objekta pogodne za gradnju.
- **G3:** Uključuje visoki stupanj detalja s prikazom specifičnih funkcionalnih elemenata i složenih značajki objekta. Ova razina je pogodna za detaljne prikaze u svrhu analize i prezentacije.

2.4.2. Razina razvijenosti elementa (LoI)

BIM Forum koristi izraz LoI (Level of Information) kako bi se referirao na odgovarajuću razinu detalja potrebnu za ne-grafičke podatke, poput performansi, materijala i informacija o održivosti, u svakoj fazi projekta. Ovo je ključan aspekt BIM-a budući da ne-grafički podaci mogu imati značajan utjecaj na učinkovitost i održivost građevinskog projekta. LoI predstavlja

količinu informacija koja treba biti dodana u metapodatke ili oznake imovine (BIMForum, 2024).

LoI je usko povezan i nadopunjuje LOD (Level of Development) specificirajući kvalitetu i pouzdanost informacija sadržanih u modelu. Dok LOD specificira geometrijske i vizualne detalje BIM elementa, LoI specificira razinu detalja i točnost ne-grafičkih podataka povezanih s tim elementom.

Koncept LoI-a je važan jer BIM model nije samo vizualna reprezentacija; radi se i o informacijama bogatim podacima koje podupiru dizajn, izgradnju i upravljanje objektima. LoI osigurava da BIM model sadrži potrebne podatke za donošenje informiranih odluka i olakšavanje suradnje među sudionicima projekta (Abualdenien i Borrmann, 2022).

2.4.3. Stupanj razrade elementa (LOD)

Stupanj razrade elementa ili LOD (Level of Development) odnosi se na stupanj detalja i preciznosti koji je prikazan u BIM modelu u različitim fazama projekta. LOD pomaže u definiranju što je uključeno u modelu i koliko su informacije detaljne, omogućujući svim sudionicima da razumiju opseg podataka i njihovu primjenjivost.

Stupanj razrade elementa (LOD) u BIM modelu predstavlja kombinaciju dva ključna aspekta: razinu detalja elementa (Level of Detail, LoD) i razine razvijenosti informacija (Level of Information, LOI). Dok LoD odnosi se na količinu i preciznost geometrijskih detalja sadržanih u modeliranom elementu, LoI se fokusira na alfanumeričke informacije, kao što su tehnički podaci, atributi i druge relevantne karakteristike koje prate geometriju.

Kombinacija LoD-a i LoI-a čini cjelokupni LOD, pružajući potpuniju specifikaciju koja omogućava precizniju i funkcionalniju reprezentaciju građevinskih elemenata u različitim fazama projekta. Geometrijski aspekti razvoja često se opisuju tekstualno i vizualizacijama, gdje su različite razine detalja prikazane kroz ilustracije specifične za pojedine tipove elemenata. Ove vizualne prezentacije služe kao važan referentni alat za kreatora modela, olakšavajući im razumijevanje i primjenu potrebne razine detalja.

S druge strane, specifikacija semantičkih informacija obično se prikazuje kroz tablične prikaze. Ovi prikazi definiraju koje atribute i informacije treba pružiti za određene elemente na svakoj razini razvoja. Na primjer, neki standardi, poput BIMForum-ove specifikacije, kombiniraju esencijalne semantičke informacije s geometrijskim opisima, pružajući detaljne upute za svojstva i njihove podatkovne tipove.

Na taj način, LOD predstavlja sveobuhvatan pristup koji omogućava da se BIM elementi definiraju i razvijaju s točno onom razinom detalja i informacijama koje su potrebne za različite faze projektiranja, izgradnje i upravljanja objektom (Abualdenien i Borrmann, 2022). Vizualna reprezentacija odnosna između LOD-a, LoD-a (LoG-a) i LoI-a dana je na slici ispod.

$$\text{LOD} = \text{LOG} + \text{LOI}$$

Slika 5.: Odnos LOD-a, LoD-a (LoG-a) i LoI-a (BibLus, 2024)

Razina razvoja (LOD) u BIM modeliranju je kategorizirana prema standardiziranim razinama koje pomažu u određivanju količine detalja i informacija sadržanih u modelu. Ove razine su definirane kako bi se osigurala jasna komunikacija i očekivanja među sudionicima u građevinskim projektima.

- **LOD 100 (Konceptualni model):** Ova razina predstavlja najosnovniji, konceptualni prikaz građevine. Elementi u modelu su generički, bez specifične geometrije ili detaljnog oblika. Model u ovoj fazi služi za opću procjenu veličine, površine i orijentacije objekta, bez preciznih mjera ili oblika.
- **LOD 200 (Približna geometrija):** Na ovoj razini, elementi u modelu imaju približnu geometriju i osnovne semantičke informacije. Oni služe kao generički nositelji za stvarne građevinske elemente, ali su još uvijek bez točne geometrije i detaljnih dimenzija. Ova razina je korisna za opću koordinaciju i ranu analizu.
- **LOD 300 (Precizna geometrija):** Ovdje elementi imaju točno definirane dimenzije, oblik, lokaciju i orijentaciju. Model na ovoj razini omogućava preciznije izračune, poput količina materijala, te je pogodan za stvaranje tehničke dokumentacije i osnovnih analiza izvedivosti.
- **LOD 350 (Dokumentacija za izgradnju):** Na ovoj razini, uz detaljnu geometriju, model uključuje i sučelja između različitih sustava unutar građevine. To omogućava detaljnu koordinaciju među disciplinama, uključujući detekciju i izbjegavanje kolizija. LOD 350 pomaže u stvaranju sveobuhvatne dokumentacije potrebne za izgradnju.
- **LOD 400 (Detaljiranje i montaža):** Model na ovoj razini sadrži informacije potrebne za proizvodnju, montažu i instalaciju elemenata. Geometrija je precizna, a model uključuje specifične detalje o metodama izrade i montaže, što je ključno za izvođače radova.
- **LOD 500 (Stvarno izvedeno stanje):** Ova razina predstavlja završni, verificirani prikaz izgrađenog objekta. Elementi su točno izmjereni na temelju terenskih podataka, te model odražava stvarno stanje objekta u pogledu veličine, oblika, lokacije, količine i orijentacije. LOD 500 je ključan za operacije i održavanje objekta, jer pruža najtočniju sliku stvarnog stanja (Ying *i dr.*, 2019)

Na slici ispod dan je primjer LOD-a (BIMForum, 2024).

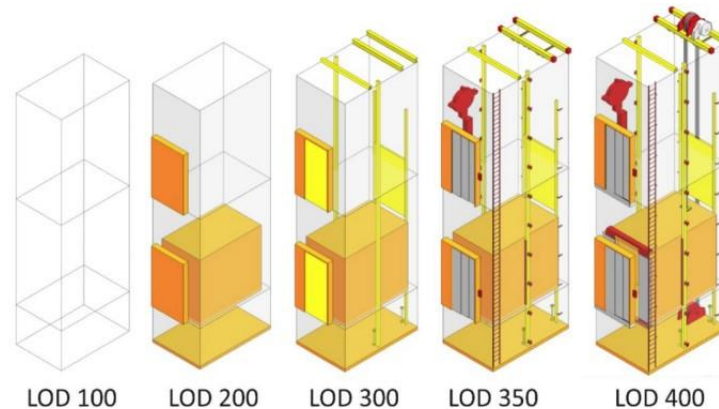
100	Vidi A10	
200		
300	<p>Sadrži:</p> <p>Dužinu Najveći vanjski radijus Utjecajnu površinu</p>	
350	<p>Sadrži:</p> <p>Spojni detalj na vrhu</p>	
400	<p>Sadrži:</p> <p>Pravi izgled</p>	

Slika 6.: Prikaz LOD-a vijka, Prilagođeno prema (BIMForum, 2024)

Na Slici 7. je prikazana progresija dizajna dizala kroz različite LOD razine.

- **LOD 100:** Dizalo je predstavljeno kao jednostavan oblik bez preciznih dimenzija ili materijala. Ovdje je lokacija, materijal i dimenzije još uvijek fleksibilna, što omogućava promjene u ranim fazama projektiranja.
- **LOD 200:** Dizalo ima generički omotač i prikaz putanja kretanja. Iako su dimenzije približno definirane, još uvijek nisu precizne, a detalji kao što su materijali i specifične komponente nisu prikazani.
- **LOD 300:** Prikazuju se dodatni detalji poput povezanih uređaja i strukturne potpore. Sada su definirani osnovni elementi poput dimenzija, što omogućava bolje razumijevanje prostora i osnovnih funkcionalnosti dizala.
- **LOD 350:** Na ovoj razini su modelirane i fiksirane dimenzije, staze, vodilice i zone pristupa. Model uključuje sve potrebne detalje za preciznu koordinaciju između različitih sustava i komponenata unutar zgrade.
- **LOD 400:** Prikazani su svi povezani dijelovi, podrška, okvir i ostale dopunske komponente. Dizalo je modelirano s punom preciznošću, uključujući sve veze i strukturne elemente potrebne za završetak montaže i instalacije.

Slika ispod pruža jasnu vizualizaciju kako se detalji dizajna razvijaju i preciziraju kroz različite faze LOD-a (BIMForum, 2020).



Slika 7.: Vizualna reprezentacija LOD-a (BIMForum 2020)

2.4.3.1. Usporedba LOD-a i LoD-a

Iako se pojmovi *Level of Development* (LOD) i *Level of Detail* (LoD) često koriste kao sinonimi, između njih postoji ključna razlika. Oba koncepta u nekim zemljama koriste istu ljestvicu od 100 do 500 za označavanje razine detaljnosti, no svaki od njih mjeri različit aspekt modela.

LoD opisuje količinu detalja prisutnih u modeliranom elementu, bez obzira na to koliko su ti podaci pouzdani. Drugim riječima, LoD se fokusira na geometrijsku složenost i vizualni izgled elementa.

LOD, s druge strane, odnosi se na količinu pouzdanih informacija koje su temeljito promišljene i potvrđene od strane sudionika projekta. To znači da element može biti vrlo detaljan prema LoD-u (npr. LoD 400), ali istovremeno imati nizak LOD (npr. LOD 200), što ukazuje na to da su informacije još uvijek nesigurne i podložne promjenama kako projekt napreduje.

Praktično gledano, ova razlika omogućava dizajnerima da istražuju različite opcije tijekom dizajna, dok su određene informacije još uvijek podložne reviziji. U kontekstu gradskih modela, koncept LoD-a je bolje prilagođen jer omogućava smanjenje geometrijske složenosti i prilagodbu modela za različite svrhe, poput arhiviranja, vizualizacije i analize, za razliku od LOD-a, koji je više fokusiran na razvoj informacija tijekom dizajna.

2.4.3.2. Usporedba popularnih LOD konceptata

Različiti koncepti razine razvoja (LOD) u BIM-u variraju ovisno o regiji i standardima, ali svi dijele zajednički cilj - definiranje razine detalja i informacija u modelima kroz različite faze projekta.

Danski koncept razine informacija temelji se na postepenom dodavanju detalja. Svaka strana u projektu postupno dodaje informacije u svoj model, povećavajući razinu detalja i preciznosti s vremenom. Modeli se zaključavaju na određenim prijelaznim fazama, što omogućava kontinuirani napredak i dosljednost u informacijama.

Vico Model Progression Specification (MPS) razvijen je kako bi definirao razine detalja od konceptualne do konačne izvedbe modela. Ovaj sustav koristi pet razina: od osnovne konceptualne (LOD 100) do detaljnog as-built modela (LOD 500), omogućavajući jasnu progresiju u razvoju modela.

AIA LOD sustav, razvijen od strane American Institute of Architects, uveo je koncept "Level of Development" kako bi preciznije definirao što se očekuje na svakoj razini razvoja modela. Ovaj koncept je kasnije evoluirao i proširen kroz više iteracija, s ciljem standardizacije i poboljšanja BIM prakse.

BIMForum LOD je proširio AIA-in sustav uvođenjem LOD 350, razine koja omogućava bolju koordinaciju između različitih disciplina. Ovaj koncept je dizajniran da poboljša suradnju i smanji nesuglasice između različitih strana u projektu.

U UK, RIBA Plan of Work i BSI PAS 1192-2 definiraju razine detalja (LOD) i informacija (LOI) kroz različite faze projekta. Ovaj sustav omogućava progresivno dodavanje kako grafičkih, tako i ne-grafičkih informacija tijekom cijelog trajanja projekta, osiguravajući da se sve potrebne informacije postupno razvijaju i integriraju (Van Berlo i Bomhof, 2014).

2.4.4. Razina potrebnih informacija (LOIN)

Razina potrebnih informacija ili LOIN (Level of Information Need) je okvir za definiranje kvalitete, količine i granularnosti informacija potrebnih za određenu svrhu unutar procesa BIM-a. Ovaj koncept pomaže u preciznom određivanju minimalnih informacijskih zahtjeva potrebnih za ispunjenje specifičnih ciljeva projekta, bez suvišnih podataka.

Glavna svrha LOIN-a je osigurati da se potrebne informacije komuniciraju jasno i učinkovito, kako bi se izbjegli rizici povezani s "prekomjernom definicijom" ili "nedovoljnom definicijom" informacijskih zahtjeva. Prekomjerna definicija može dovesti do nepotrebnog opterećenja informacija, dok nedovoljna definicija može uzrokovati manjak ključnih podataka potrebnih za donošenje odluka.

LOIN omogućava naručiteljima ili glavnim imenovanim stranama da definiraju specifične karakteristike informacija, uključujući njihovu kvalitetu, količinu i granularnost, na standardiziran način. S druge strane, pružatelji informacija koriste isti okvir kako bi osigurali da isporučeni podaci zadovolje definirane zahtjeve i da su strukturirani na način koji omogućava automatizirano provjeravanje.

Važno je napomenuti da različite svrhe mogu zahtijevati različite informacije, stoga se LOIN prilagođava svakoj specifičnoj situaciji. Definiranje LOIN-a bez jasne svrhe nije u skladu sa

standardom ISO 19650-1, koji naglašava važnost svrhovitosti u definiranju informacijskih potreba. Kroz korištenje LOIN-a, osigurava se konzistentna i učinkovita razmjena informacija unutar BIM procesa, omogućujući kvalitetniju i precizniju isporuku podataka na svim razinama projekta.

Razina potrebnih informacija (LOIN) ključna je za osiguranje uspješne razmjene informacija u svim fazama projekta. Unatoč tome, u praksi se često događa da se potreba za informacijama ili ne definira uopće, ili je definirana previše generički. To ostavlja prostor za različita tumačenja i otežava automatiziranu provjeru.

Primjerice, kada se razina informacija za određeni objekt, poput zračnog terminala u fazi izgradnje, definira samo kao "4", bez jasnog navođenja svrhe za koju će se objekt koristiti ili koje su specifične alfanumeričke informacije potrebne (npr. frekvencija zvuka, tlak zvuka, naziv proizvođača), takva definicija nije dovoljna za uspostavljanje automatiziranih pravila provjere. Ovo otvara prostor za različita tumačenja, što povećava rizike za projekt.

Ako se okvir za definiranje razine potrebnih informacija ne koristi ispravno, različite strane nastaviti će specificirati neadekvatne informacijske zahtjeve, što će rezultirati povećanim rizicima za projekt i nepotrebnom proizvodnjom informacija.

Definiranje razine potrebnih informacija (LOIN) ključno je za osiguranje da sve strane uključe relevantne i precizne podatke u projektne modele, kao što su Projektni informacijski model (PIM) i Model informacija o imovini (AIM). Prema standardu ISO 19650-1, LOIN se definira kroz tri glavne komponente: geometrijske informacije, alfanumeričke informacije i dokumentaciju. Svaka od ovih komponenti detaljno je opisana u standardu BS EN ISO 7817-1.

Strana koja postavlja zahtjeve, poput investitora ili glavnog izvođača, treba jasno specificirati svrhu zbog koje su informacije potrebne. Nakon definiranja svrhe, potrebno je precizirati geometrijske i alfanumeričke informacije, kao i pripadajuću dokumentaciju koja će osigurati ispunjenje te svrhe. Ovakav pristup omogućuje dosljedno korištenje prikupljenih informacija u skladu s ciljevima projekta, smanjujući rizik od nejasnoća i olakšavajući automatiziranu provjeru ispravnosti podataka.

Razina potrebnih informacija (LOIN) definira se u okviru informacijskog standarda projekta, gdje se razmatra način njezinog određivanja, kako je navedeno u ISO 19650-2, klauzula 5.1.4 c). Osim toga, okvir za razinu potrebnih informacija koristi se za komunikaciju informacijskih zahtjeva u dokumentima za razmjenu informacija (Exchange Information Requirements, EIR), prema ISO 19650-2, klauzula 5.2.1 b) i odjeljak 1.5.6. Konačno, ovaj okvir koristi se i u planovima isporuke informacija o zadacima (Task Information Delivery Plans, TIDP) kako bi se zabilježilo što se radi, prema ISO 19650-2, klauzula 5.4.4 i ISO 19650 Vodič F, Planiranje isporuke informacija, odjeljak 4.4.

Na slici ispod objašnjen je koncept LOIN-a.



Slika 8.: Koncept LOIN-a, Prilagođeno prema (Churchill, 2024)

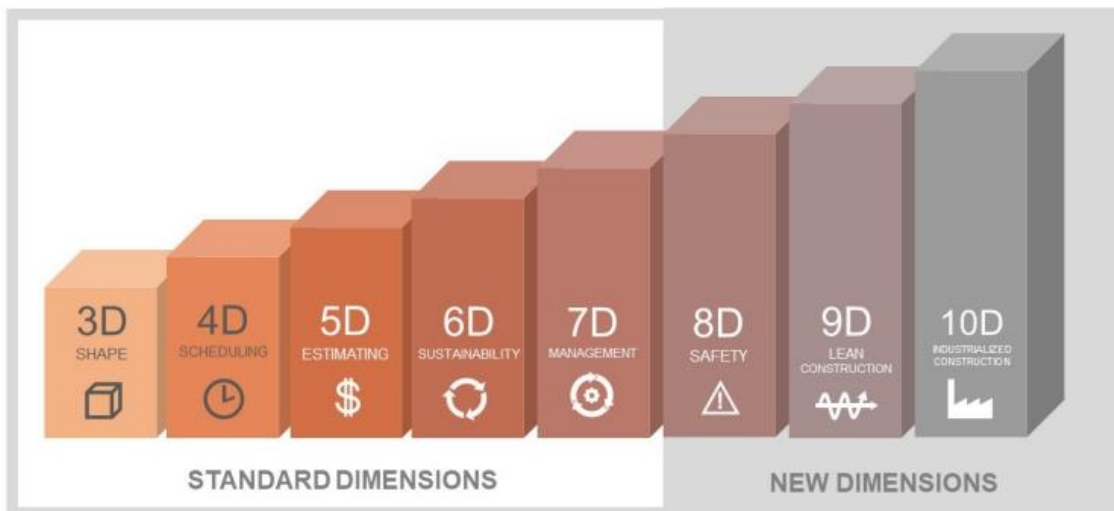
2.5. BIM dimenzije

BIM modeli mogu integrirati različite dimenzije informacija, čime se omogućuje sveobuhvatno planiranje, projektiranje, izgradnja i upravljanje građevinskim projektima. Svaka dodatna dimenzija nadilazi osnovne 3D prostorne informacije, pružajući dodatne slojeve podataka koji poboljšavaju učinkovitost i kvalitetu projekata. Slijede opisi različitih dimenzija BIM modela.

BIM (Building Information Modeling) značajno se razlikuje od tradicionalnih 3D CAD modela, koji prikazuju objekte samo kroz neovisne 3D prikaze poput planova, presjeka i fasada. U 3D CAD modelima, svaka promjena u jednom prikazu zahtijeva ažuriranje svih drugih prikaza, a podaci su predstavljeni samo kao grafičke entitete poput linija, lukova i krugova. S druge strane, BIM integrira semantički bogate informacije koje se odnose na objekt tijekom cijelog životnog ciklusa, uključujući sve geometrijske i funkcionalne karakteristike. Umjesto jednostavnih grafičkih prikaza, BIM koristi "pametne objekte" koji sadrže sve relevantne parametre i informacije. Na primjer, modul ventila ili cijevi unutar BIM modela ne uključuje samo geometrijske dimenzije, već i funkcionalna svojstva kao što su materijal, dobavljač, zahtjevi za održavanje, trošak i vrijeme isporuke. Ova značajka omogućuje svim dionicima pristup informacijama i kombinacijama informacija koje ranije nisu bile lako dostupne, pružajući time novu razinu efikasnosti i transparentnosti u upravljanju projektima (Ding i dr., 2024).

Različite BIM dimenzije vizualno su reprezentirane na slici ispod.

DIMENSIONS OF BIM



Slika 9.: BIM dimenzije (Biblus, 2024)

Osnovna dimenzija BIM modela je trodimenzionalni prikaz (3D) koji omogućuje vizualizaciju prostornih karakteristika građevinskog objekta. 3D modeli predstavljaju geometriju i prostornu konfiguraciju zgrada, uključujući sve elemente i komponente. Oni omogućuju arhitektima, inženjerima i drugim sudionicima u projektu detaljno razumijevanje prostora, olakšavajući time proces dizajniranja i planiranja.

Četvrta dimenzija (4D) BIM modela dodaje vremensku komponentu trodimenzionalnom modelu, omogućujući simulaciju građevinskih procesa kroz vrijeme. Ova dimenzija nije samo dodatak vizualnoj složenosti modela već predstavlja ključni alat za planiranje i praćenje dinamike izgradnje. Integracija vremenskog aspekta u BIM model pomaže identificirati potencijalne probleme i sukobe prije nego što se pojave na gradilištu te omogućuje optimizaciju rasporeda i resursa. Izrada 4D modela je sljedeća:

- **Izrada osnovnog 3D modela:** Prvi korak u izradi 4D modela je stvaranje detaljnog 3D BIM modela. Ovaj model uključuje sve arhitektonske, građevinske, strojarske i električne komponente projekta. 3D model služi kao baza za dodavanje vremenske dimenzije.
- **Definiranje vremenskog rasporeda:** Sljedeći korak je izrada detaljnog vremenskog rasporeda građevinskih aktivnosti. To uključuje definiranje svih faza izgradnje, od pripreme terena do završnih radova. Vremenski raspored može biti izrađen u softveru za upravljanje projektima kao što su Microsoft Project ili Primavera P6.
- **Povezivanje 3D modela s vremenskim rasporedom:** Nakon što su 3D model i vremenski raspored spremni, slijedi njihov međusobni povezivanje. Svaki element 3D modela se povezuje s odgovarajućom aktivnošću u vremenskom rasporedu. Ovo se

može izvesti pomoću specijaliziranog softvera za 4D modeliranje kao što su Navisworks, Synchro ili Vico Office.

- **Simulacija građevinskih procesa:** Povezivanjem 3D modela i vremenskog rasporeda, softver omogućuje simulaciju građevinskih procesa kroz vrijeme. Ova simulacija pruža vizualni prikaz kako će se projekt razvijati dan po dan, tjedan po tjedan ili mjesec po mjesec. Tako se mogu uočiti potencijalni problemi kao što su sukobi u rasporedu, neodgovarajuća koordinacija resursa ili nedovoljno vremena za određene aktivnosti.
- **Analiza i optimizacija:** Kroz simulaciju se provodi analiza mogućih problema i identificiraju područja koja zahtijevaju optimizaciju. U ovoj fazi se vrše prilagodbe rasporeda, resursa i logistike kako bi se osiguralo da sve aktivnosti teku glatko. Optimizacija može uključivati promjenu redoslijeda aktivnosti, preraspodjelu resursa ili prilagodbu vremenskih rokova.
- **Praćenje napretka:** Tijekom izgradnje, 4D model se koristi za praćenje napretka. Uspoređuju se stvarni napredak na gradilištu s planiranim rasporedom. Ova usporedba omogućuje pravovremenu identifikaciju odstupanja i donošenje korektivnih mjera kako bi se projekt vratio u planirane okvire (Dadashi Haji i dr., 2021).

Peta dimenzija (5D) odnosi se na povezivanje troškova s modelom projekta, omogućujući preciznije upravljanje troškovima kroz cijeli životni ciklus projekta. Ova dimenzija BIM-a omogućava izvođenje analiza scenarija, automatsko generiranje količina materijala i planiranje troškova u realnom vremenu. Korištenje 5D BIM-a značajno olakšava upravljanje promjenama u dizajnu te pomaže procjeniteljima troškova da optimiziraju svoje radne procese. Iako 5D BIM donosi mnoge prednosti, poput preciznog određivanja troškova i bolje vizualizacije projekta, njegova primjena još uvijek je ograničena zbog nesigurnosti i nepotpunosti podataka u modelima (Charef i dr., 2018).

Šesta dimenzija (6D) proširuje tradicionalne dimenzije modeliranja uključivanjem aspekata energetske učinkovitosti, simulacije i održivosti. Ova dimenzija fokusira se na ekološke i energetske aspekte građevinskih objekata, pružajući alate za analizu i optimizaciju energetske učinkovitosti zgrada te smanjenje utjecaja na okoliš. Kroz 6D modeliranje, projektanti i investitori mogu simulirati kako će zgrada funkcionirati tijekom svog životnog ciklusa, uključujući učinkovitost održavanja i dugovječnost materijala. Ova pristup omogućava bolje planiranje i implementaciju održivih praksi, čime se doprinosi smanjenju ekološkog otiska i povećanju dugoročne održivosti objekta. (Montiel-Santiago, 2020).

Sedma dimenzija (7D) odnosi se na integraciju informacija o održavanju i upravljanju građevinom tijekom cijelog njenog životnog ciklusa. Primjena 7D BIM-a omogućuje stvaranje modela koji sadrži detaljne podatke potrebne za fazu korištenja i održavanja izgrađenog objekta. Ovi modeli obuhvaćaju dodatne informacije kao što su certifikati, izvješća, garancije, te upute za održavanje i rukovanje, čime pružaju osnovu za učinkovito upravljanje objektom. Korištenje 7D BIM-a omogućuje praćenje i analizu performansi zgrade u različitim uvjetima, uključujući ekonomske, društvene i ekološke aspekte koji se mogu mijenjati tijekom vremena. Ova dimenzija pomaže u prepoznavanju i upravljanju neizvjesnostima i promjenama koje mogu

utjecati na projektnu izvedbu, od faze projektiranja do fizičkog post-occupancy procesa. Time se poboljšava sposobnost identifikacije i reakcije na potencijalne probleme, čime se povećava dugoročna održivost i učinkovitost objekta (Kapogiannis i dr., 2015).

Osma dimenzija (8D) fokusira se na zaštitu na radu i sigurnosne aspekte tijekom izgradnje. 8D BIM modeli uključuju podatke o sigurnosnim protokolima, identifikaciji rizika i mjerama zaštite na radu. Integracija sigurnosnih informacija u BIM modele pomaže u prevenciji nezgoda i osigurava sigurnost radnika na gradilištu.

Deveta dimenzija (9D) odnosi se na primjenu Lean metodologije u građevinskim projektima. 9D BIM modeli omogućuju analizu i optimizaciju građevinskih procesa prema principima Lean Constructiona, koji uključuju eliminaciju otpada, poboljšanje učinkovitosti i maksimizaciju vrijednosti za krajnjeg korisnika. Ova dimenzija podržava kontinuirano unapređenje i povećanje produktivnosti u građevinskoj industriji.

Deseta dimenzija (10D) uključuje industrijalizaciju građevinskih procesa, što podrazumijeva primjenu prefabrikacije, modularne gradnje i drugih naprednih tehnika. 10D BIM modeli podržavaju integraciju tih metoda, omogućujući bržu i učinkovitiju izgradnju s manje otpada i boljom kontrolom kvalitete. Industrijalizacija građevinskih procesa pomaže u postizanju viših standarda kvalitete i održivosti (Ocean, 2020).

2.6. Klasifikacijski sustavi

Klasifikacijski sustavi igraju ključnu ulogu u građevinskoj industriji, posebno u kontekstu upravljanja informacijama tijekom cijelog životnog ciklusa objekata. Razvijeni su kako bi se osigurala standardizacija i olakšala razmjena podataka između različitih sudionika u projektima. Međunarodni standardi, kao što su ISO 12006-2:2020 i ISO 19650-1, pružaju okvir za razvoj ovih klasifikacijskih sustava. ISO 12006-2:2020 definira osnovne smjernice za izradu klasifikacijskih sustava, omogućujući harmonizaciju na globalnoj razini, dok ISO 19650-1 daje smjernice za upravljanje informacijama u BIM okruženju. Ovi standardi ne predstavljaju sami po sebi klasifikacijske sustave, već pružaju osnovu za njihovu izradu i primjenu, osiguravajući da se podaci učinkovito razmjenjuju i koriste tijekom cijelog životnog ciklusa objekta (Sadrinooshabadi i dr., 2020). ISO 12006-2:2022 je međunarodni standard koji postavlja okvir za razvoj klasifikacijskih sustava u građevinskom sektoru. Ovaj standard ne predstavlja klasifikacijski sustav sam po sebi, već pruža smjernice za organizacije koje razvijaju i objavljuju takve sustave. ISO 12006-2:2020 definira skup preporučenih naslova klasifikacijskih tablica za različite informacijske objekte prema specifičnim perspektivama, kao što su oblik ili funkcija. Također, pokazuje kako su klase objekata klasificirane u svakoj tablici povezane unutar sustava i podsustava, primjerice unutar informacijskog modela. Primjena ovog standarda olakšava harmonizaciju klasifikacijskih sustava na globalnoj razini, omogućujući njihovu primjenu kroz cijeli životni ciklus građevinskih projekata, od planiranja i projektiranja, do izgradnje, održavanja i rušenja. (Hrvatski zavod za norme, 2020)

U tom smislu, u ovom ćemo poglavlju biti usmjereni na slijedeća tri sustava: UniClass, MasterFormat i UniFormat, s posebnim naglaskom na UniFormat, koji je korišten u BIM modelu ovog diplomskog rada.

2.6.1. UniClass

UniClass je sustav za klasifikaciju informacija u građevinarstvu, razvijen od strane organizacije National Building Specification (NBS) u Ujedinjenom Kraljevstvu, a priznat je i na međunarodnoj razini. Ovaj sustav klasifikacije obuhvaća širok raspon kategorija koje se temelje na standardu ISO 12006-2, uključujući građevinske komplekse, entitete, prostore, elemente, građevinske informacije, uloge, procese upravljanja projektima, građevinske proizvode i pomagala. UniClass ima složenu hijerarhijsku strukturu u kojoj svojstva objekata postaju dijelovi različitih klasa. Trenutno sadrži više od 14.000 klasa koje klasificiraju zgrade i njihove komplekse, prostore, funkcionalne sustave te procese životnog ciklusa zgrada, kao i specifične elemente građevinskih struktura i inženjerskih sustava s odgovarajućim svojstvima (Pupeikis i dr., 2022).

UniClass služi kao jedinstveni sustav klasifikacije koji grupira slične elemente u niz tablica, olakšavajući dosljedno organiziranje i pretraživanje informacija. Hijerarhijska struktura tablica omogućava korisnicima klasifikaciju na svim razinama, od velikih sustava poput hotelskih kompleksa ili cestovnih mreža, do manjih proizvoda poput čavala ili opeke. Osim toga, UniClass podržava procese upravljanja informacijama, upravljanje projektima i komunikaciju.

Njegova svrha je osigurati dosljednu klasifikaciju tijekom cijelog životnog ciklusa građevina, infrastrukturnih objekata i krajobraznih značajki. UniClass se može koristiti za klasifikaciju postojećih mreža zgrada, mostova, vodnih putova i tunela, te za dodjeljivanje dosljednih referenci svemu. Inženjerski i arhitektonski timovi koriste UniClass za strukturiranje specifikacija i povezivanje objekata s NBS specifikacijama, te za dosljedno označavanje crteža (Uniclass NBS, 2024).

UniClass funkcionira kao sveobuhvatan alat za klasifikaciju građevinskog okoliša kroz cijeli životni ciklus projekta. Klasifikacijske tablice u UniClassu pokrivaju širok spektar kategorija, uključujući aktivnosti, komplekse, elemente, entitete, opremu, funkcije, lokacije, proizvode, uloge, prostore i sustave. Ovaj sustav klasifikacije podržava sve faze životnog ciklusa projekta, od koncepta i dizajna, preko izgradnje i upravljanja imovinom, do ponovne uporabe, rušenja i upravljanja zemljištem.

UniClass tablice predstavljaju skup klasifikacija koje su grupirane u logičke aranžmane, organizirane kako bi pružile sve detaljnije opise i podržale specifične aspekte upravljanja imovinom, građevinskim projektima i procesima podataka. Ove tablice su u skladu s međunarodnim standardima, posebno s ISO 12006-2, koji definira okvir za razvoj klasifikacijskih sustava u građevinskoj industriji. Time se osigurava dosljednost i mogućnost povezivanja s drugim klasifikacijskim sustavima .

UniClass tablice obuhvaćaju:

- **Activities (Ac)** - Aktivnosti
- **Complexes (Co)** - Kompleksi
- **Entities (En)** - Entiteti
- **Spaces/locations (SL)** - Prostori/lokacije
- **Elements/functions (EF)** - Elementi/funkcije
- **Systems (Ss)** - Sustavi
- **Products (Pr)** - Proizvodi
- **Tools and equipment (TE)** - Alati i oprema
- **Project Management (PM)** - Upravljanje projektima
- **Form of information (FI)** - Oblik informacija
- **Roles (Ro)** - Uloge
- **Materials (Ma)** - Materijali
- **Properties & characteristics (PC)** - Svojstva i karakteristike
- **CAD and modelling content (Zz)** - CAD i sadržaj modeliranja

Ove tablice omogućuju korisnicima da klasificiraju imovinu na visokoj razini i postupno dodaju detaljnije stavke na najprikladniju razinu za njihove potrebe.

Zamislimo bolnicu kao primjer. S visine možemo vidjeti cijeli bolnički kompleks (Complexes - Co), koji se sastoji od različitih entiteta (Entities - En) poput glavne zgrade bolnice, laboratorija, hitnog prijema i parkirališta. Unutar ovih entiteta nalaze se prostori i lokacije (Spaces/locations - SL), kao što su operacijske sale, sobe za pacijente, kantine i konferencijske dvorane, u kojima se odvijaju različite aktivnosti (Activities - Ac) poput operacija, liječenja, konzultacija i obrazovanja medicinskog osoblja. Elementi i funkcije (Elements/functions - EF) kao što su zidovi, podovi, ventilacijski sustavi i rasvjeta definiraju te prostore, dok različiti sustavi (Systems - Ss) kao što su sigurnosni sustavi, sustavi za gašenje požara i medicinska oprema omogućuju funkcioniranje bolnice. Unutar svakog sustava postoje proizvodi (Products - Pr), poput kirurških stolova, kreveta, monitora za praćenje vitalnih znakova i rasvjetnih tijela. Za upravljanje projektom i informacijama koriste se tablice za upravljanje projektom (Project Management - PM), uloge (Roles - Ro), te oblici informacija (Form of information - FI), osiguravajući pravilno vođenje i dokumentiranje svih faza životnog ciklusa bolnice, od izgradnje do redovnog održavanja i eventualne ponovne uporabe ili rušenja (Uniclass NBS,2024).

Uniclass kodovi su strukturirani u formatu koji omogućuje detaljnu i organiziranu klasifikaciju elemenata unutar građenog okruženja. Svaki kod započinje s dva slova koja označavaju kojoj

tablici taj element pripada. Na primjer, "Co_" označava komplekse (Complexes), "Ss_" sustave (Systems), a "Pr_" proizvode (Products).

Kodovi su složeni od dvije oznake i do četiri para brojeva koji omogućuju sve detaljniju klasifikaciju. Kraći kodovi, poput onih u tablici Form of Information, obično imaju manje stavki i koriste kraće kodove, dok složeniji sustavi, poput onih u tablicama Systems i Products, koriste puni format s četiri para brojeva (Uniclass NBS,2024).

Na primjer, kod Ss_30_10_30_25 označava:

- **Ss_30:** Skupina koja se odnosi na sustave krova, poda i popločenja (Roof, floor, and paving systems).
- **Ss_30_10:** Podskupina koja definira sustave krovnih struktura (Roof structure systems).
- **Ss_30_10_30:** Sekcija koja se odnosi na okvirne sustave krovnih struktura (Framed roof structure systems).
- **Ss_30_10_30_25:** Objektivi kod koji precizira teške čelične sustave krovnih okvira (Heavy steel roof framing systems).

2.6.2. MasterFormat

MasterFormat je standard za organizaciju i komunikaciju informacija o građevinskim projektima, kojeg je razvila i održava Construction Specifications Institute (CSI), neprofitna organizacija osnovana 1948. godine. CSI okuplja više od 6.000 članova posvećenih unapređenju komunikacije u građevinskoj industriji putem razvoja i transformacije standarda, edukacije te certificiranja profesionalaca. Cilj CSI-a je poboljšanje procesa isporuke projekata kako bi se postigli ciljevi vlasnika objekata. MasterFormat je alat koji pomaže profesionalcima u građevinskoj industriji da organiziraju i komuniciraju informacije o građevinskim projektima. Sastoji se od popisa brojeva i naslova organiziranih u 50 divizija, koje pokrivaju sve aspekte građevinskih projekata, od betona i zidarskih radova do električnih instalacija (CSI, 2024).

MasterFormat je podijeljen u 50 divizija, pri čemu svaka divizija predstavlja različit aspekt građevinskih radova, kao što su beton, metali ili električni sustavi. Unutar svake divizije nalaze se podkategorije koje pružaju specifičnije informacije. Na primjer, Divizija 05 - Metali uključuje podkategorije kao što su konstrukcijski metalni okviri, metalne palube i ukrasni metal. Ovaj sustav omogućuje profesionalcima da brzo i učinkovito pronađu potrebne informacije.

MasterFormat donosi brojne koristi profesionalcima u građevinskoj industriji. Pruža konzistentan i standardiziran format za organizaciju građevinskih informacija, čime se olakšava komunikacija među sudionicima projekta. Također, omogućuje profesionalcima da brzo pronađu i pristupe potrebnim informacijama, štedeći vrijeme i smanjujući mogućnost grešaka. Osim toga, MasterFormat doprinosi jasnijem razumijevanju opsega radova za svaki projekt, osiguravajući da su svi sudionici na istoj stranici. Korištenjem ovog sustava, profesionalci mogu osigurati da su njihovi građevinski dokumenti i specifikacije usklađeni s industrijskim standardima i propisima. Iako je MasterFormat vrlo koristan alat, njegovo korištenje može biti izazovno, posebno za one koji su novi u građevinskoj industriji. Također, ponekad nije ažuriran

da odražava najnovije promjene u industriji, što ga može učiniti manje relevantnim za određene projekte (Haekyung i dr., 2021).

2.6.3. UniFormat

UniFormat je klasifikacijski sustav razvijen za organizaciju informacija prema funkcionalnim elementima građevinskog objekta, umjesto prema tradicionalnim građevinskim disciplinama ili materijalima. Koristi se u građevinskoj industriji u Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi. Ovaj standard organizira građevinske specifikacije, procjene troškova i analize troškova, temeljeći se na glavnim komponentama koje su zajedničke većini zgrada. Ovaj sustav omogućuje organizaciju informacija na način koji odražava funkcionalne cjeline građevinskog objekta, kao što su temelji, zidovi, stropovi i sustavi zgrade. UniFormat je posebno koristan u ranim fazama projektiranja, kada su funkcionalni zahtjevi i performanse objekta važniji od specifičnih materijala i komponenti. Ovaj klasifikacijski sustav se koristio pri izradi BIM modela stoga će biti detaljnije obrađen.

UniFormat je podijeljen na nekoliko glavnih kategorija, od kojih svaka predstavlja funkcionalnu cjelinu građevinskog objekta. Te kategorije uključuju:

- **A – Potporni i prateći objekti:** Temelji, potporne konstrukcije, pristupni putevi.
- **B – Superstruktura:** Zidovi, stropovi, krovovi.
- **C – Instalacije:** Elektroinstalacije, vodoinstalacije, HVAC sustavi.
- **D – Unutarnja konstrukcija:** Pregradni zidovi, podovi, stropovi.
- **E – Oprema i namještaj:** Ugrađena oprema, namještaj, specijalizirani sustavi.
- **F – Usluge zgrade:** Sigurnosni sustavi, komunikacijski sustavi, upravljanje energijom.

UniFormat omogućuje preciznu organizaciju informacija unutar BIM modela prema funkcionalnim elementima, što olakšava analizu performansi i optimizaciju dizajna. Ovaj pristup je posebno koristan u ranim fazama projektiranja, kada je potrebno procijeniti funkcionalne zahtjeve i performanse bez ulaska u detalje specifičnih materijala i komponenti (CSI, 2024).

Na slici ispod prikazana je klasifikacija prema UniFormatu.

Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual Elements
A SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations A1020 Special Foundations A1030 Slab on Grade
	A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation A2020 Basement Walls
B SHELL	B10 Super Structure	B1010 Floor Construction B1020 Roof Construction
	B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls B2020 Exterior Windows B2030 Exterior Doors
	B30 Roofing	B3010 Roof Coverings B3020 Roof Openings
C INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions C1020 Interior Doors C1030 Fittings
	C20 Stairs	C2010 Stair Construction C2020 Stair Finishes
	C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes C3020 Floor Finishes C3030 Ceiling Finishes
D SERVICES	D10 Conveying	D1010 Elevators & Lifts D1020 Escalators & Moving Walks D1090 Other Conveying Systems
	D20 Plumbing	D2010 Plumbing Fixtures D2020 Domestic Water Distribution D2030 Sanitary Waste D2040 Rain Water Drainage D2090 Other Plumbing Systems
	D30 HVAC	D3010 Energy Supply D3020 Heat Generating Systems D3030 Cooling Generating Systems D3040 Distribution Systems D3050 Terminal & Package Units D3060 Controls & Instrumentation D3070 Systems Testing & Balancing D3090 Other HVAC Systems & Equipment
	D40 Fire Protection	D4010 Sprinklers D4020 Standpipes D4030 Fire Protection Specialties D4090 Other Fire Protection Systems
	D50 Electrical	D5010 Electrical Service & Distribution D5020 Lighting and Branch Wiring D5030 Communications & Security D5090 Other Electrical Systems
E EQUIPMENT & FURNISHINGS	E10 Equipment	E1010 Commercial Equipment E1020 Institutional Equipment E1030 Vehicular Equipment E1090 Other Equipment
	E20 Furnishings	E2010 Fixed Furnishings E2020 Movable Furnishings
F SPECIAL CONSTRUCTION & DEMOLITION	F10 Special Construction	F1010 Special Structures F1020 Integrated Construction F1030 Special Construction Systems F1040 Special Facilities F1050 Special Controls and Instrumentation
	F20 Selective Building Demolition	F2010 Building Elements Demolition F2020 Hazardous Components Abatement

Slika 10.: UniFormat klasifikacijski sustav (Abdelalim, 2023)

2.6.4. OmniClass

OmniClass je klasifikacijski sustav koji je razvijen u Sjedinjenim Američkim Državama i namijenjen za uporabu u građevinskoj industriji. Sastoji se od 15 tablica koje pokrivaju razne kategorije, uključujući elemente, prostore, aktivnosti, faze projekta i resurse. OmniClass Construction Classification System, poznat kao OmniClass ili OCCS, predstavlja sveobuhvatan sustav za organiziranje i dohvaćanje informacija specifičnih za građevinsku industriju. Razvijen od strane iste organizacije koja je stvorila MasterFormat i UniFormat, OmniClass integrira ove sustave kako bi pružio standardiziran okvir za klasifikaciju podataka tijekom cijelog životnog ciklusa objekata, od koncepcije do demontaže ili ponovne upotrebe.

OmniClass se sastoji od 15 hijerarhijskih tablica, od kojih svaka predstavlja različit aspekt građevinskih informacija. Svaka tablica može se koristiti samostalno za klasificiranje određenih

informacija ili se mogu kombinirati s drugim tablicama za složenije klasifikacije (Leite i Akinci, 2012).

Tablice OmniClass uključuju:

- **Jedinice građevinskih objekata prema funkciji (Construction Entities by Function)- Tablica 11**
Ova tablica obuhvaća značajne, definirane jedinice građevinskog okoliša koje se sastoje od elemenata i međusobno povezanih prostora, te se karakteriziraju funkcijom.
- **Jedinice građevinskih objekata prema obliku (Construction Entities by Form) - Tablica 12**
Ova tablica klasificira značajne građevinske jedinice prema njihovom obliku, uključujući elemente i povezane prostore.
- **Prostori prema funkciji (Spaces by Function) - Tablica 13**
Osnovne jedinice građevinskog okoliša definirane fizičkim ili apstraktnim granicama, karakterizirane funkcijom.
- **Prostori prema obliku (Spaces by Form) - Tablica 14**
Osnovne jedinice građevinskog okoliša definirane fizičkim ili apstraktnim granicama, karakterizirane fizičkim oblikom.
- **Komponente (uključuje dizajnirane komponente) (Elements (includes Designed Elements)) - Tablica 21**
Glavne komponente, sklopovi ili dijelovi građevinskih entiteta koji ispunjavaju prevladavajuću funkciju, kao što su podrška, oblaganje, opskrba i opremanje objekta.
- **Rezultati rada (Work Results) - Tablica 22**
Rezultati izgradnje postignuti u proizvodnoj fazi ili kroz promjene, održavanje ili demontažu, identificirani prema vještinama, resursima, dijelovima entiteta i pripadajućim radovima.
- **Proizvodi (Products) - Tablica 23**
Komponente ili sklopovi za trajnu ugradnju u građevinske entitete.
- **Faze (Phases) - Tablica 31**
Faze životnog ciklusa koje obuhvaćaju glavne segmente projekta, uključujući koncepciju, odabir isporuke projekta, dizajn, dokumentaciju, nabavu, izvedbu, korištenje i zatvaranje.
- **Usluge (Services) - Tablica 32**
Aktivnosti, procesi i procedure povezani s dizajnom, izgradnjom, održavanjem, renoviranjem, demontažom i svim drugim funkcijama tijekom životnog ciklusa građevinskog entiteta.
- **Discipline (Disciplines) - Tablica 33**
Praktična područja i specijalnosti sudionika koji provode procese i procedure tijekom životnog ciklusa građevinskog entiteta.
- **Organizacijske uloge (Organizational Roles) - Tablica 34**
Funkcionalne pozicije koje zauzimaju sudionici, pojedinci i grupe, koji obavljaju procese i procedure tijekom životnog ciklusa građevinskog entiteta.

- **Alati (Tools) - Tablica 35**

Resursi korišteni za razvoj dizajna i izgradnju projekta koji nisu trajni dio objekta, uključujući računalne sustave, vozila, scaffoldinge i druge potrebne stavke.

- **Informacije (Information) - Tablica 36**

Podaci referencirani i korišteni tijekom procesa stvaranja i održavanja građevinskog okoliša.

- **Materijali (Materials) - Tablica 41**

Tvari korištene u građevini ili za proizvodnju proizvoda i drugih stavki, bez obzira na njihovu formu.

- **Svojstva (Properties) - Tablica 49**

Mjerljive ili definiran karakteristike građevinskih entiteta (CSI, 2024).

3. ANALIZA STUDIJE SLUČAJA

Fokus ovog poglavlja je detaljno ispitivanje ključnih ulaznih podataka koji su temelj za kreiranje sveobuhvatnih 3D i 4D BIM modela. Kroz tehnički opis građevine, pružit ćemo iscrpan pregled svih bitnih karakteristika objekta. To uključuje detalje o arhitektonskoj strukturi, upotrijebljenim materijalima, instalacijama te funkcionalnim i estetskim elementima. Ovaj tehnički opis predstavlja osnovu za precizno modeliranje svakog elementa građevine, čime se osigurava točnost i pouzdanost rezultata u daljnjim fazama rada.

Osim tehničkog opisa, analizirat ćemo i već izrađeni vremenski plan građevinskih radova, koji služi kao temelj za izradu 4D modela. Vremenski plan, izrađen u svrhu ovog diplomskog rada, omogućava simulaciju građevinskih procesa kroz vrijeme, pružajući uvid u tijek aktivnosti na gradilištu, od početka do završetka radova. Iako se radi o pretpostavljenom planu, njegovom analizom možemo bolje razumjeti dinamiku i složenost upravljanja građevinskim projektima, što je ključno za optimizaciju resursa i pravovremeno donošenje odluka.

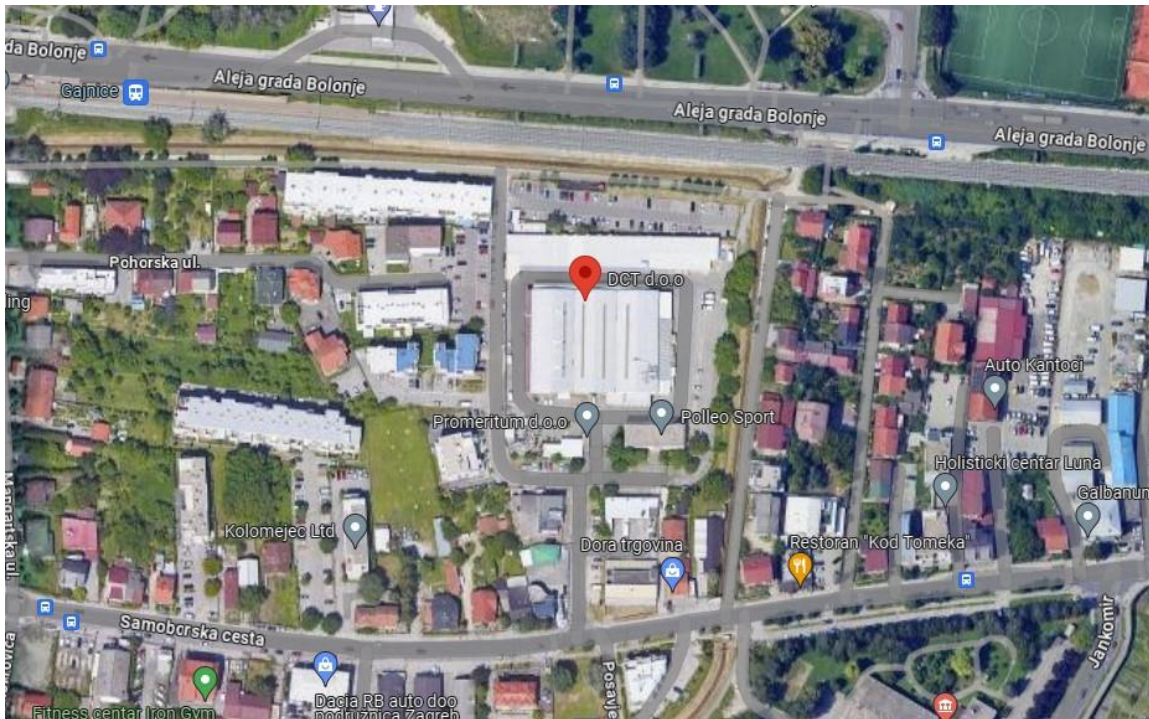
Tehnički opis građevine i vremenski plan zajedno čine ključne ulazne podatke koji omogućuju izradu i analizu BIM modela. U nastavku ovog poglavlja, na temelju ovih podataka, bit će detaljno prikazani rezultati kao što su izrada točkastog oblaka, 3D modela te njihova integracija u 4D modeliranje, što će nam omogućiti da dobijemo sveobuhvatan uvid u procese planiranja, projektiranja i izgradnje analiziranog objekta.

3.1. Tehnički opis

Prostor DCT ureda nalazi se na adresi Samoborska 134, 10000 Zagreb. Investitor, projektant i datum izrade projekta su nepoznati. Ured se nalazi u hali smještenoj u staroj industrijskoj zoni u Zagrebu, Gajnicama. Hali se najlakše može pristupiti sa Samoborske ceste. Klima je vlažna i umjereno topla. Postojeće komunalne mreže uključuju vodu, struju, plin i kanalizaciju. Ured se sastoji od 2 hodnika, 2 toaleta, kuhinje, 2 otvorena uredska prostora i 3 sobe za sastanke.

Sam ured nalazi se u hali koja inače služi kao skladište, međutim također sadrži i nekoliko poslovnih prostora koji služe kao uredi. Za potrebe ovog rada ured će se promatrati kao zasebna građevina koja se gradi od temelja jer je tako i modeliran. Početno stanje je teren na danoj lokaciji, a završno stanje je potpuno opremljena zgrada koja služi kao uredski prostor. Riječ je o betonskoj nosivoj konstrukciji načinjenoj od armiranobetonskih zidova te armiranobetonskih i čeličnih greda i rešetaka. Vanjski zidovi su armiranobetonski i debljine 30-40 cm. Unutarnji zidovi su također načinjeni od betona te su debljine 15-20 cm. Stropovi su spuštteni samo u prostorijama WC-a, dok u ostalim prostorijama krovna ploča s otvorima služi kao strop. Krovna konstrukcija je izvedena kao armiranobetonska ploča pod nagibom od 18° koja je oslonjena na armiranobetonske rešetke koje se pružaju uzduž cijele hale. Pokrov je načinjen od metalnih ploča, a fasada je cementna i sive boje.

Ured je spojen na struju, vodu, plin i kanalizaciju. Zimi se grije pomoću radijatora i prijenosnih grijalica, a ljeti se hladi pomoću klimatizacijskih uređaja postavljenih po uredu. Ured je zaštićen protuprovalnim alarmom te detektorima dima i protupožarnim aparatima. Sanitarna oprema uključuje 4 WC školjke, 1 pisoar te 2 umivaonika. Kuhinja je opremljena hladnjakom, štednjakom, perilicom posuđa te sudoperom. Uredski prostori su opremljeni svim potrebnim namještajem i računalima.



Slika 11.: Mikrolokacija građevine (Google Maps, 2024)



Slika 12.: Pogled na građevinu s ulice (Google Maps, 2024)

3.2. Vremenski plan

U ovom poglavlju analizira će se uloga i značaj vremenskog plana u kontekstu izrade 4D BIM modela za predmetnu građevinu. Iako se radi o već dovršenom građevinskom objektu, vremenski plan se koristio isključivo za potrebe ovog diplomskog rada kako bi omogućio simulaciju građevinskih procesa kroz vrijeme unutar 4D modela.

Ovaj vremenski plan nije zamišljen kao stvarni plan izgradnje već kao alat za razumijevanje dinamike izvođenja radova u virtualnom okruženju. Kroz ovu simulaciju, možemo precizno pratiti tijek gradnje, identificirati potencijalne probleme, poput sukoba resursa ili zagušenja aktivnosti, te evaluirati učinkovitost različitih faza projekta.

Vremenski plan je izrađen u obliku gantograma, koji je alat za vizualizaciju rasporeda aktivnosti kroz vrijeme. Gantogram prikazuje sve projektne aktivnosti na vremenskoj osi, omogućujući jasan pregled redoslijeda i trajanja svake faze radova. Na taj način, lako se može pratiti kada svaka aktivnost započinje i završava, kao i kako se pojedine aktivnosti međusobno preklapaju ili ovise jedna o drugoj.

3.2.1. Prijenos podataka

U upravljanju projektima, posebno pri radu s vremenskim planovima, odabir formata datoteka za prenos i dijeljenje informacija ključan je za uspješno vođenje projekta. Evo pregleda nekoliko važnih formata:

- **XML Format (.xml):** XML (eXtensible Markup Language) je univerzalni format za razmjenu podataka koji omogućuje prenos podataka između različitih aplikacija i sustava. Ovaj format je fleksibilan i omogućuje detaljno prikazivanje složenih struktura podataka, uključujući zadatke, resurse i rasporede u projektu. Njegove prednosti uključuju visoku prijenosivost između različitih platformi i aplikacija, fleksibilnost u prilagodbi specifičnim potrebama te čitljivost koja omogućuje jednostavno pregledavanje i analizu podataka. Međutim, XML datoteke mogu postati velike i teže za rukovanje kod velikih količina podataka, a manipulacija XML strukturom može biti složena za korisnike koji nisu upoznati s formatom.
- **Microsoft Project Format (.mpp):** MPP je nativni format datoteka Microsoft Projecta, popularnog alata za upravljanje projektima. Ovaj format pohranjuje sve informacije o projektu, uključujući zadatke, resurse i raspored. Njegove prednosti uključuju potpunu pohranu svih relevantnih podataka unutar Microsoft Project okruženja te napredne funkcionalnosti upravljanja projektima. Međutim, MPP format je specifičan za Microsoft Project, što može otežati kompatibilnost s drugim softverskim alatima, a rad s nekim alatima koji ne podržavaju MPP format može biti zahtjevan.
- **Microsoft Project XML Format (.xml):** Ovaj specifični XML format koristi se za izvoz i uvoz podataka u Microsoft Projectu. Omogućuje razmjenu podataka između različitih verzija Microsoft Projecta i drugih aplikacija koje podržavaju XML. Prednosti ovog formata uključuju njegovu kompatibilnost s različitim verzijama Microsoft Projecta i mogućnost detaljne razmjene podataka o projektu. Međutim, interpretacija XML podataka može biti složena bez odgovarajućih alata za pregled.

Odabir pravog formata za prenos vremenskih planova može značajno utjecati na učinkovitost i točnost upravljanja projektom. Za prijenos vremenskih planova, odabran je Microsoft Project XML format (.xml) zbog njegove kompatibilnosti s alatom koji je korišten za izradu 4D modela, Synchro 4D. Ovaj format omogućava detaljnu i interoperabilnu razmjenu podataka između različitih aplikacija, što je bilo ključno za integraciju i vizualizaciju vremenskog plana u 4D modeliranju. Microsoft Project XML format nudi fleksibilnost i široku kompatibilnost, što omogućuje učinkovitu razmjenu informacija između Microsoft Projecta i Synchro 4D, osiguravajući precizno prikazivanje i upravljanje projektom.

3.2.2. Hijerarhijska raščlamba rada WBS (Work breakdown structure)

Hijerarhijska raščlamba rada WBS (Work Breakdown Structure) je hijerarhijska struktura koja omogućuje detaljno raščlanjivanje projekta na manje, upravljive komponente. Svaki element u WBS-u predstavlja dio projekta koji se može zasebno organizirati, izvršiti, proračunati i planirati. Ova struktura omogućuje razlaganje cjelokupnog sadržaja projekta na čvorove i podčvorove, što poboljšava organizaciju i praćenje napretka.

WBS se konstruira temeljem vremenskog plana i zahtjeva projekta. Ključni podaci za izradu WBS-a uključuju sadržaj projekta, slijed rada i tehnologiju izvedbe. Sadržaj projekta opisuje što projekt uključuje i što je potrebno za njegovu provedbu, dok slijed rada definira povezanost aktivnosti i njihov redoslijed. Tehnologija izvedbe obuhvaća metode i tehnike koje će se koristiti za realizaciju projekta. Konstrukcija WBS-a zahtijeva određivanje razine detaljnosti i broja razina prikaza, ovisno o složenosti projekta. WBS može biti prikazan tekstualno ili grafički, a odabir načina prikaza ovisi o specifičnostima projekta.

WBS je strukturiran u nekoliko razina, pri čemu je svaka razina detaljnija od prethodne. Na najvišoj razini nalazi se ukupni projekt, dok se u nižim razinama prikazuju manje komponente i aktivnosti potrebne za dovršetak projekta. Posljednja razina WBS-a sastoji se od specifičnih aktivnosti koje su detaljno navedene u vremenskom planu.

Za primjer izgradnje DCT ureda, WBS može izgledati ovako:

DCT ured

- **Prizemlje**
 - **Podna ploča**
 - **Montaža oplata podne ploče**
 - **Armiranje podne ploče**
 - **Betoniranje podne ploče**
 - **Demontaža oplata podne ploče**

U ovom primjeru, najviša razina WBS-a je "DCT ured", koja se zatim razlaže na "Prizemlje". Unutar prizemlja, daljnje razine predstavljaju specifične komponente, kao što su "Podna ploča", koja se dodatno razlaže na aktivnosti kao što su "Montaža oplata podne ploče", "Armiranje podne ploče", "Betoniranje podne ploče" i "Demontaža oplata podne ploče". Svaka od ovih aktivnosti odgovara posljednjoj razini WBS-a, a njihov redoslijed i detaljnost definiraju konkretne korake u vremenskom planu.

3.3. Softverski alati

FARO Scene je softverski alat koji se koristi za obradu podataka i registraciju skenova dobivenih 3D laserskim skeniranjem. Nakon što su skenovi napravljeni, bilo da se radi o dokumentaciji zgrade ili očuvanju podataka s mjesta zločina ili prometne nesreće, FARO Scene omogućuje daljnju obradu i stvaranje impresivnih 3D vizualizacija stvarnih objekata i okruženja. Ove vizualizacije se mogu izvesti u različitim formatima, omogućujući daljnju analizu i korištenje podataka. Jedna od značajki FARO Scene softvera je virtualna stvarnost (VR) koja omogućava korisnicima da doživljavaju i evaluiraju prikupljene podatke u VR okruženju, pružajući dublje razumijevanje prostora i objekata.

Softver također nudi dvije ključne metode registracije skenova: Interaktivnu registraciju i Hibridnu registraciju. Interaktivna registracija omogućava korisnicima jednostavno vizualiziranje i kontrolu načina na koji se pojedinačni skenovi povezuju tijekom procesa registracije, koristeći intuitivno grafičko sučelje. Hibridna registracija, s druge strane, omogućava kombinaciju različitih metoda registracije, poput povezivanja oblaka točaka (cloud-to-cloud), ciljeva i geodetske kontrole, pružajući fleksibilnost u prilagodbi procesa specifičnim potrebama projekta (FARO, 2024).

Autodesk Revit 2025 je moćan softverski alat za informacijsko modeliranje zgrada (BIM) koji se koristi u građevinskoj industriji za planiranje, projektiranje, izgradnju i upravljanje građevinskim projektima. Ovaj program omogućuje korisnicima kreiranje preciznih 3D modela zgrada, koji obuhvaćaju sve aspekte arhitekture, konstrukcije, mehaničkih, električnih i vodovodnih instalacija (MEP), kao i unutarnjeg dizajna. Revit omogućuje integraciju svih disciplina i komponenti projekta unutar jednog modela, što olakšava koordinaciju i smanjuje mogućnost pogrešaka. Svi elementi modela su međusobno povezani, pa se svaka promjena automatski odražava na cijeli projekt, čime se osigurava konzistentnost i točnost.

Program je posebno najkorisniji za izradu detaljne tehničke dokumentacije kao što su nacrti a također omogućuje analizu performansi zgrade kroz različite faze njenog životnog ciklusa. Revit podržava suradnju više korisnika na istom projektu, što omogućuje timovima da učinkovito rade zajedno, bez obzira na njihovu fizičku lokaciju. Revit 2025 koristi se u raznim fazama projekta, od konceptualnog dizajna do izvedbenih planova, pružajući sveobuhvatno rješenje za arhitekta, inženjere i druge stručnjake koji rade na složenim građevinskim projektima (Autodesk, 2024).

Izrada vizualnih prikaza, odnosno rendera vršila se pomoću programa TwinMotion. TwinMotion je softver za vizualizaciju i renderiranje koji se koristi za stvaranje visokokvalitetnih 3D prikaza i animacija u stvarnom vremenu. Razvijen je kako bi arhitektima, inženjerima i dizajnerima omogućio da svoje BIM modele pretvore u interaktivne, fotorealistične vizualizacije s lakoćom i u kratkom vremenu. TwinMotion podržava izradu vizualizacija koje prikazuju detalje poput osvjetljenja, materijala, okoline i vremenskih uvjeta, čime pomaže u prezentaciji projekata klijentima ili timu na intuitivan i vizualno privlačan način (Twinmotion, 2024).

Solibri Anywhere je softverski alat za pregled i analizu građevinskih modela, koji se koristi u građevinskoj industriji za poboljšanje kvalitete i učinkovitosti projektiranja i izvođenja radova. Ovaj program omogućuje korisnicima pregledavanje, analiziranje i ocjenjivanje BIM modela na način koji pomaže u prepoznavanju i rješavanju problema u ranim fazama projekta. Solibri Anywhere pruža napredne mogućnosti za vizualizaciju modela i interaktivno istraživanje svih aspekata građevinskog projekta. Korisnici mogu pregledavati model u 3D prikazu, koristiti različite alate za analizu i evaluaciju te komunicirati s drugim članovima tima o identificiranim pitanjima ili nedostacima. Program također podržava integraciju s drugim BIM alatima, što omogućuje uvoz i analiziranje modela iz različitih izvora.

Jedna od ključnih značajki Solibri Anywhere je mogućnost provjere usklađenosti modela s projektiranim specifikacijama i standardima. Program koristi različite pravila i kriterije za automatsko prepoznavanje potencijalnih problema, kao što su kolizije između različitih sustava ili nesukladnosti s građevinskim normama. Ukratko, Solibri Anywhere je ključni alat za učinkovito upravljanje i analizu BIM modela, poboljšanje kvalitete projektiranja i osiguranje da svi aspekti građevinskog projekta budu usklađeni s planiranim standardima i specifikacijama (Solibri, 2024).

Za potrebe analize sudara koristio se program Revizto. Revizto je moćan alat za kolaboraciju u BIM okruženju koji omogućuje korisnicima da pregledaju, analiziraju i koordiniraju modele u stvarnom vremenu. Revizto omogućuje jednostavno otkrivanje i rješavanje sukoba unutar modela, što je posebno korisno za timove koji rade na različitim lokacijama ili koriste različite softverske alate. Njegova prednost leži u intuitivnom sučelju koje omogućuje brzu navigaciju kroz model i identificiranje problema. Također, Revizto podržava integraciju s drugim BIM alatima, što olakšava prijenos podataka i kolaboraciju između timova.

Za izradu 4D modela korišten je softver Synchro 4D, koji je specijaliziran alat za integraciju 3D modela s vremenskim planovima izgradnje. Synchro 4D omogućuje povezivanje građevinskih elemenata s aktivnostima unutar vremenskog plana, čime se stvara dinamična simulacija tijekom izgradnje kroz vrijeme. Synchro 4D pruža korisnicima mogućnost da vizualiziraju cijeli građevinski proces u odnosu na predviđene faze izgradnje, što pomaže u identifikaciji potencijalnih sukoba, optimizaciji rasporeda resursa, i donošenju pravovremenih odluka. Ovaj softver također omogućuje analizu različitih scenarija izgradnje, što je ključno za prilagođavanje planova u slučaju promjena ili neočekivanih izazova (Bentley Systems, 2024).

4. REZULTATI

U poglavlju rezultati, pregled postupaka i analiza koji će biti provedeni bit će pružen kako bi se postigli ključni ciljevi projekta. Prvo će se fokusirati na izradu oblaka točaka, gdje će se detaljno opisati proces stvaranja oblaka točaka i izvoz .rcp datoteke, koji će služiti kao temelj za daljnje radnje. Sljedeći korak uključuje izradu 3D BIM modela u Revitu, pri čemu će se koristiti oblak točaka kao referenca za precizno modeliranje objekta.

Nakon toga, razradit će se izrada Lol (Level of Information) tablice koja će definirati razinu informacija sadržanih u modelu. U poglavlju provjere usklađenosti 3D BIM modela, točnost modela bit će analizirana korištenjem programa Solibri kako bi se osigurala usklađenost s projektom.

Također će se provesti analiza sudara koja uključuje identifikaciju i rješavanje sukoba između različitih struka unutar modela. Na kraju, 3D model bit će integriran s vremenskim planom izradom 4D modela u Synchrono, čime će se omogućiti vizualizacija projektnih aktivnosti u vremenskom okviru i optimizacija upravljanja projektom. Svako od ovih poglavlja doprinosi cjelokupnom razumijevanju i efikasnom upravljanju projektom, od početne faze modeliranja do konačne integracije s planiranim vremenskim okvirima.

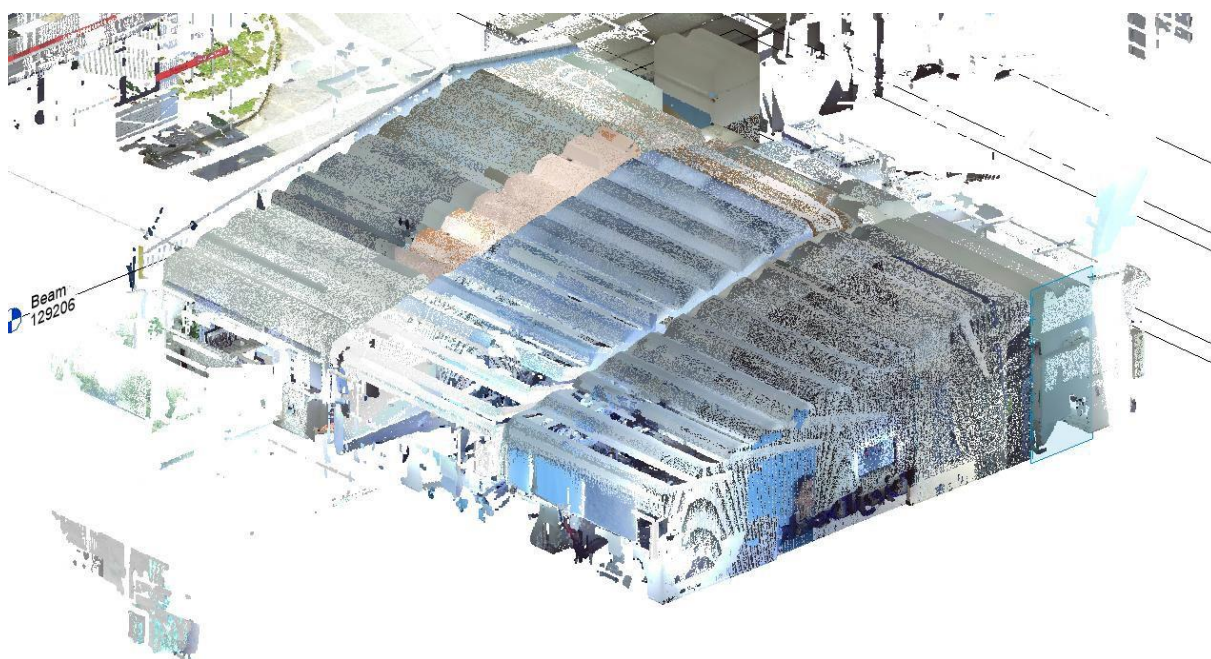
4.1. Izrada oblaka točaka

Proces izrade oblaka točaka započinje laserskim skeniranjem prostorija od strane geodeta. U ovom konkretnom slučaju, geodet je u uredu proveo lasersko skeniranje prostorija, pri čemu je skeniranje obavljeno na ukupno 27 točaka. Svaka od tih točaka kasnije je organizirana u zasebne mape (foldere), pri čemu svaka mapa sadrži niz slika koje su kasnije korištene za uvoz u softver Faro Scene.

Nakon što su slike iz svih 27 točaka organizirane u odgovarajuće mape, sljedeći korak bio je njihov import u Faro Scene. Ovaj softver specijaliziran je za obradu i sastavljanje slika dobivenih laserskim skeniranjem, omogućujući precizno sastavljanje prostorija na temelju prikupljenih podataka. Faro Scene analizira slike i slaže ih na način koji omogućuje točno određivanje dimenzija prostorija. Proces slaganja slika unutar Faro Scene ključan je za stvaranje točne digitalne reprezentacije skeniranih prostorija. Softver koristi napredne algoritme za prepoznavanje i poravnavanje točaka, što omogućuje precizno povezivanje skeniranih točaka u cjelovitu sliku prostorija. Krajnji produkt ovog procesa je oblak točaka, koji predstavlja trodimenzionalnu digitalnu sliku skeniranih prostorija. Ovaj oblak točaka se zatim eksportira kao .rcp datoteka, koja je kompatibilna s BIM softverom Revit. Eksportirani .rcp format omogućuje jednostavnu integraciju oblaka točaka u Revit, gdje se dalje može koristiti za detaljno projektiranje i analizu prostorija.

Tijekom izrade oblaka točaka, posebnu pažnju trebalo je obratiti na kritične pozicije u blizini ogledala i neprozirnih reflektirajućih stakala. Laserske zrake imaju tendenciju odbijanja od reflektirajućih površina, što može rezultirati netočnim procjenama softvera. Odbijanje laserskih zraka od ovih površina može uzrokovati „šumove“ i pogreške u oblaku točaka, što zahtijeva dodatnu ručnu korekciju.

Ručna korekcija ovih pogrešaka uključuje pažljivu analizu i prilagodbu podataka kako bi se osigurala točnost konačnog oblaka točaka. Geodeti i tehničari moraju identificirati i ispraviti netočne podatke, osiguravajući da krajnji produkt vjerno predstavlja stvarne dimenzije i karakteristike prostorija. Nakon eksporta .rcp datoteke slijedi uvoz iste u Revit gdje se onda započinje s modeliranjem građevine po danom oblaku točaka. Na slici ispod prikazan je dobiveni oblak točaka.



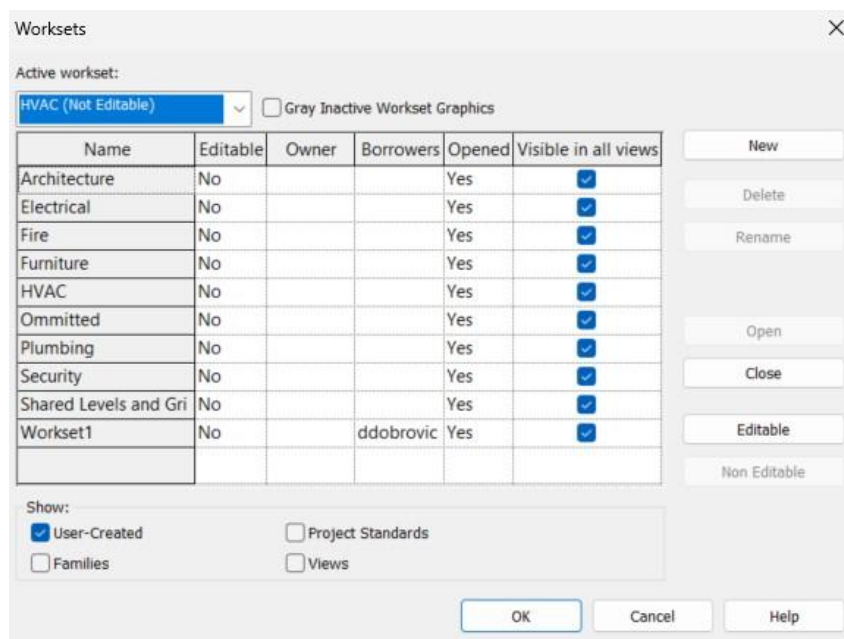
Slika 13.: Prikaz oblaka točaka ureda

4.2. Izrada 3D BIM modela

4.2.1. Izrada konstrukcije

Nakon importiranja oblaka točaka u Revit, sljedeći korak je bila izrada Radnih skupina (Workseta). Radne skupine služe za uspostavljanje timske suradnje na jednom projektu. Oni omogućuju podjelu modela na više dijelova (worksetaa), što različitim korisnicima daje mogućnost rada na različitim dijelovima modela istovremeno. Svaki član tima može "prijaviti" određenu radnu skupinu kako bi spriječio druge korisnike da mijenjaju te dijelove dok radi na njima. Ovaj sustav upravljanja pospješuje koordinaciju i smanjuje rizik od sukoba prilikom izmjena u modelu. Radne skupine su posebno korisne kod velikih projekata s više sudionika. U

ovom slučaju radne skupine su više služile poput Layera u CAD programima, s obzirom da nije riječ o velikom modelu. Podjela radnih skupina u modelu dana je na slici ispod.



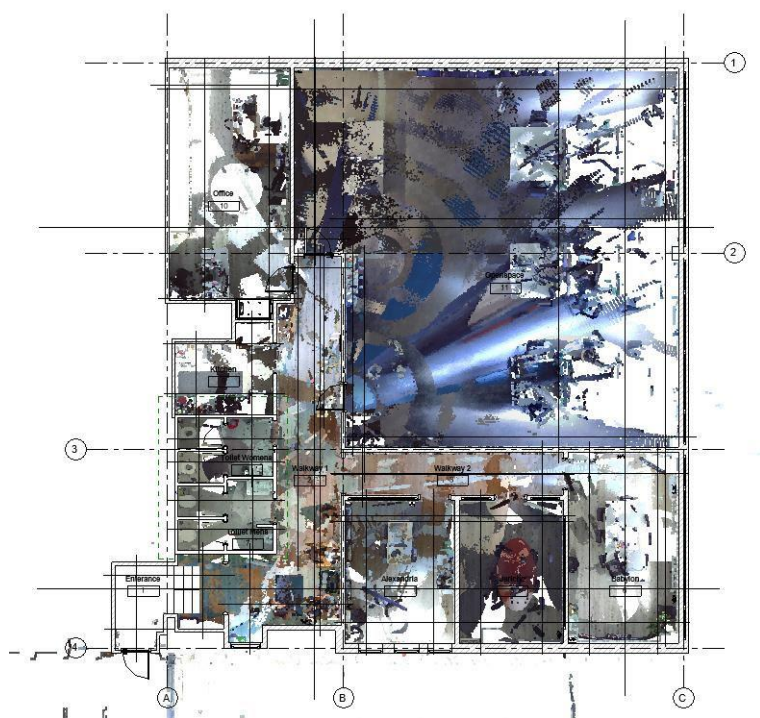
Slika 14.: Prikaz radnih skupina iz Revita

U modelu izrađenom u Revitu korišteno je deset radnih skupina (Worksets) kako bi se omogućila bolja organizacija i kolaboracija tijekom izrade projekta. Svaka radna skupina sadržava specifične elemente povezane s određenim aspektom građevine:

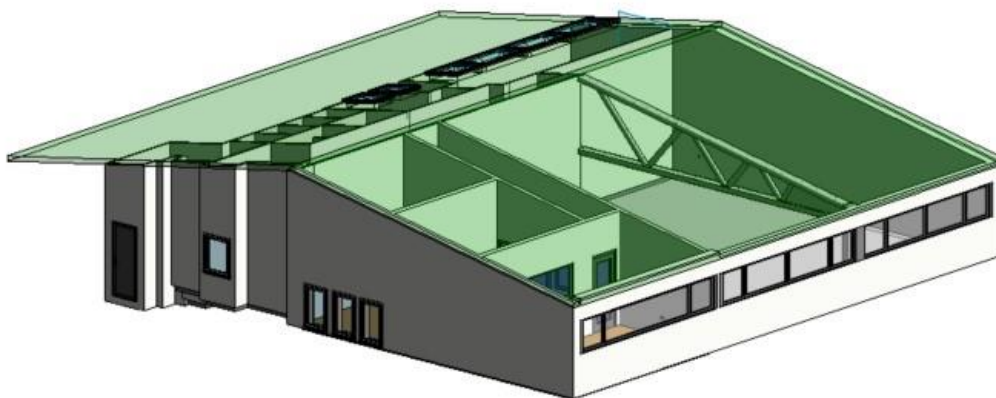
- **Architecture (Konstrukcija građevine):** Ova radna skupina obuhvaća sve arhitektonske elemente konstrukcije, uključujući zidove, podove, krovove i druge građevinske komponente koje čine osnovnu strukturu objekta.
- **Electrical (Rasvjeta, utičnice, prekidači i razvodne kutije):** U ovoj radnoj skupini nalaze se svi električni sustavi, uključujući rasvjetna tijela, utičnice, prekidače, razvodne kutije i pripadajuće ožičenje.
- **Fire (Protupožarni elementi):** Ova radna skupina sadrži sve protupožarne elemente, kao što su protupožarni aparati, sprinkler sustavi i druge instalacije koje služe zaštititi objekta od požara.
- **Furniture (Namještaj i oprema):** Radna skupina "Furniture" uključuje sve elemente namještaja i opreme u prostoru, poput stolova, stolica, ormara i drugih komada namještaja koji su dio unutarnjeg uređenja.
- **HVAC (Grijanje, ventilacija, klimatizacija):** U ovoj radnoj skupini smješteni su svi sustavi za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju, uključujući kanale za zrak, ventilatore, klima uređaje i ostalu opremu koja regulira unutarnju klimu.
- **Omitted (Otpušteno):** Radna skupina "Omitted" sadrži elemente koji su izbačeni iz glavnog modela, ali su privremeno zadržani radi eventualne buduće upotrebe ili revizije.

- **Plumbing (Vodovod i odvodnja):** Ova radna skupina obuhvaća sve vodovodne i kanalizacijske instalacije, uključujući cijevi, ventile, sanitarne uređaje i ostalu opremu povezanu s vodoopskrbom i odvodnjom.
- **Security (Protuprovalni alarmi):** U radnoj skupini "Security" nalaze se svi elementi sigurnosnih sustava, kao što su protuprovalni alarmi, sigurnosne kamere i senzori koji služe za zaštitu objekta od neovlaštenih ulaza.

Fokus ovog poglavlja biti će na radnoj skupini Architecture. Izrada modela je započela modeliranjem konstrukcije, odnosno nosivih i pregradnih zidova prema oblaku točaka, nakon čega su modelirani podovi, vrata, prozori, otvori, grede i krov. Prilikom izrade 3D modela konstrukcije u Revitu, korištene su osnovne naredbe poput Wall, Door, Window, Beam i Stair. Naredba Wall omogućila je precizno modeliranje zidova, definirajući njihovu visinu, debljinu i materijale. Naredbe Door i Window koristile su se za umetanje vrata i prozora unutar modela, s mogućnošću prilagodbe njihovih dimenzija i položaja. Naredbom Beam modelirane su grede, ključni elementi nosive konstrukcije. Naredba Stair omogućila je izradu stubišta, s opcijama za prilagodbu broja stepenica, visine i širine. Također, naredba Roof korištena je za modeliranje krovne konstrukcije, uz definiranje oblika, nagiba i materijala. Korištenjem ovih naredbi, konstrukcija objekta je modelirana detaljno i precizno, omogućujući točnu reprezentaciju stvarnog stanja građevine. Rezultat je prikazan na slikama ispod.



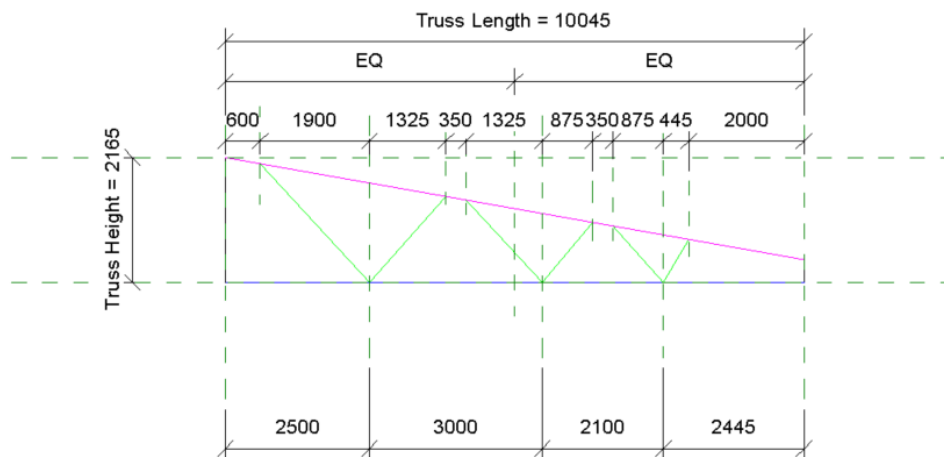
Slika 15.: Tlocrt arhitekture



Slika 16.: Prikaz Architectural radne skupine

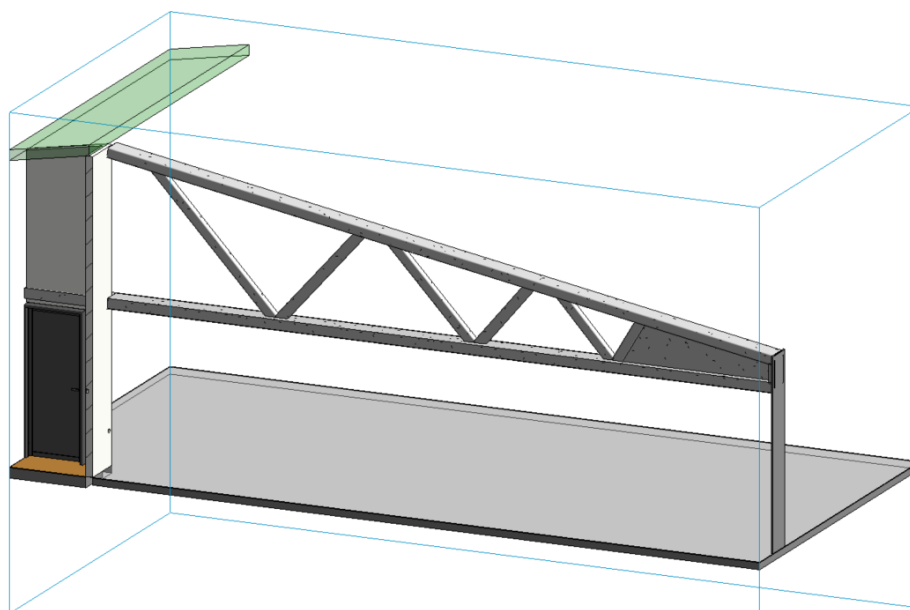
Nakon izrade iskaza količina u Revitu dobiven je uvid u količine radova pri izradi konstrukcije. Za betoniranje zidova potrebno je 85.41 m^3 betona, za podne ploče potrebno je 35.83 m^3 , za krovne ploče 59.87 m^3 i za rešetku točno 1 m^3 . Što se tiče stolarije potrebno je 15 vrata 6 različitih vrsta i 25 prozora 7 različitih vrsta.

Modeliranje rešetke pokazalo se kao najizazovniji dio procesa, budući da Revit ne nudi opciju jednostavne izrade specifičnih rešetkastih struktura. Zbog toga je rešetka morala biti izrađena kao zasebna familija, pri čemu su prethodno izvedena precizna mjerenja prema oblaku točaka. Ova mjerenja osigurala su točnost modeliranja, omogućujući da rešetka bude vjerodostojno prikazana unutar 3D modela. Proces izrade posebne familije zahtijevao je detaljnu prilagodbu parametara kako bi se postigla potrebna geometrija i dimenzije rešetke, što je dodatno naglasilo složenost ovog dijela modeliranja. Na slici ispod prikazan je profil rešetke ureda.



Slika 17.: Izrada profila rešetke

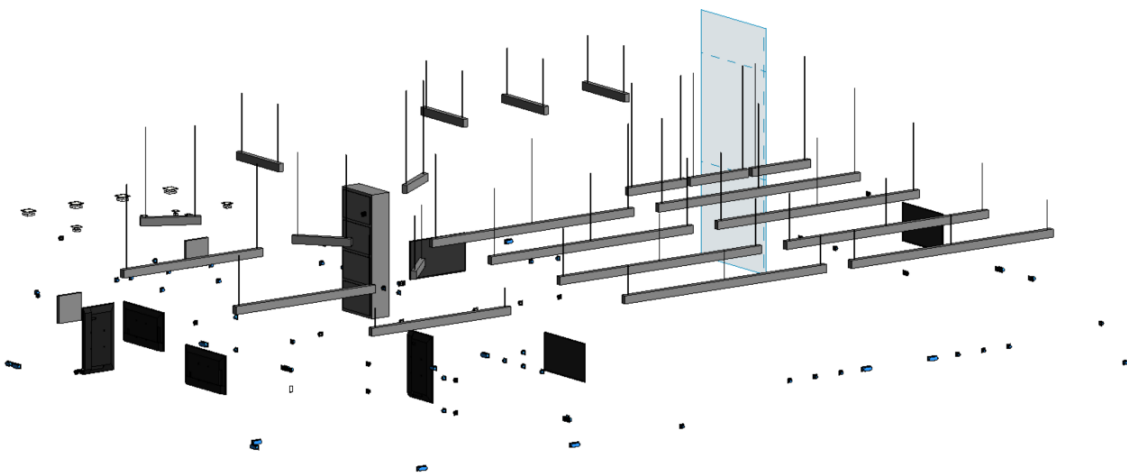
Nakon izrade osnovnog profila rešetke, tom su profilu dodijeljeni gornji i donji pojas te ispune kako bi se stvorila kompletna struktura. Za postizanje ispravnog izgleda i točnosti rešetke, korištene su naredbe Cope, Miter, Cut Through i Cut By. Ove naredbe omogućile su prilagodbu spojeva i detalja unutar rešetke, osiguravajući da elementi precizno odgovaraju stvarnim dimenzijama i geometriji konstrukcije. Završni izgled rešetke prikazan je na slici ispod.



Slika 18.: Pogled na modeliranu rešetku

4.2.2. Izrada elektroinstalacije

Prilikom izrade elektroinstalacije u modelu, nisu modelirani strujni krugovi, već je fokus stavljen na ključne komponente kao što su razvodne kutije, utičnice, rasvjetni elementi i oprema. Ove komponente su pažljivo postavljene unutar modela kako bi se osiguralo njihovo točno pozicioniranje prema stvarno izvedenom stanju. Time je omogućena vizualizacija električnih instalacija unutar 3D modela, bez ulaska u složenost modeliranja samih strujnih krugova. Za modeliranje razvodnih kutija koristili su se generični modeli, a veća pažnja posvetila se rasvjetnim elementima i utičnicama. Ponajviše su se koristile naredbe Component, Model Group i Lighting Fixture. Na slici ispod prikazani su svi elementi elektroinstalacije.



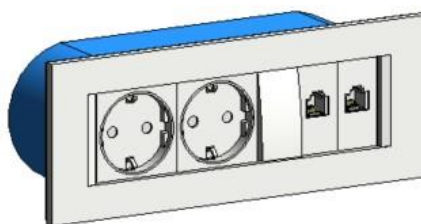
Slika 19.: Prikaz Electrical radne skupine

Nakon izrade iskaza količina dobiveni su točni iznosi svih elemenata elektroinstalacije. Potrebno je 73 komada utičnica i prekidača 16 različitih vrsta, 36 rasvjetnih elemenata 8 različitih vrsta, dvije razvodne kutije i jedan ormar za razvodnu ploču, te 7 ekrana koji služe kao komunikacijski uređaji u sobama za sastanke.

Za utičnice nisu korišteni generični modeli iz Revita već su se modelirale kao Model Groups prema katalogu proizvođača. Svi dijelovi utičnice, uključujući okvire, prekidače i priključke, preuzeti su iz kataloga, što je omogućilo preciznu reprezentaciju svakog elementa prema izvedenom stanju. Nakon preuzimanja podataka iz kataloga, svaka utičnica bila je zasebno modelirana i postavljena na odgovarajuće mjesto u uredu. Modelirani su prekidači, priključci na internet i utičnice za struju. Na slikama ispod su dani prikazi modeliranih utičnica.

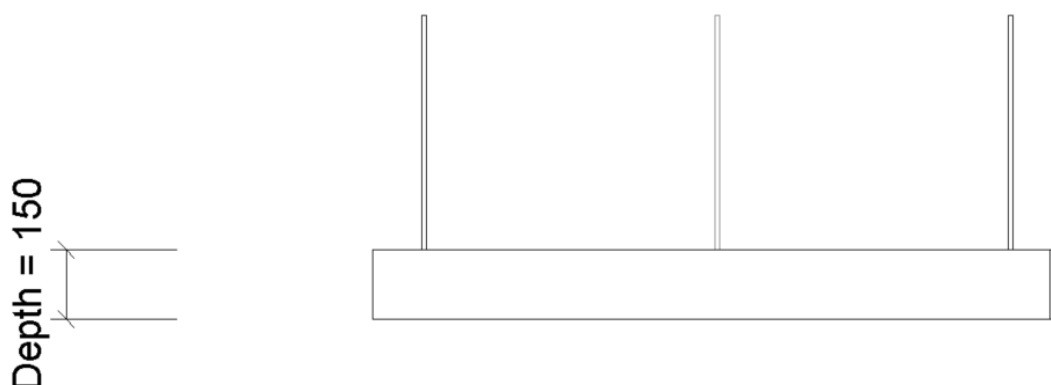


Slika 20.: Prikaz modeliranih utičnica 1



Slika 21.: Prikaz modeliranih utičnica 2

Za modeliranje rasvjete koristili su se generični modeli i posebno izrađene nove familije. Za rasvjetu u toaletima koristili su se generični modeli iz Revitove knjižnice elemenata, a za rasvjetu u ostatku ureda izrađena je posebna rasvjetna familija s podesivim parametrom duljine i stropnim nosačima. U model su postavljene na točnim visinama pomoću oblaka točaka. Na slici ispod prikazan je ručno modelirani rasvjetni element.



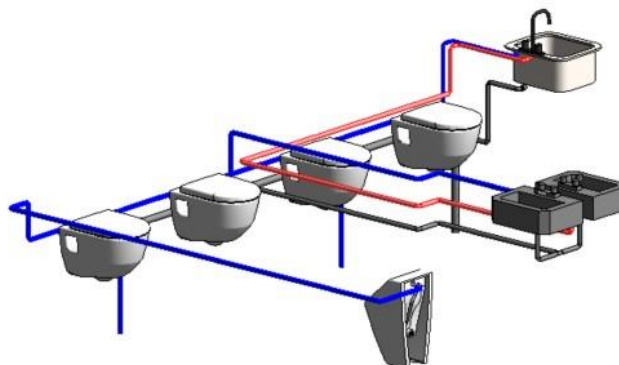
Slika 22.: Prikaz modeliranog rasvjetnog elementa

4.2.3. Izrada vodovoda i odvodnje

Modeliranje vodovoda i odvodnje u uredu izvedeno je prema stvarno izvedenom stanju. Na vodovodnu mrežu spojena su četiri toaleta, jedan pisoar i tri umivaonika. Dovod hladne vode u modelu označen je plavom bojom, dok je dovod tople vode označen crvenom bojom. Odvodne cijevi prikazane su sivom bojom, što omogućuje jasnu vizualizaciju cijelog vodovodnog i odvodnog sustava unutar modela. Naredbe koje su se koristile pri modeliranju su Pipe i Plumbing Fixture. Modeliranje vodovodnih cijevi na većim projektima predstavlja velik izazov, međutim na ovako jednostavnom primjeru nije bilo većih poteškoća. Modeliranje vodovodnih cijevi na većim projektima predstavlja izazov zbog nekoliko ključnih faktora. Kompleksnost mreže, koja se često proteže kroz cijelu zgradu ili više zgrada, zahtijeva precizno modeliranje kako bi se osigurao ispravan protok vode i funkcionalnost sustava. Koordinacija s drugim sustavima, poput elektroinstalacija i HVAC-a, postaje kritična kako bi se izbjegli sudari i osigurao prostor za sve instalacije.

Pristupačnost za održavanje također mora biti osigurana, što može biti teško zbog ograničenog prostora i složenosti dizajna. Cijevi moraju biti usklađene s lokalnim građevinskim pravilnicima, što zahtijeva dodatnu pažnju. Konačno, optimizacija troškova i materijala je nužna, što dodatno komplicira modeliranje na velikim projektima. Ovi faktori čine modeliranje vodovodnih cijevi izazovnim zadatkom koji zahtijeva pažljivo planiranje i preciznost. Za modele sanitarija koristili su se generični modeli i modeli preuzeti s internetskih BIM knjižnica kao što su BIM Object (BIM objects, 2024).

Na slici ispod prikazane su modelirane cijevi.



Slika 23.: Prikaz Plumbing radne skupine

Iz iskaza količina izvučeni su slijedeći podaci. Za gradnju modeliranog sustava vodovoda i odvodnje te sanitarija potrebno je 84 cijevi ukupne duljine 36.57 m, 65 cijevnih priključaka 3 različite vrste i 17 sanitarnih elemenata 8 različitih vrsta.

4.2.4. Izrada sustava grijanja, hlađenja i ventilacije (HVAC)

Prilikom izrade sustava grijanja, hlađenja i ventilacije, HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) bilo je potrebno modelirati klima uređaje u svim prostorijama, kao i mali ventilacijski sustav s ulazom i povratom zraka. Uz to, modelirani su radijatori sa pripadajućim plinskim cijevima u svim prostorijama, kako bi se osigurao cjelovit prikaz sustava grijanja. Poseban naglasak stavljen je na modeliranje sustava nosača kablova, koji osim što služe za cijevi ventilacijskih i klimatizacijskih sustava, također podržavaju električne kablove.

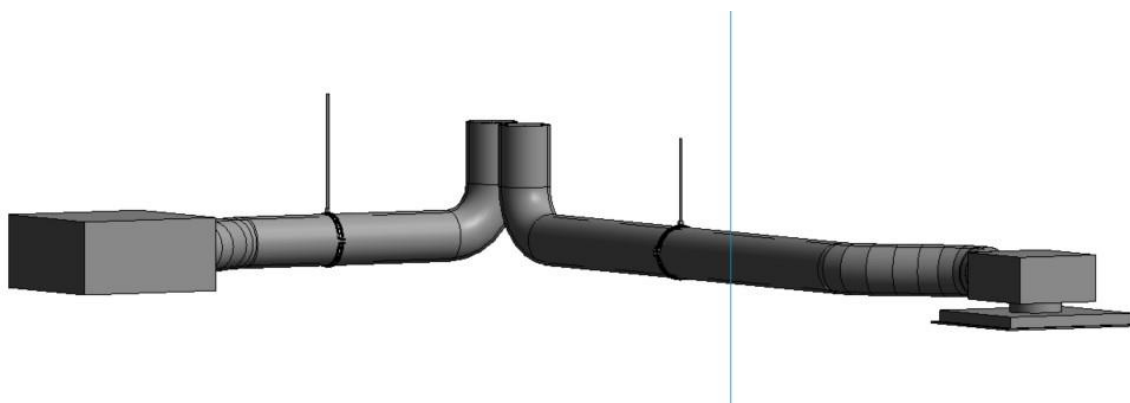
Sav modelirani sadržaj temelji se na podacima dobivenim iz oblaka točaka, što je omogućilo visoku razinu točnosti i usklađenosti sa stvarnim stanjem. Za modeliranje su korištene naredbe Cable Tray, Duct, Flex Duct, Air Terminal i Component. Pri izradi su korišteni generični modeli kao i modeli proizvođača za sve modelirane elemente, osiguravajući tako realističan i detaljan prikaz sustava grijanja, hlađenja i ventilacije unutar 3D modela. Na slici ispod prikazana je radna skupina.



Slika 24.: Prikaz HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) radne skupine

Analizom iskaza količina dobiveni su podaci o potrebnim iznosima elemenata za izradu HVAC sustava. Dobiveni su sljedeći podaci; potrebna su 23 kabelska kanala ukupne duljine 54.574 m, 17 dijelova mehaničke opreme 5 različitih vrsta koji sardže radijatore, klimatizacijske uređaje i bojlere. Za ventilacijski sustav za odvod i dovod zraka potrebne su 4 cijevi ukupne dužine 3.62 m, 4 cijevna priključka dvije različite vrste, 2 zračna terminala i 2 nosača cijevi.

Posebna pažnja posvećena je modeliranju ventilacijskog sustava za odvod i dovod zraka, s obzirom na to da se taj sustav nalazi u jedinjoj prostoriji bez prozora. Ovaj prostor zahtijevao je precizno planiranje i modeliranje kako bi se osigurala adekvatna ventilacija. Nosači cijevi su pažljivo modelirani kako bi sustav bio stabilan i funkcionalan. Također su korišteni precizni modeli Air Terminala izrađeni od strane proizvođača, što je omogućilo vjeran prikaz ventilacijskog sustava unutar modela te osiguranje optimalnih uvjeta za prostoriju bez prirodne ventilacije. Na slici ispod je dan prikaz ventilacijskog sustava.

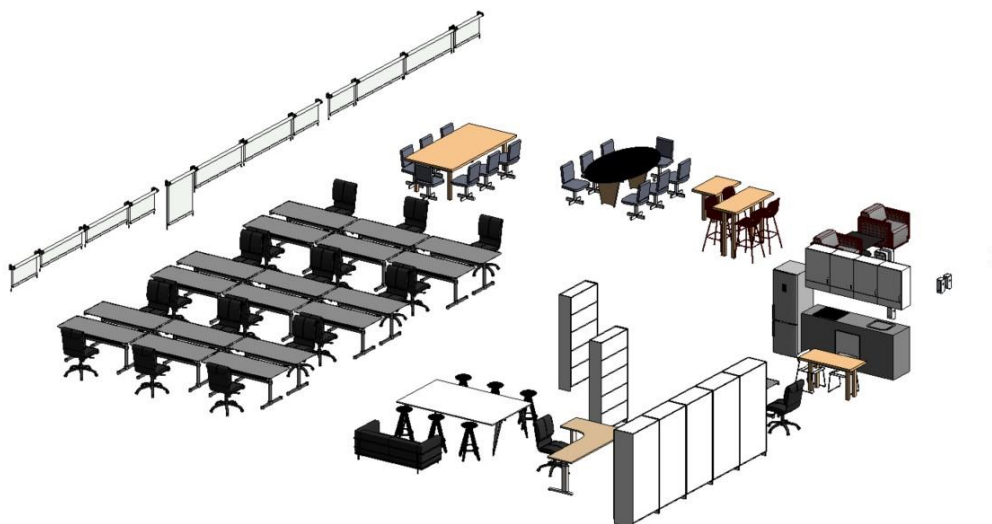


Slika 25.: Prikaz ventilacijskog sustava

4.2.5. Modeliranje opreme ureda

Nakon prethodno navedenih dijelova građevine, ostalo je modelirati protuprovalni i protupožarni sustav te namještaj i opremu ureda. Protuprovalni sustav je jednostavan i sastoji se samo od sigurnosnog alarma postavljenog na ulazu u uredske prostore. Protupožarni sustav također je jednostavan i sastoji se od dva protupožarna aparata, hidrantske kutije locirane u hodniku te nekoliko detektora dima raštrkanih po cijeloj građevini.

Najviše se pažnje posvetilo modeliranju svog namještaja u uredu. Koristili su se generični modeli i vlastite familije, a najviše modeli s online knjižnice BIMObject (BIM objects, 2024). Inače namještaj nije nešto čemu se posvećuje prevelika pažnja pri modeliranju, međutim ovaj model se izrađivao u svrhu izrade rendera stoga se više pažnje posvetilo detaljima koji „oživljuju“ prostor. Na slici ispod dan je prikaz radne skupine.

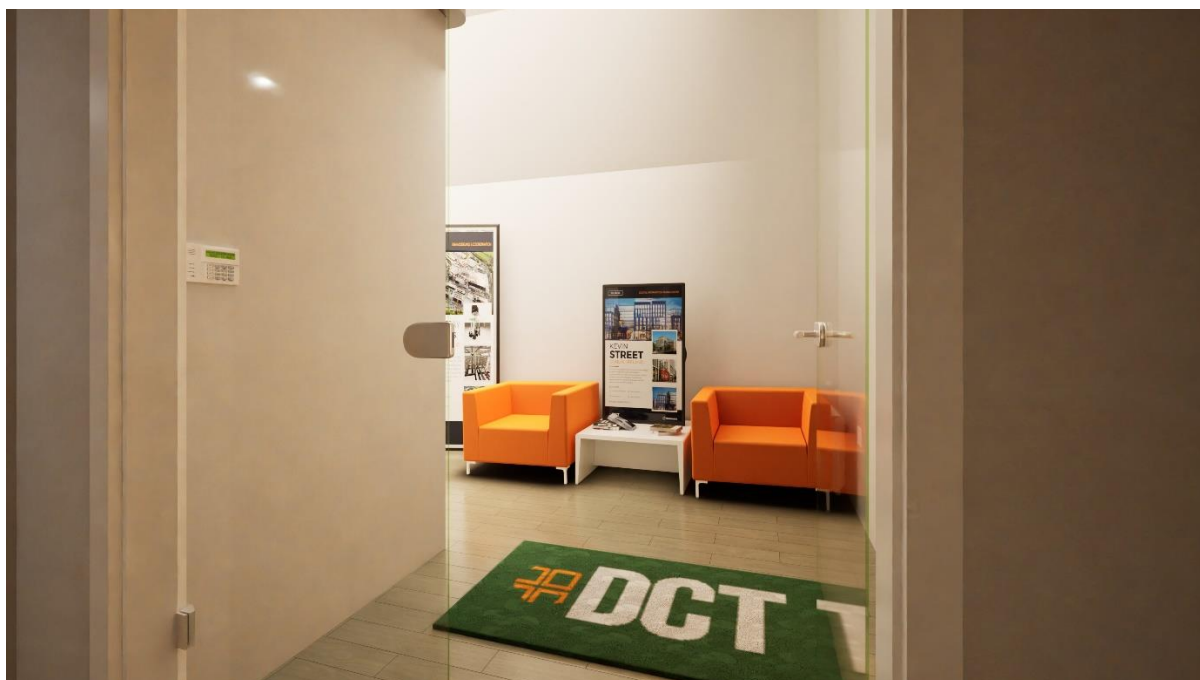


Slika 26.: Prikaz Furniture radne skupine

Iz iskaza količina doznaje se da je za opremu ureda potrebno 82 različita komada namještaja 17 različitih vrsta. Ta oprema sadrži stolove, stolice, ormare, fotelje, kuhinjsku opremu itd.

4.2.6. Izrada vizualnih prikaza

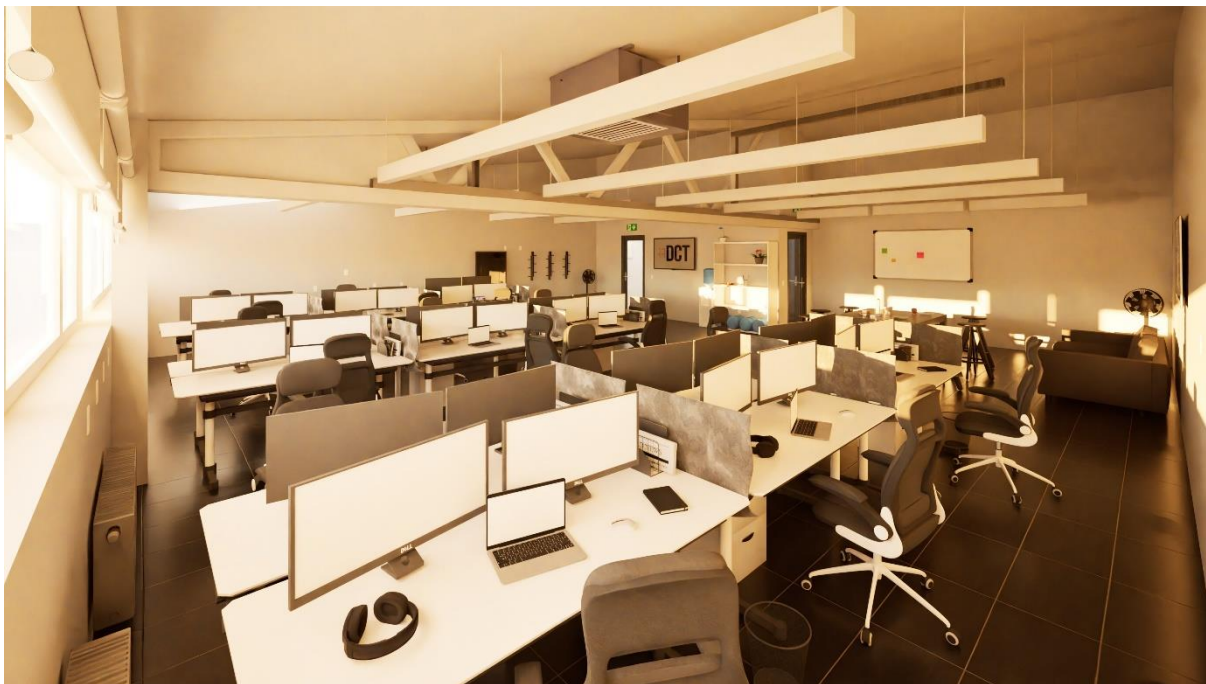
Za stvaranje rendera ureda koristio se proces koji uključuje izvoz 3D BIM modela iz Revita u format kompatibilan sa softverom TwinMotion. Nakon toga, model je uvezen u TwinMotion, gdje su dodani materijali, osvjetljenje i okoliš kako bi se postigao fotorealističan prikaz. Također su prilagođeni detalji poput refleksije, sjena i perspektive kako bi se postigla što vjernija vizualizacija prostora. Na kraju, renderi su generirani u visokoj rezoluciji, spremni za prezentaciju i analizu. Riječ je vremenski vrlo zahtjevnom procesu. Što se više autor potruži oko scene i obogati je predmetima i materijalima to će slika biti realističnija. Renderirani prikazi mogu se vidjeti na slikama ispod.



Slika 27.: Render ulaza u ured



Slika 28.: Render uredskog hodnika



Slika 29.: Render otvorenog uredskog prostora



Slika 30.: Render prostorije za sastanke

4.3. Izrada tablice razine razvijenosti elemenata (LoI)

Tablica razine razvijenosti elemenata ili LoI (Level of Information) tablica ključan je alat u BIM okruženju koji služi za definiranje i praćenje razine informacija pridruženih svakom

građevinskom elementu u modelu. Cilj ove tablice je osigurati da svaki element u modelu nosi odgovarajuću količinu informacija potrebnih za različite faze projektiranja, gradnje i održavanja građevinskog objekta. Lol tablica omogućuje standardizaciju podataka unutar BIM modela, olakšava suradnju među članovima tima i osigurava da su svi elementi u skladu s tehničkim zahtjevima projekta.

Kroz Lol tablicu, projektni tim može jasno definirati koje informacije moraju biti sadržane u svakom elementu u različitim fazama projekta, što je ključno za preciznu analizu, planiranje i izvođenje radova. Također, ova tablica služi kao osnova za provjeru usklađenosti modela s propisanim standardima i normama.

Na ovom projektu, razina detalja (LoD) i razina razvijenosti informacija (Lol) igraju ključnu ulogu u definiranju preciznosti i funkcionalnosti modela. Razine LoD-a (Level of Detail) odnose se na količinu vizualnih i tehničkih informacija koje su dostupne za svaki element modela, dok razine Lol-a (Level of Information) određuju količinu podataka pridruženih tim elementima.

U ovom slučaju, razina LoD-a modela definirana je kao G1. To znači da su uključeni osnovni vanjski detalji, poput osnovnih boja i tekstura, ali bez preciznih prikaza unutarnjih elemenata ili njihovih funkcionalnosti. Ova razina detalja služi za opći prikaz objekta, dok se detaljniji tehnički podaci tek moraju dodati.

Što se tiče razine razvijenosti informacija (Lol), određeni elementi modela imaju višu razinu informacija, budući da su preuzeti iz internetskih knjižnica BIM modela, poput bimobject. Ovi unaprijed definirani elementi omogućavaju precizniji opis njihovih svojstava, dok su ostali elementi na nižoj razini razrade.

Kombinirajući ove faktore, ukupna razina modela može se definirati kao LOD 300. Ova razina geometrijske preciznosti znači da elementi modela imaju točno definirane dimenzije, oblik, lokaciju i orijentaciju, što omogućava izradu tehničke dokumentacije, preciznih izračuna količina materijala i osnovnih analiza izvedivosti projekta.

U procesu izrade Lol tablice za ovaj diplomski rad, tablica je strukturirana s ciljem da obuhvati sve ključne informacije potrebne za svaki element modela. Tablica se sastoji od sedam stupaca, a njezina izrada tekla je prema sljedećim koracima:

- **Vrsta elementa:** U ovaj stupac upisivale su se različite familije elemenata iz Revita. Familije su predstavljale osnovne kategorije elemenata kao što su zidovi, prozori, vrata, itd. Vrste elemenata koje su definirane su sljedeće: Air Terminal Box, Assembly, Beam, Boiler, Cable Carrier, Cable Carrier Fitting, Covering, Curtain Wall, Distribution Element, Door, Duct, Duct Fitting, Electric Appliance, Electric Distribution Port, Fire Suppression Terminal, Furniture, Light Fixture, Object, Pipe, Pipe Fitting, Plate, Roof, Sanitary Terminal, Slab, Space Heater, Stair, Suspended Ceiling, Unitary Equipment, Wall i Window

- **Naziv elementa:** Ovaj stupac odnosio se na razinu instance elemenata, odnosno na specifične nazive pojedinačnih instanci elemenata unutar modela. To je omogućilo detaljnije praćenje i identifikaciju svakog pojedinog elementa u modelu.

Naziv svakog elementa varira od instance do instance zato jer svaka instanca ima poseban broj u nazivu elementa.
- **IfcEntity:** U ovaj stupac upisivao se odgovarajući IfcEntity za svaki element. IfcEntity je osnovna klasa u IFC standardu koja kategorizira elemente prema njihovim funkcionalnim svojstvima u građevinskom modelu.

Entiteti koji su definirani su sljedeći: IfcFlowController, IfcElementAssembly, IfcBeam, IfcEnergyConversionDevice, IfcFlowSegment, IfcFlowFitting, IfcCovering, IfcCurtainWall, IfcDistributionControlElement, IfcDoor, IfcFlowSegment, IfcFlowFitting, IfcFlowTerminal, IfcElectricDistributionPoint, IfcFurnishingElement, IfcPlate, IfcSlab, IfcStairFlight, IfcWallStandardCase, IfcWindow
- **IfcType:** Ovdje su se definirale specifične vrste unutar osnovnih kategorija IfcEntity. Na primjer, ako je IfcEntity bio *IfcWall*, IfcType bi definirao je li riječ o nosivom zidu ili pregradnom zidu.

Tipovi koji određeni su: IfcAirTerminalBoxType, IfcBeamType, IfcBoilerType, IfcCableCarrierSegmentType, IfcCableCarrierFittingType, IfcCoveringType, IfcCurtainWallType, IfcAlarmType, IfcDoorStyle, IfcDuctSegmentType, IfcDuctFittingType, IfcElectricApplianceType, IfcDistributionElementType, IfcFireSuppressionTerminalType, IfcFurnitureType, IfcLightFixtureType, IfcPipeSegmentType, IfcPipeFittingType, IfcPlateType, IfcSanitaryTerminalType, IfcSlabType, IfcSpaceHeaterType, IfcStairFlightType, IfcCoveringType, IfcUnitaryEquipmentType, IfcWallType i IfcWindowStyle.
- **Predefined Type:** U ovom stupcu specificirane su dodatne informacije koje su dodatno precizirale funkciju ili varijantu elementa, kao što su vrsta vrata, tip prozora, itd.

Preddefinirani tipovi u modelu su: CONSTANTFLOW, TRUSS, WATER, CABLETRAYSEGMENT, BEND, INSULATION, NOTDEFINED, SIREN, RIGIDSEGMENT, CURTAIN_PANEL, FLOOR, STRAIGHT, CEILING i AIRCONDITIONINGUNIT
- **IfcMaterial:** Ovaj stupac obuhvaćao je materijale koji su korišteni za izradu elemenata. IfcMaterial omogućuje praćenje tehničkih svojstava i performansi svakog elementa u modelu.

Materijali se znatno razlikuju od elementa do elementa.
- **UniFormat klasifikacijski kod:** Posljednji stupac sadržavao je UniFormat klasifikacijski kod, koji je omogućavao kategorizaciju elemenata prema njihovoj funkcionalnoj ulozi unutar građevinskog objekta. Ova kategorizacija bila je ključna za organizaciju i preglednost podataka unutar BIM modela.

Ispunjavanje ove tablice bio je ručni proces, gdje su se podaci unosili za svaki element posebno. Na taj način osigurano je da svaki element dobije odgovarajuće informacije koje se odnose na njegovu funkciju i svrhu unutar modela. Tablica se nalazi na slici ispod.

Vrsta Elementa	Novi Elementa	Entitet (Entity)	Tip (Type)	Preddefinirani tip (Predefined Type)	Material (Material)	Klasifikacijski kod (Classification/Reference)
1	Air Terminal Box	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceAirTerminalBoxType	CONSTANTFLOW	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50440100
2	Assembly	[Text:Broj] (Ovisno o tipu rasjetke)	IceElementAssembly	TRUSS	[Text] (Ovisno o tipu rasjetke)	B11022210
3	Beam	[Text:Broj] (Navedi elementa x b)	IceBeamType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	B11022210
4	Boiler	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceEnergyConversionDevice	WATER	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D30220100
5	Cable Carrier	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceCableCarrierSegmentType	CABLETRAVSEGMENT	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50909000
6	Cable Carrier Fitting	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceCableCarrierFittingType	BEND	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50909000
7	Covering	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceCoveringType	INSULATION	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50909000
8	Curtain Wall	[Text:Broj] (Ovisno o tipu zida)	IceCurtainWall	NOTDEFINED	[Text] (Ovisno o tipu zida)	B2022200
9	Distribution Element	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceDistributionControlElement	SIBEN	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50909000
10	Door	[Text:Broj] (Ovisno o tipu vratu)	IceDoor	N/A	[Text] (Ovisno o tipu vratu)	[Text] (Ovisno o tipu vratu)
11	Duct	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceFlowSegment	IceDuctSegmentType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50440100
12	Duct Fitting	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceFlowFitting	IceDuctFittingType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50440100
13	Electric Appliance	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceFlowTerminal	IceElectricApplianceType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)
14	Electric Distribution Point	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceElectricDistributionPoint	N/A	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D50904000
15	Fire Supression Terminal	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceFlowTerminal	IceFireSuppressionTerminalType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)
16	Furniture	[Text:Broj] (Ovisno o tipu namještaja)	IceFurnitureElement	N/A	[Text] (Ovisno o tipu namještaja)	[Text] (Ovisno o tipu namještaja)
17	Light Fixture	[Text:Broj] (Ovisno o tipu rasvjetel)	IceFlowTerminal	IceLightFixtureType	[Text] (Ovisno o tipu rasvjetel)	[Text] (Ovisno o tipu rasvjetel)
18	Object	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)
19	Pipe	[Text:Broj] (Ovisno o tipu cijevi)	IceFlowSegment	IcePipeSegmentType	[Text] (Ovisno o tipu cijevi)	[Text] (Ovisno o tipu cijevi)
20	Pipe Fitting	[Text:Broj] (Ovisno o tipu cijevi)	IceFlowFitting	IcePipeFittingType	[Text] (Ovisno o tipu cijevi)	D20203000
21	Plate	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IcePlate	ICEPLATE	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	B20202000
22	Roof	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	N/A	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	B110204000
23	Sanitary Terminal	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceFlowTerminal	IceSanitaryTerminalType	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)
24	Sub	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceSub	IceSubType	FLOOR	[Text] (Ovisno o tipu elementa)
25	Space Heater	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceEnergyConversionDevice	NOTDEFINED	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	C30204000
26	Stair	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceStairFlight	STRAIGHT	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D30601000
27	Suspended Ceiling	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceCoveringType	CEILING	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	C30302000
28	Unitary Equipment	[Text:Broj] (Ovisno o tipu elementa)	IceEnergyConversionDevice	ARCCONDITIONINGUNIT	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	D30603000
29	Wall	[Text:Broj] (Ovisno o tipu zidu)	IceWallStandardCase	[Text] (Ovisno o tipu zida)	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text] (Ovisno o tipu zidu)
30	Window	[Text:Broj] (Ovisno o tipu prozoru)	IceWindow	N/A	[Text] (Ovisno o tipu elementa)	[Text:Broj] (Ovisno o tipu prozoru)

Slika 31.: Prikaz Lol tablice

4.3.1. Klasifikacija elemenata u Revitu

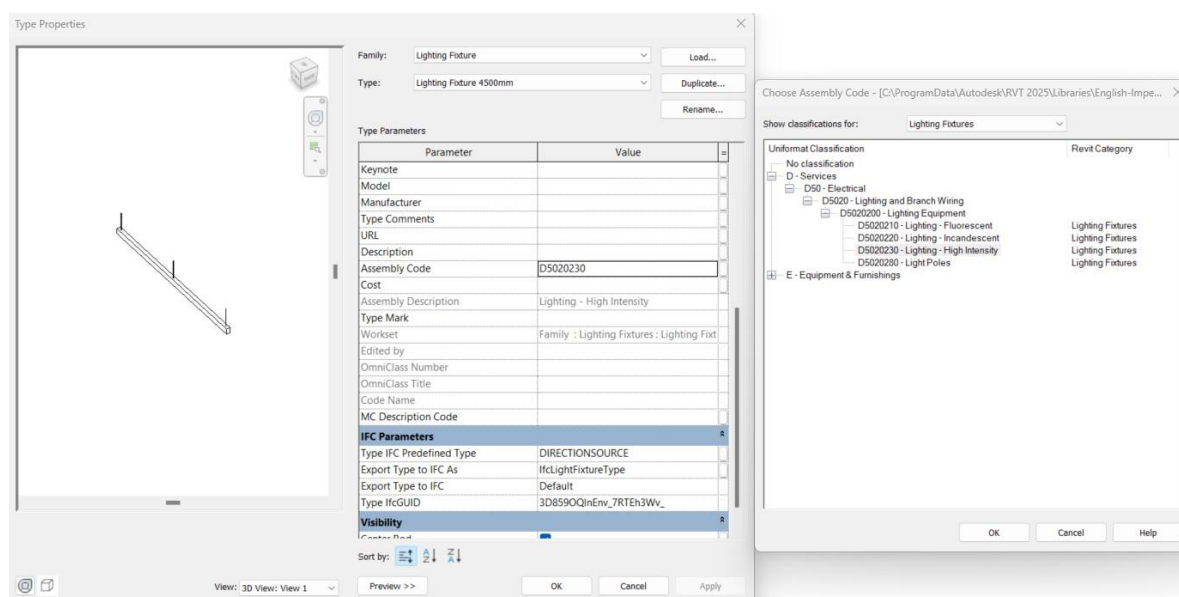
Klasifikacija elemenata u Revitu uključuje pridruživanje različitih informacija kako bi se osigurala interoperabilnost i standardizacija modela u BIM okruženju. Evo kratkog opisa svakog od pojmova:

- **IfcEntity** - IfcEntity je osnovna klasa u IFC (Industry Foundation Classes) standardu, koja definira opće kategorije građevinskih elemenata. IFC standard omogućuje interoperabilnost između različitih softverskih alata koji se koriste u građevinskoj industriji. Na primjer, IfcEntity može predstavljati široku kategoriju kao što je IfcWall za zidove ili IfcWindow za prozore. Pridruživanje IfcEntity elementima u Revitu osigurava da svaki element bude pravilno identificiran i kategoriziran prema standardima koji omogućuju jednostavnu razmjenu informacija između BIM alata.
- **IfcType** - IfcType definira specifičniju vrstu unutar široke kategorije IfcEntity. Na primjer, unutar IfcWall (zid), IfcType može precizno odrediti radi li se o nosivom zidu, pregradnom zidu, ili zidu od određene vrste materijala. Ova specifikacija omogućuje da svaki element ima jasne i dosljedne karakteristike, kao što su materijali, završne obrade, ili način ugradnje. U Revitu, dodjeljivanje IfcType-a elementu osigurava da on nosi sa sobom precizne tehničke karakteristike, što je važno za analizu, izradu troškovnika i suradnju na projektu.
- **Predefined Type** - Predefined Type je dodatna razina specifičnosti unutar IfcType-a, koja još detaljnije definira funkciju ili varijantu određenog elementa. Na primjer, unutar *IfcDoor* (vrata), Predefined Type može označiti je li riječ o kliznim vratima, dvokrilnim vratima ili sigurnosnim vratima. U BIM modeliranju, korištenje Predefined Type-a pomaže u preciznijem opisivanju elemenata, čime se poboljšava razumijevanje funkcije i namjene svakog elementa u modelu. To također olakšava analizu i provjeru usklađenosti projekta s tehničkim zahtjevima.
- **UniFormat klasifikacijski kod** - UniFormat je klasifikacijski sustav koji organizira građevinske elemente prema njihovoj funkcionalnoj ulozi u građevinskom objektu. Za razliku od drugih klasifikacijskih sustava koji grupiraju elemente prema materijalima ili tehničkim specifikacijama, UniFormat organizira elemente prema fazama gradnje i funkcionalnim dijelovima zgrade, poput temelja, vanjskih zidova, ili krovova. U Revitu, dodjeljivanje UniFormat klasifikacijskog koda elementima omogućuje standardiziranu kategorizaciju, što olakšava upravljanje projektom, analizu troškova, te omogućuje dosljednost u planiranju i izvještavanju. Na primjer, određeni zid može dobiti UniFormat kod koji ga svrstava u kategoriju "Vanjski zidovi," što pomaže u bržem prepoznavanju i grupiranju sličnih elemenata tijekom različitih faza projekta.

Proces klasifikacije elemenata bio je ručan. Podjela elemenata u modelu na radne skupine pri ovom procesu bila je od znatne pomoći. Prvo se krenulo od radne skupine Architecture gdje se pojedinačno svakom različitom tipu zida dodjeljivala svaka od gore navedenih informacija.

Revit funkcionira na način da nije potrebno dodjeljivati svakom pojedinačnom zidu informaciju na razini instance, već je dovoljno promijeniti informaciju na razini tipa, što je znatno olakšalo već repetitivan proces. Nakon zidova na isti način se prošlo kroz sve ostale elemente u radnoj skupini Architecture, a nakon nje i kroz sve preostale radne skupine.

Za primjer će se promatrati jedan od prije navedenih rasvjetnih elemenata. U Revitu su vidljive informacije Predefined Type, IfcType i UniFormat kod. Za Predefined Type rasvjetnom elementu dodjeljena je informacija DIRECTIONSOURCE. IfcType je IfcLightFixtureType, a Uniformat kod je D5020230 koji predstavlja rasvjetni element visokog intenziteta. Promatrani sasvjetni element nalazi se na slici ispod.



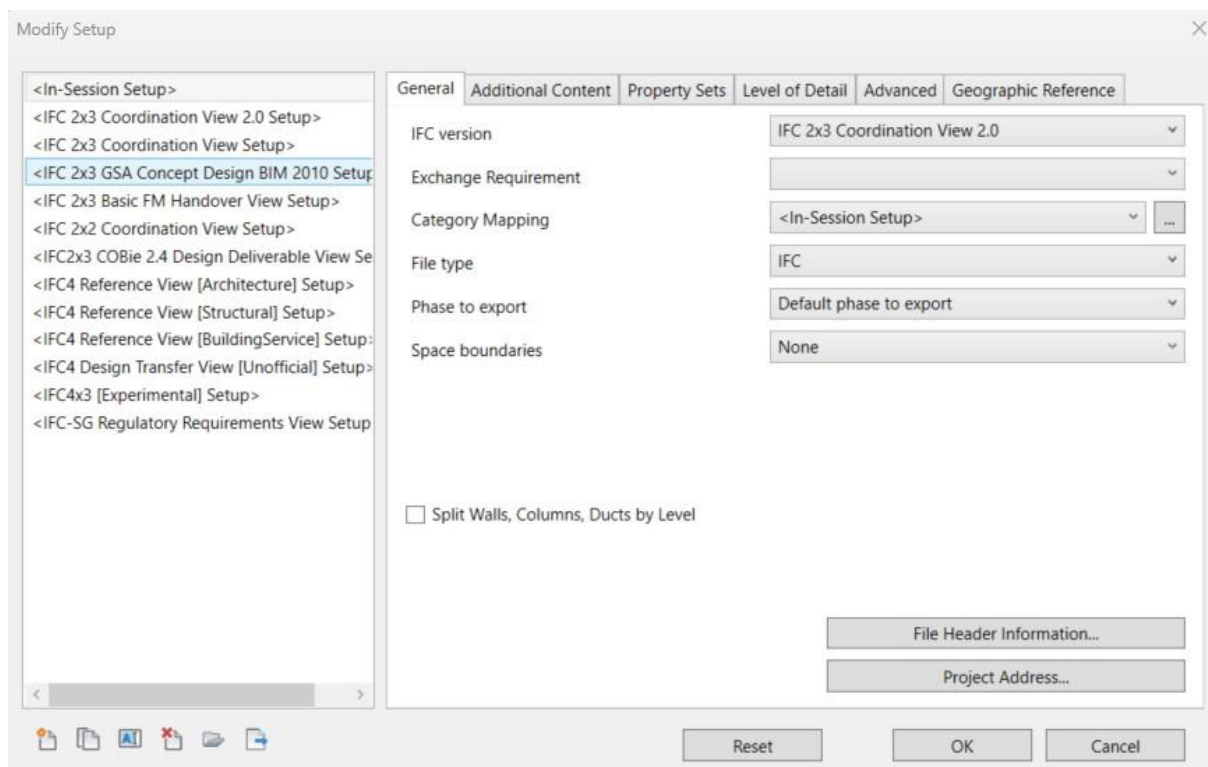
Slika 32.: Pikaz informacija za rasvjetni element

4.4. Provjera usklađenosti 3D BIM modela

Provjera usklađenosti 3D BIM modela započela je izvozom .rvt datoteke u .ifc datoteku i ključni je proces u osiguravanju da model ispunjava sve tehničke i projektne zahtjeve. Postavke izvoza iz Revita bile su sljedeće. Odabrana je IFC verzija „IFC 2x3 Coordination View 2.0“. Odabirom opcije "IFC version: IFC 2x3 Coordination View 2.0" pri izvozu .rvt datoteke u .ifc format postiže se stvaranje IFC datoteke koja je u skladu s verzijom IFC 2x3 i specifičnom potkategorijom Coordination View 2.0. Ova verzija je standardizirani set pravila i specifikacija koji omogućava razmjenu BIM modela između različitih softverskih alata, s posebnim naglaskom na koordinaciju između različitih struka, kao što su arhitektura, konstrukcija i MEP (mehanički, električni i vodovodni sustavi).

Odabirom ove opcije osigurava se bolja kompatibilnost IFC datoteke s većinom BIM alata, optimizirana razmjena ključnih informacija potrebnih za međudisciplinarnu koordinaciju te standardizacija podataka. Time se smanjuje rizik od sukoba i neusklađenosti u projektima te

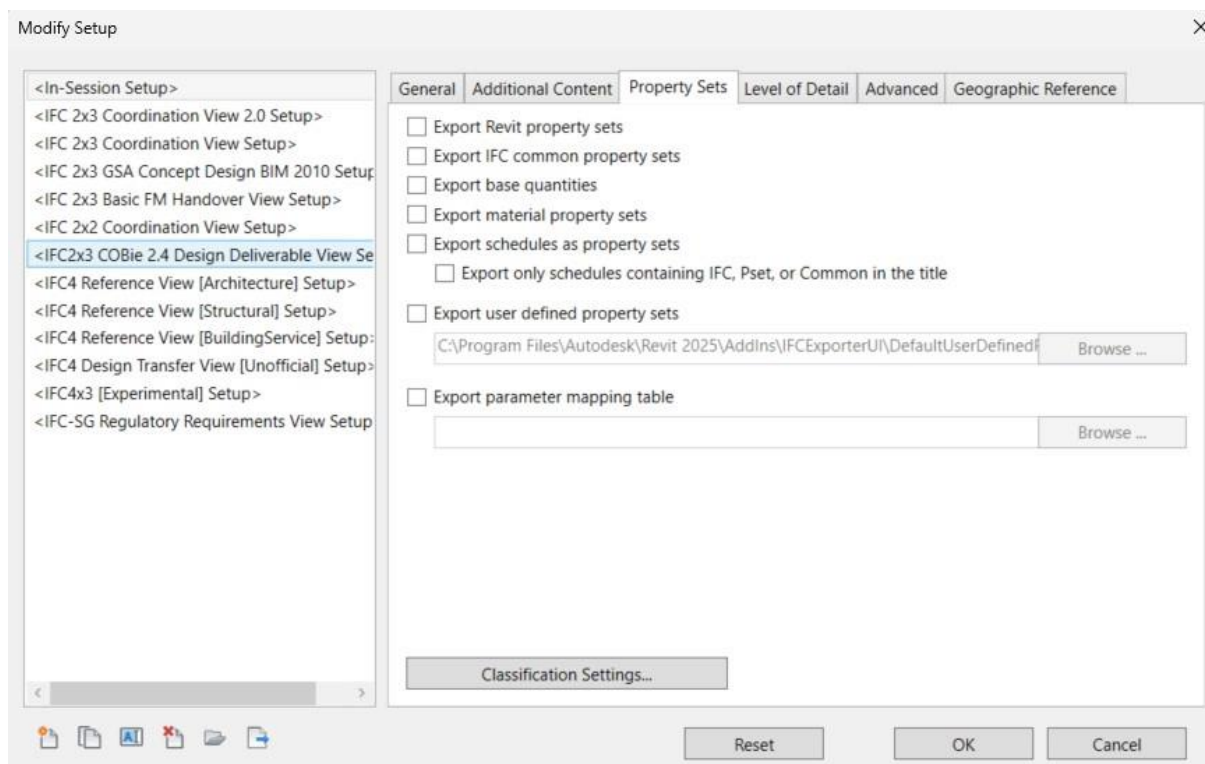
osigurava točnost i usklađenost informacija između svih uključenih struka. Na slici ispod prikazane su postavke izvoza.



Slika 33.: Postavke odabrane IFC verzije

Zatim, sljedeća opcija izvoza koja se mijenjala je gašenje opcije „Export IFC common property sets“. Gašenjem opcije "Export IFC common property sets" pri izvozu .rvt datoteke u .ifc format postiže se to da zajednički skupovi svojstava (common property sets) ne budu uključeni u izvozni IFC model.

To znači da IFC datoteka neće sadržavati dodatne standardizirane informacije ili metapodatke koje Revit inače dodaje tijekom izvoza, kao što su informacije o materijalima, parametrima ili drugim atributima koji su definirani unutar tih "common property sets." Ovaj izbor može smanjiti veličinu izvozne datoteke, ali također može rezultirati gubitkom nekih informacija koje bi mogle biti važne za daljnju obradu ili analizu modela u drugim BIM softverima. U nekim slučajevima, korisnici isključuju ovu opciju kada žele smanjiti količinu podataka u IFC datoteci ili kada ti zajednički skupovi svojstava nisu potrebni za specifične svrhe ili softvere s kojima će se model dalje koristiti. Na slici ispod prikazana je navedena opcija.

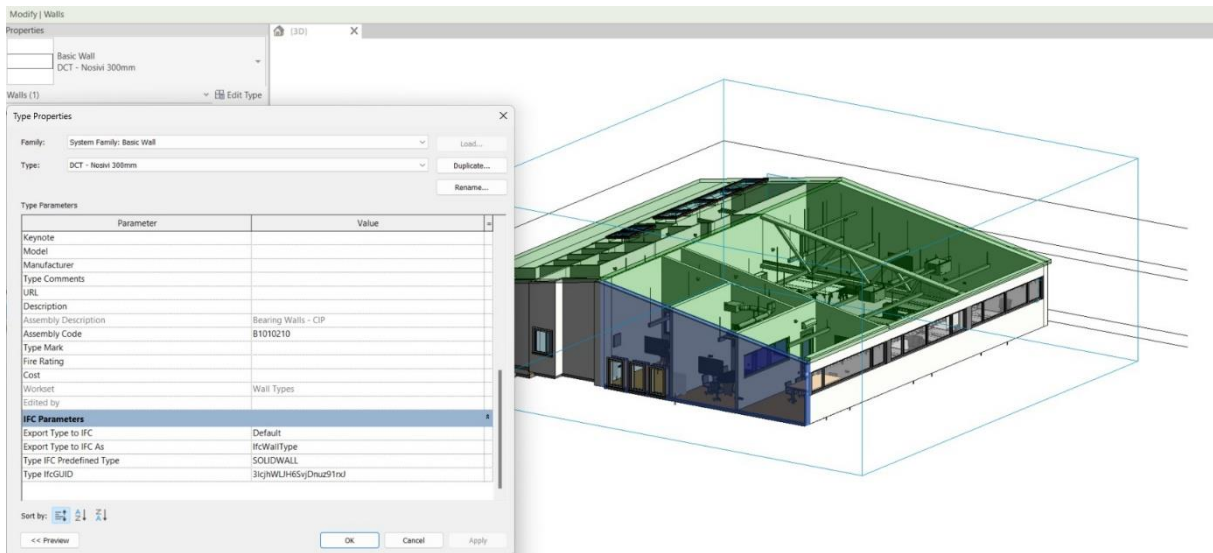


Slika 34.: Postavke izvoza IFC datoteke

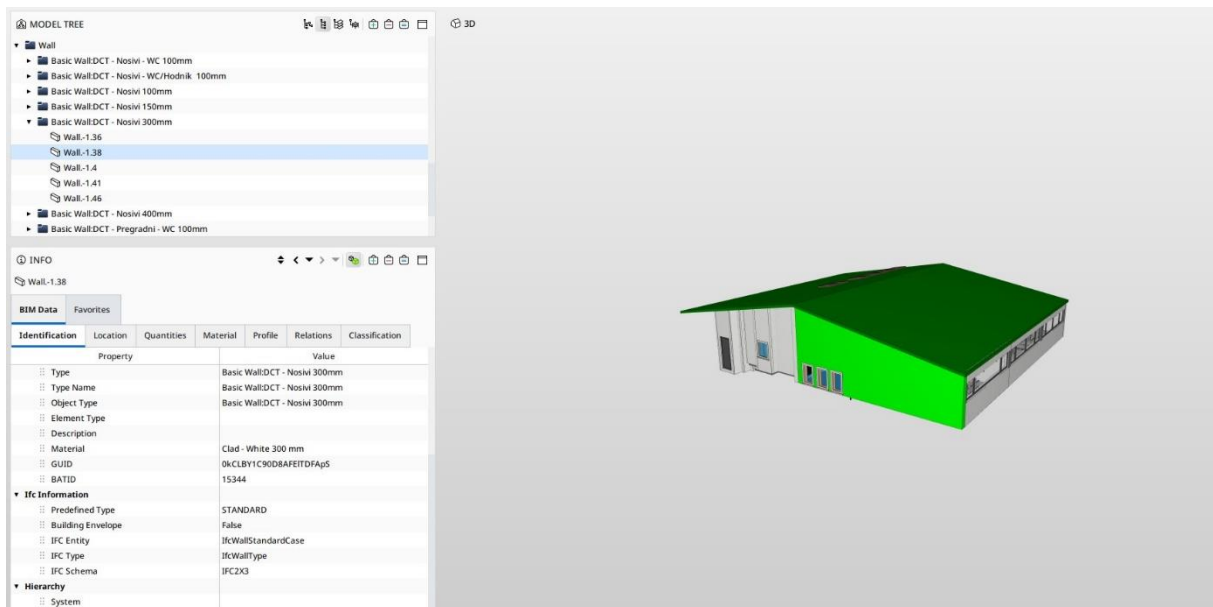
Ova provjera obuhvaća analizu geometrije, podataka i koordinaciju između različitih disciplina unutar modela kako bi se osiguralo da su svi elementi pravilno integrirani i u skladu sa standardima. Cilj je identificirati i otkloniti eventualne greške ili sukobe unutar modela prije nego što započne faza izgradnje, čime se smanjuje rizik od problema na gradilištu i osigurava uspješna realizacija projekta.

Za provjeru usklađenosti 3D BIM modela koristio se program Solibri Anywhere. Solibri Anywhere je softver za pregledavanje i analizu BIM modela koji omogućava korisnicima pregled i provjeru modela u svrhu otkrivanja sukoba, provjere kvalitete podataka i osiguravanja usklađenosti s projektom. Ovaj softver omogućuje jednostavan pristup modelu te pomaže u identifikaciji potencijalnih problema koji bi mogli utjecati na realizaciju projekta, što značajno doprinosi kvaliteti i uspješnosti cijelog procesa.

Tijekom provjere posebna pažnja posvećena je prijenosu informacija iz Revita u Solibri, odnosno procesu konverzije iz .rvt formata u .ifc format. Ova provjera osigurala je da se sve informacije pravilno prenesu i da model ostane konzistentan i točan. Cilj je bio provjeriti funkcionalnost i kvalitetu .ifc datoteke. Na slikama ispod vidljivo je kako su podaci preneseni iz .rvt u .ifc datoteku.



Slika 35.: Informacije zida u softveru Revit



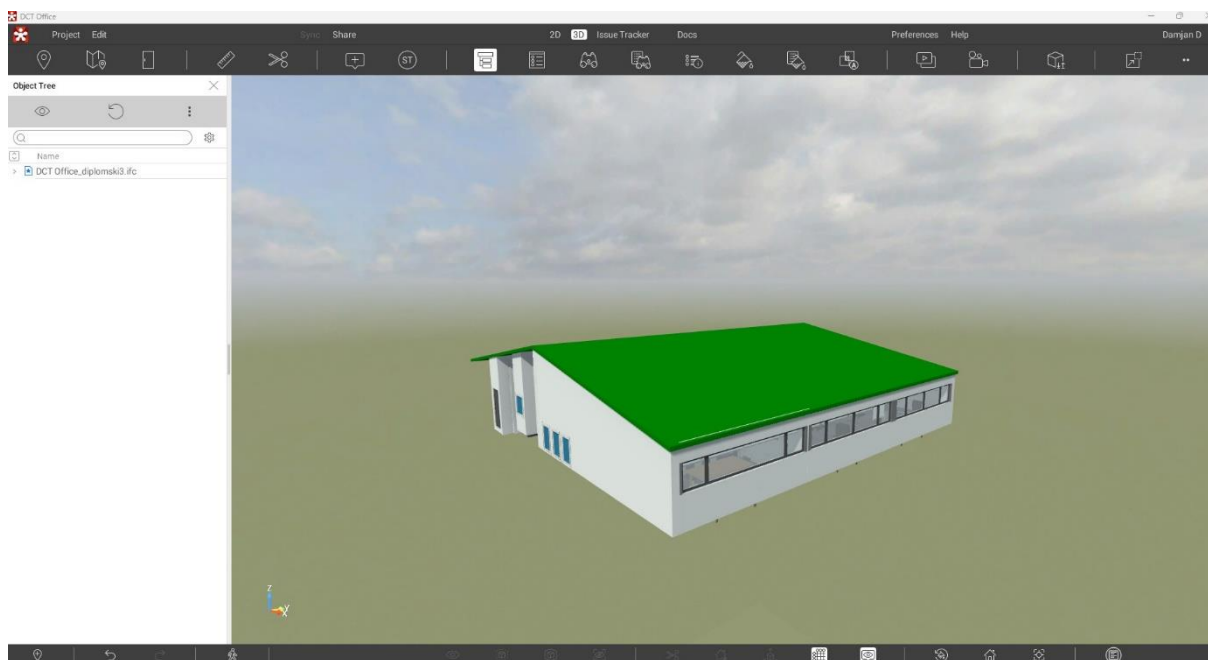
Slika 36.: Informacije zida u softveru Solibri

4.5. Analiza sudara

Analiza sudara (eng. Clash Detection) jedan je od ključnih koraka u procesu izrade BIM modela. Ovaj postupak podrazumijeva identificiranje i rješavanje sukoba ili sudara između različitih disciplina, kao što su arhitektura, građevina, strojarstvo i električna, unutar 3D modela. Cilj analize sudara je osigurati da svi elementi različitih struka budu pravilno koordinirani i integrirani, čime se izbjegavaju potencijalni problemi koji bi mogli nastati tijekom izgradnje.

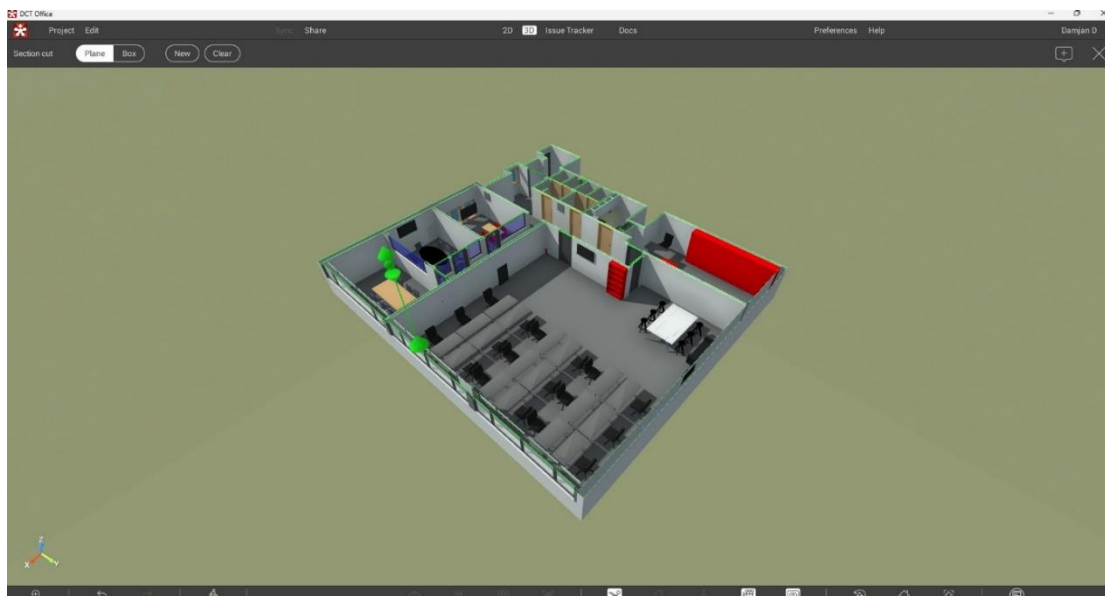
Analiza sudara u Reviztu provodi se pomoću alata koji omogućuju usporedbu različitih 3D modela kako bi se otkrili sukobi između elemenata iz različitih struka. Proces funkcionira na sljedeći način:

- **Uvoz modela:** Prvi korak je uvoz 3D modela iz različitih struka u Reviztu. Ovi modeli mogu dolaziti iz različitih izvora, poput Revit, Navisworks, AutoCAD i drugih BIM softvera. Reviztu omogućuje rad s više formata datoteka, uključujući IFC, što omogućuje integraciju svih relevantnih disciplina u jedan zajednički model. Na slici ispod nalazi se uvezeni 3D model.



Slika 37.: Uvezeni 3D model

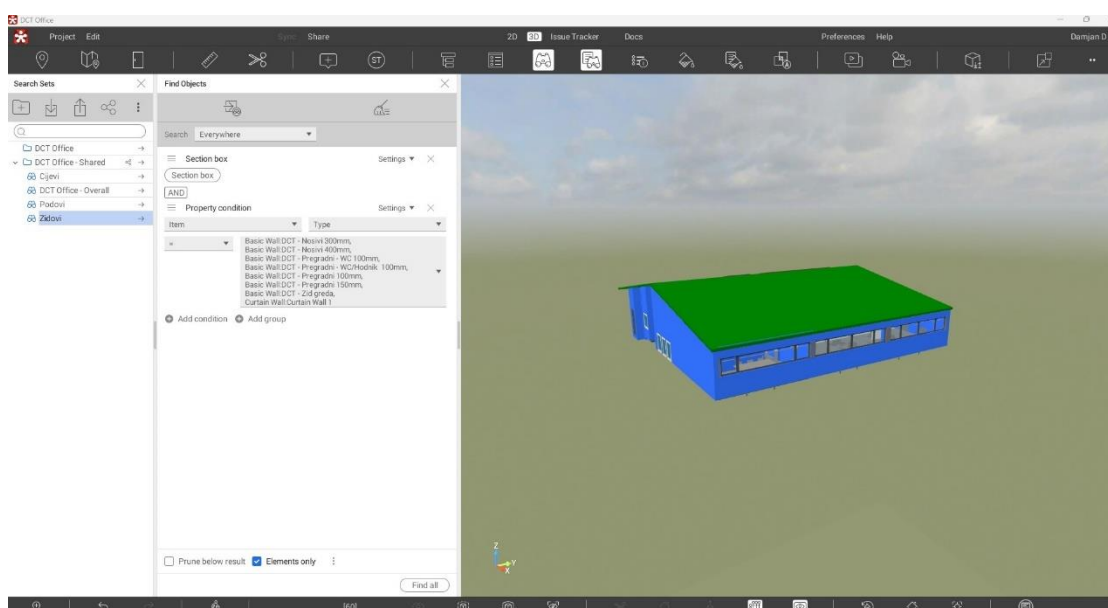
- **Pregled modela:** Nakon uvoza, modeli se pregledavaju unutar Revizta. Softver omogućuje korisnicima da lako navigiraju kroz modele, pregledavaju ih iz različitih kutova i slojeva, te identificiraju potencijalne sukobe vizualnim pregledom. Pomoću naredbe Section Cut moguće je dobiti presjek modela što nam olakšava pregled uvezenog modela i pronalazak potencijalnih grešaka pri uvozu. Na slici ispod nalazi se presjek ureda.



Slika 38.: Presjek uvezenog modela

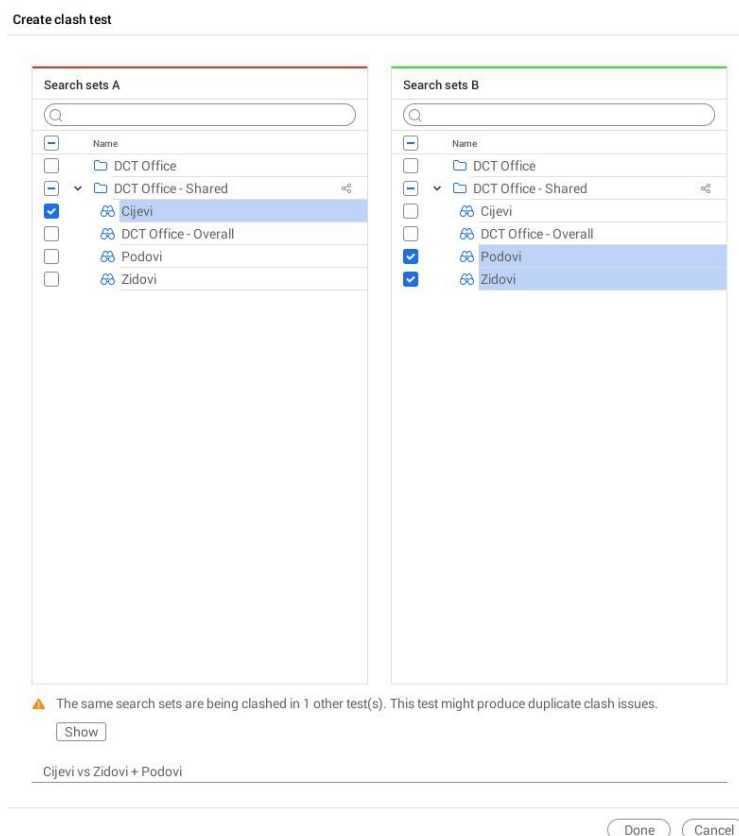
- **Postavljanje pravila za analizu sudara:** Nakon pregleda modela potrebno je definirati pravila za analizu sudara. Korisnici mogu definirati pravila za analizu sudara unutar Revizta. To uključuje određivanje koje elemente ili grupe elemenata treba usporediti i koje vrste sudara treba otkriti (npr. geometrijski sudari između cijevi i zidova ili podova). Pravila mogu biti opća ili vrlo specifična, ovisno o potrebama projekta. Ovo je izuzetno bitan korak, jer se tu određuje koje će elemente program promatrati.

Prvi korak je izrada skupova pretraživanja (Search Sets). Izrada podrazumjeva odabir željenih elemenata unutar modela i njihovo grupiranje koje program sam obavlja. Za potrebe ovog primjera napravljena su 3 skupa pretraživanja: Podovi, Cijevi i Zidovi. Skup pretraživanja jednom kada je označen mijenja boju u plavo kako bi ga bilo lakše identificirati. Na slici ispod prikazan je jedan od tri skupa pretraživanja.



Slika 39.: Skup pretraživanja Zidovi

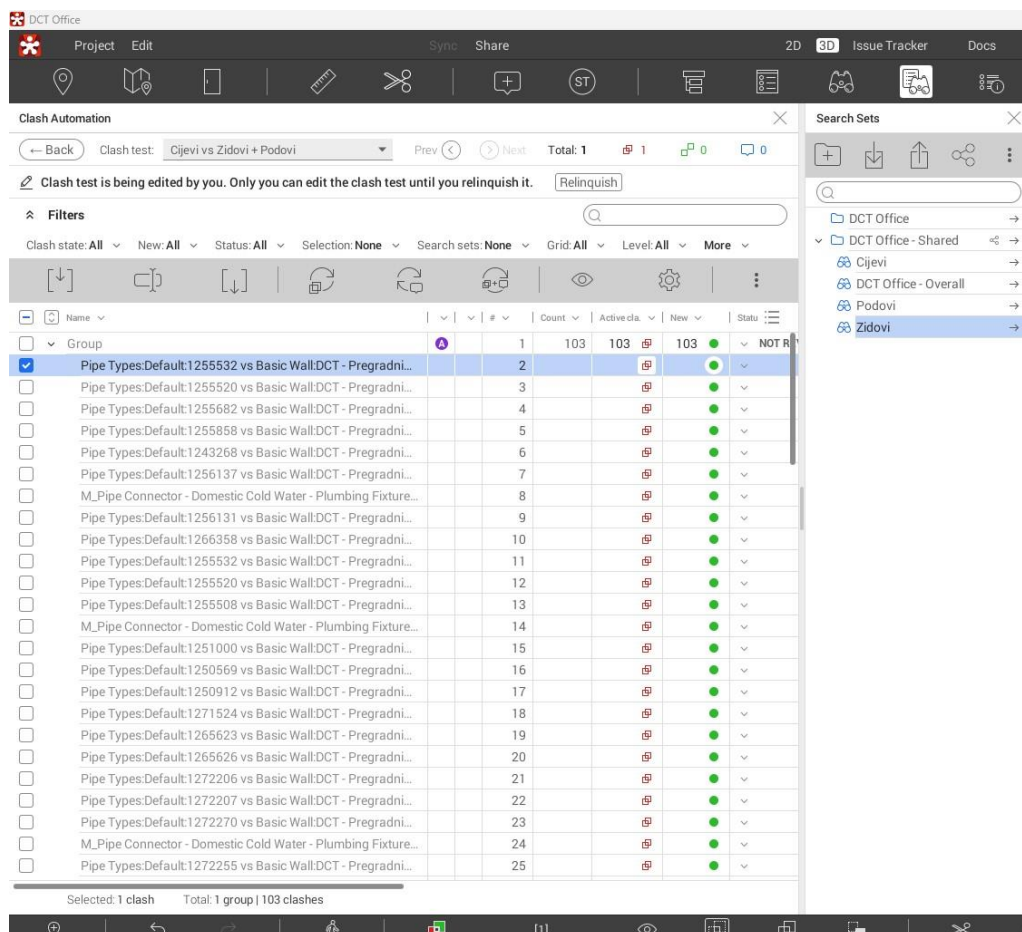
Drugi korak je postavljanje pravila za izradu analize sudara pomoću naredbe Clash Automation. Prvo je potrebno odrediti između kojih će se skupova pretraživanja analiza sudara odrađivati. U ovom primjeru to će biti analiza sudara između skupa pretraživanja Cijevi i skupova pretraživanja Zidovi i Podovi. Test sudara je nazvan „Cijevi vs Zidovi + Podovi“. Na slici ispod prikazano je postavljanje pravila za analizu sudara.



Slika 40.: Postavljanje pravila za analizu sudara

- **Automatizirana analiza:** Nakon postavljanja pravila, Revizto provodi automatsku analizu modela i otkriva sukobe na temelju zadanih kriterija. Softver prepoznaje gdje se elementi međusobno presijecaju ili su u prebliskom kontaktu, a zatim te sukobe evidentira i kategorizira.

Nakon provedene automatizirane analize, softver je pronašao 103 sukoba među odabranim strukama. Na slici ispod prikazan je rezultat analize.

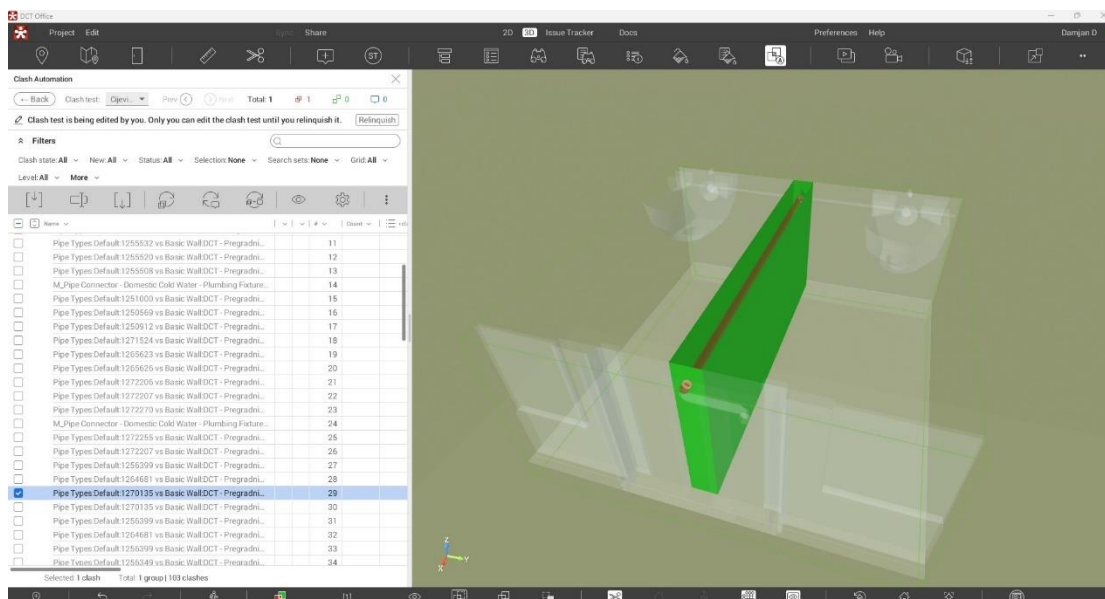


Slika 41.: Pikaz pronađenih sukoba

- **Pregled i upravljanje sukobima:** Otkriveni sukobi prikazuju se u sučelju Revizta, gdje korisnici mogu pregledati svaku pojedinačnu točku sukoba. Sukobi se mogu grupirati prema struci, ozbiljnosti ili drugim kriterijima, što olakšava upravljanje i rješavanje problema.

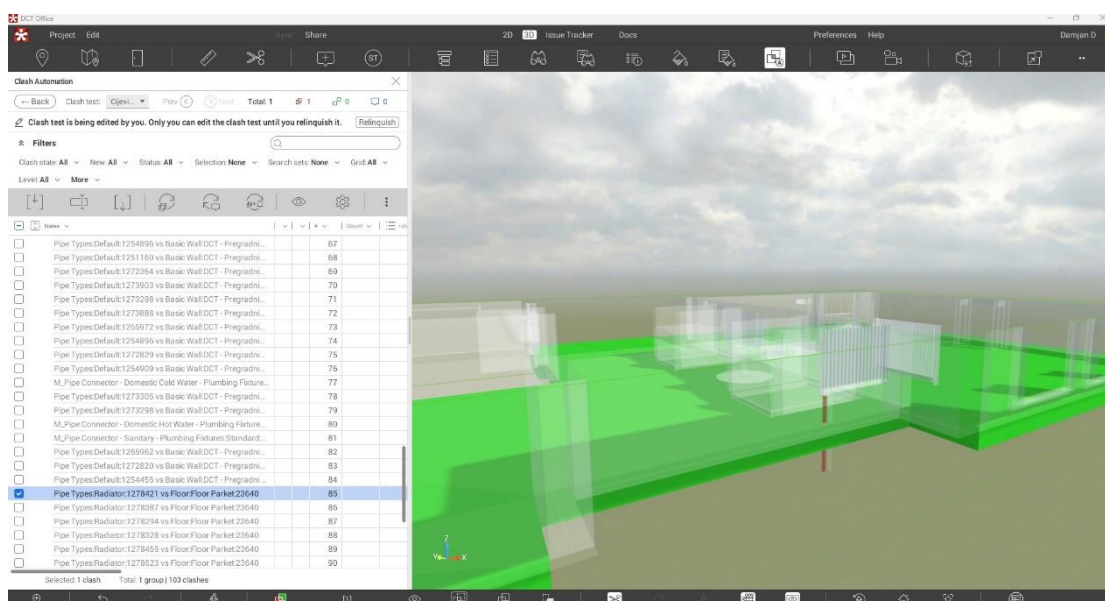
Naravno, nisu sva 103 sudara validna. Softver je još uvijek samo alat koji zahtjeva ljudsku provjeru. Potrebno je provjeriti sve izbačene sudare izdvojiti ispravne (dozvoljene) od neispravnih (neprihvatljivi). Obzirom da na ovom projektu nije radilo više ljudi iz različitih struka već samo jedna osoba, broj neispravnih sudara bit će malen.

Promotriti će se jedan od brojnih ispravnih sudara. Riječ je o vodovodnoj cijevi koja prolazi kroz zid toaleta. To je cijev koja tamo mora biti i kao takva je modelirana u Revitu unutar zida. Cijev je u analizi sudara prikazana crvenom bojom, a zid zelenom. Na slici ispod je prikazan sudar.



Slika 42.: Prikaz ispravnog sudara

Nadalje će se promotriti neispravni sudar. Promatrat će se cijev radijatora koja prolazi kroz temeljnu ploču. Ta cijev nebi smjela u potpunosti prolaziti kroz temeljnu ploču i to se smatra kao neispravni sudar. Na slici ispod prikazan je navedeni neispravni sudar.

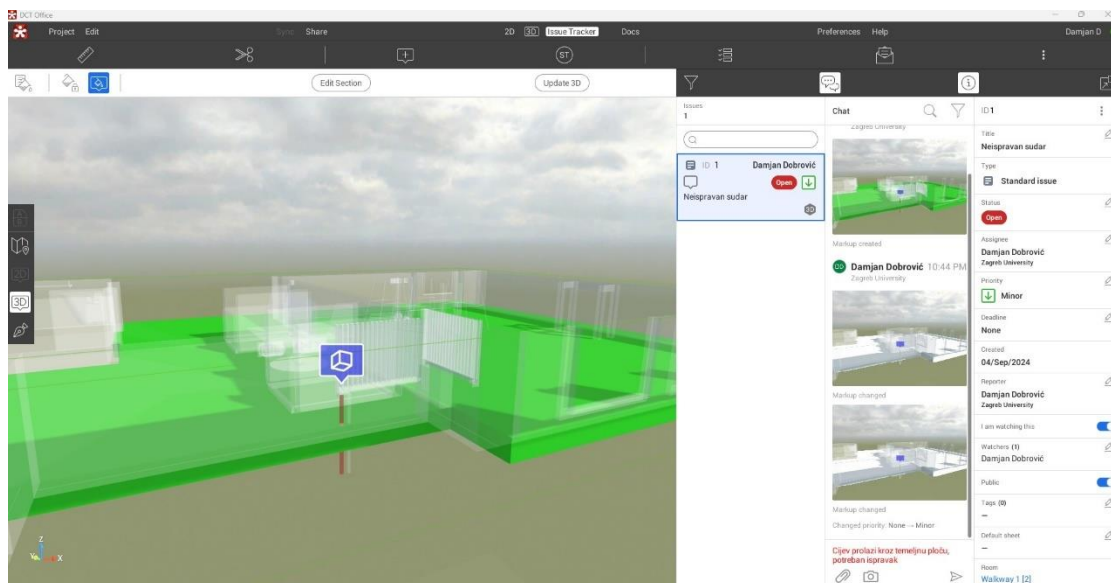


Slika 43.: Prikaz neispravnog sudara

- **Izrada izvješća:** Revizito omogućuje izradu izvješća o sukobima, koje se može dijeliti s članovima tima. Ova izvješća uključuju detaljne informacije o svakom sukobu, uključujući njegovu lokaciju u modelu, zahvaćene elemente, te moguće rješenje.

Nakon uočenog neispravnog sudara potrebno je dati komentar sa jasnim uputama timu za modeliranje kako bi se problem na vrijeme ispravio. Sudar se obilježava pomoću naredbe New Issue. Revizito ima mogućnost određivanja prioriteta sudara. Za ovaj primjer određen je manji prioritet jer je riječ o jednostavnom sudaru koji nema veliki

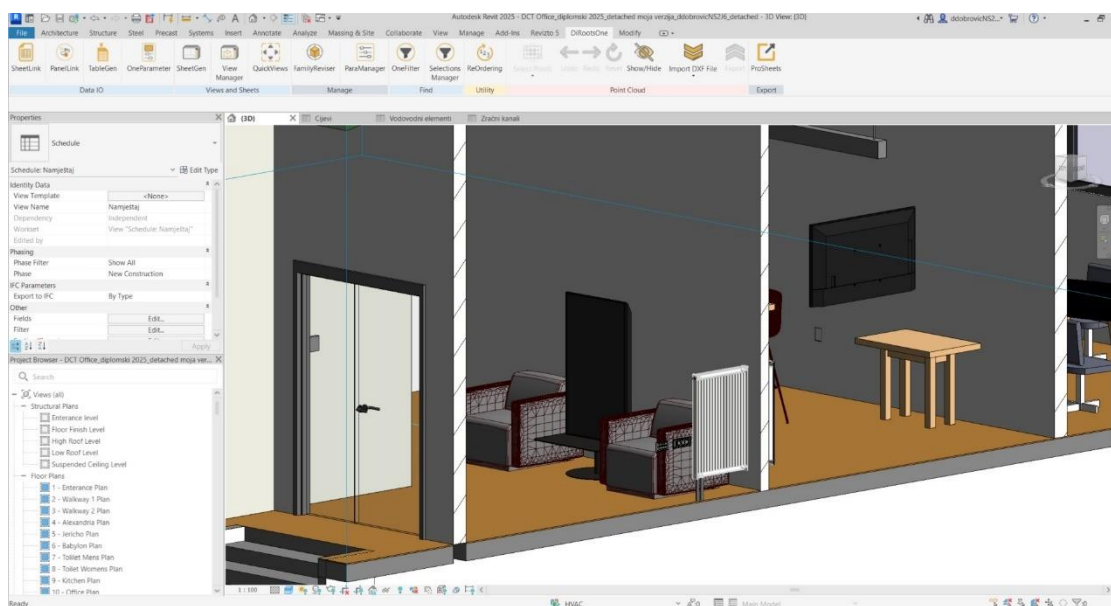
utjecaj na ostatak građevine. Također je postavljen komentar koji jasno opisuje prikazani sudar. Na slici ispod je prikazan spomenuti sudar s komentarom.



Slika 44.: Prikaz izvješća o sudaru

- **Rješavanje sukoba:** Nakon identifikacije, sukobi se mogu riješiti unutar izvornog BIM softvera (poput Revit-a). Revizto omogućuje sinkronizaciju s tim softverom, tako da se promjene mogu brzo uvesti natrag u model, a ažurirani modeli ponovno provjeriti kako bi se osiguralo da su svi sukobi ispravljani.

Potrebno je vratiti se u Revit i ispraviti navedenu grešku. Cijevi koje su prolazile kroz temeljnu ploču su korigirane na željenu dužinu kako je prikazano na slici ispod.



Slika 45.: Prikaz rješenja sukoba

- **Kolaboracija i praćenje napretka:** Revizto pruža alate za kolaboraciju, gdje članovi tima mogu komentirati, predlagati promjene i pratiti napredak u rješavanju sukoba. Svi sudionici projekta imaju pregled nad time koje su promjene napravljene i koje sukobe još treba riješiti. Svi sudionici na projektu imaju pristup modelu i izvješćima te mogu komentirati i iznositi svoje mišljenje o danom sudaru.

4.6. Integracija 3D modela i vremenskog plana

4D modeliranje u građevinskoj industriji predstavlja integraciju trodimenzionalnog (3D) modela građevinskog objekta s vremenskim planom izgradnje, dodajući četvrtu dimenziju – vrijeme. Ovaj pristup omogućuje dinamičnu vizualizaciju i simulaciju građevinskih procesa kroz vrijeme, što pomaže u boljem planiranju, optimizaciji resursa, prepoznavanju potencijalnih problema te donošenju informiranih odluka tijekom projekta.

Proces izrade 4D modela započinje povezivanjem elemenata 3D modela s aktivnostima iz vremenskog plana koji se može izraditi alatu poput Microsoft Projecta te sličnih softvera za upravljanje projektima ili direktno u Synchru. Svaki građevinski element unutar 3D modela dobiva točno određenu vremensku oznaku koja se odnosi na fazu projekta u kojoj se taj element gradi, postavlja ili uklanja. Na taj način moguće je pratiti tijek izgradnje, kao i provjeriti usklađenost planiranih aktivnosti s realnim stanjem na gradilištu.

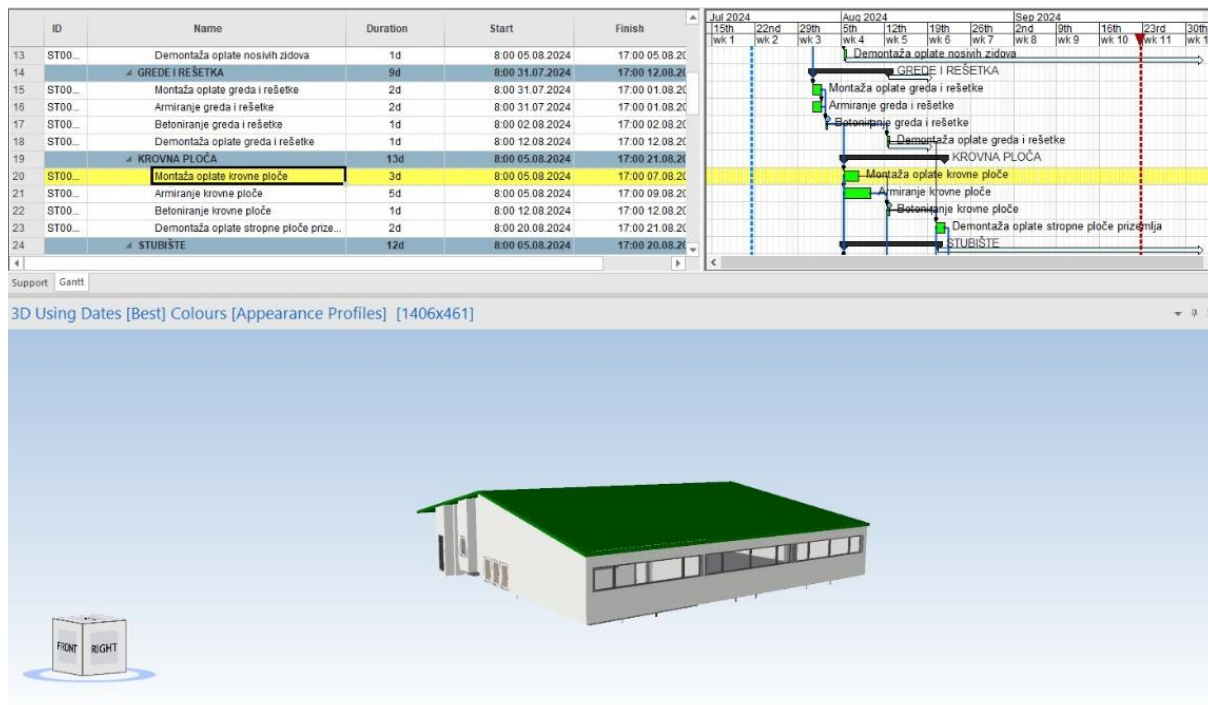
Ova vrsta vizualnog prikaza ključna je za integraciju dimenzije vremena s trodimenzionalnim BIM modelom, čime se postiže 4D simulacija. Ova integracija omogućuje vizualizaciju napretka građevinskih radova kroz vrijeme, što je od velike važnosti za projektante, izvođače i investitore. Tako 4D model postaje moćan alat za upravljanje projektom, pružajući bolji uvid u stvarnu izvedbu projekta i omogućavajući optimizaciju procesa.

U daljnjoj analizi, vremenski plan bit će korišten kao osnovni alat za stvaranje 4D modela, gdje će se simulirati vremenski slijed aktivnosti. To će nam omogućiti da detaljno analiziramo svaku fazu radova, usporedimo planirane i stvarne aktivnosti, te utvrdimo moguća odstupanja ili izazove koji bi mogli nastati tijekom stvarne izgradnje. Na taj način, vremenski plan ne samo da pridonosi tehničkoj preciznosti 4D modela, već i omogućuje dublje razumijevanje kompleksnosti upravljanja građevinskim projektom. Korišteni vremenski plan nalazi se u prilogu.

Proces izrade 4D modela izgledao je ovako:

- **Priprema podataka:** Prvi korak bio je osigurati da su svi potrebni podaci dostupni i spremni za integraciju. To je uključivalo gotov 3D model izrađen u Revit-u i vremenski plan izrađen u MS Project-u u obliku gantograma.

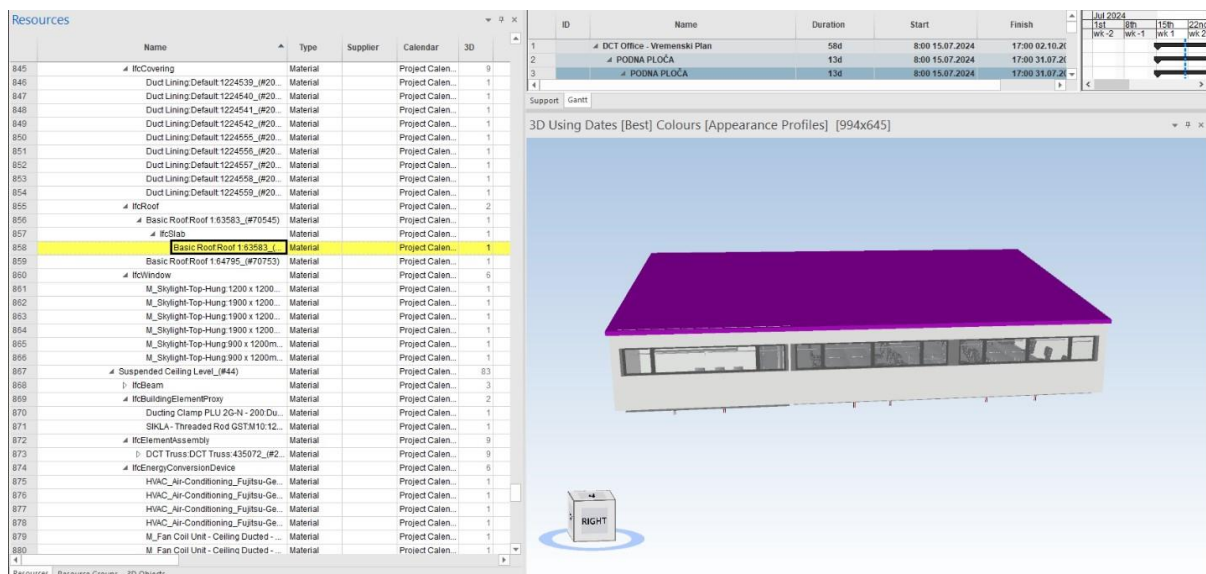
- **Uvoz podataka u Synchro 4D:** Nakon pripreme podataka, 3D model i vremenski plan uvezeni su u Synchro 4D. Ovaj korak omogućio je da se svi elementi modela i aktivnosti vremenskog plana nađu u istom softverskom okruženju, spremni za povezivanje. Uvezeni grafički i negrafički podaci prikazani su na slici ispod.



Slika 46.: Uvezeni 3D model i vremenski plan

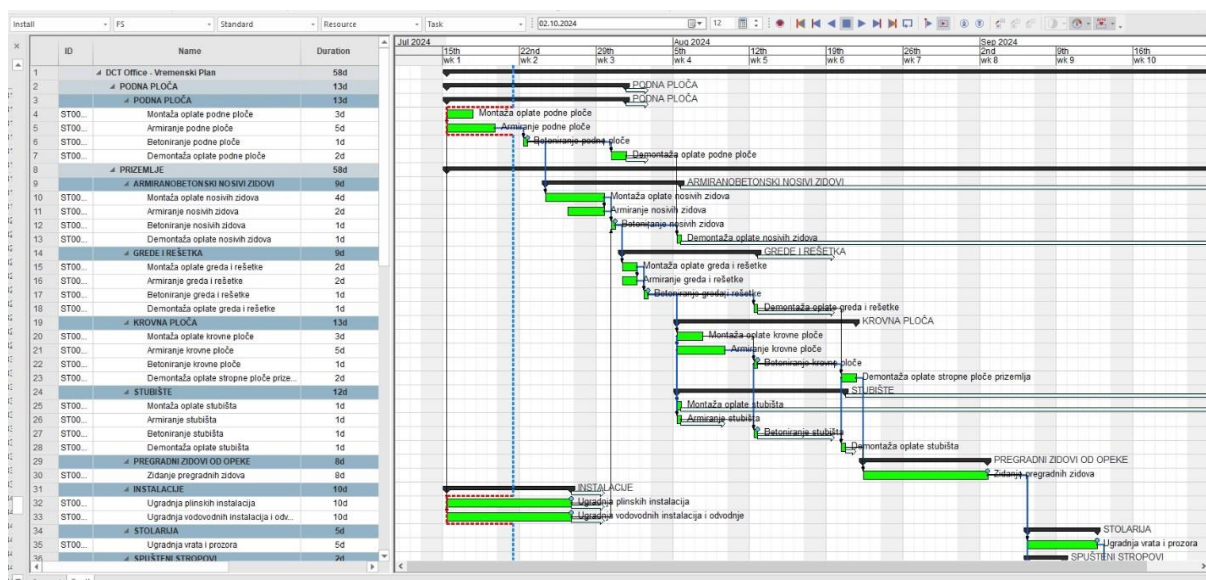
- **Provjera uvezenih podataka:** Nakon uvoza potrebno je provjeriti grafičke i negrafičke podatke, odnosno uvezeni 3D model i vremenski plan. Prvo se vrši provjera 3D modela. Potrebno je provjeriti jesu li svi elementi uvezeni u Synchro. Provjera se vrši na način da se u kartici Resources označava jedan po jedan element modela koji kada je označen

mijenja boju u ljubičasto. Tako se redom može pregledati model i utvrditi jeli uvezen ispravno ili ne. Primjer za krovnu ploču je dan na slici ispod.



Slika 47.: Provjera grafičkih informacija u Synchru

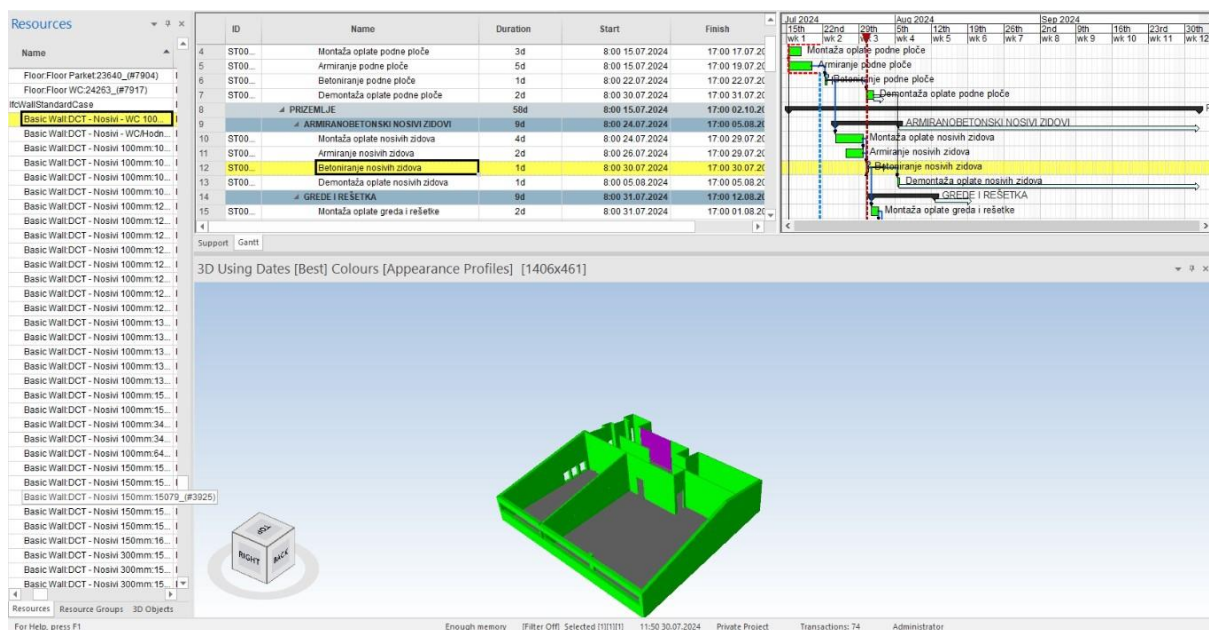
Nadalje, potrebno je provjeriti točnost uvezenog vremenskog plana. Proces je sličan provjeri grafičkih informacija. U Synchru se otvori vremenski plan koji se zatim uspoređuje s onim uvezenim. Ukoliko ima grešaka, potrebno je ponoviti uvoz plana. Primjer za vremenski plan dan je na slici ispod.



Slika 48.: Provjera negrafičkih informacija u Synchru

- **Ručno dodjeljivanje elemenata vremenskom planu:** Svaki građevinski element iz 3D modela ručno je dodijeljen odgovarajućim aktivnostima iz vremenskog plana. Ovaj proces zahtijevao je preciznost i razumijevanje kako bi se osiguralo da su svi elementi

pravilno povezani s vremenskim fazama koje odgovaraju stvarnom tijeku izgradnje. Proces je prikazan na slici ispod



Slika 49.: Proces dodjeljivanja 3D elemenata 4D modelu

- **Provjera i prilagodba:** Nakon što su svi elementi povezani s aktivnostima, cijeli 4D model pregledan je kako bi se provjerila točnost i usklađenost. U ovoj fazi provodile su se prilagodbe gdje god je bilo potrebno, kako bi se osiguralo da model odražava stvarne uvjete izgradnje.
- **Izrada simulacija:** Nakon što su svi podaci povezani, izrađene su simulacije tijeka izgradnje. Ove simulacije omogućile su pregledavanje kako će se projekt odvijati kroz vrijeme, pružajući vizualni uvid u svakodnevne građevinske aktivnosti.
- **Analiza i optimizacija:** Konačno, analizirani su rezultati simulacija kako bi se identificirale moguće prepreke ili sukobi. Ovaj korak omogućio je prilagodbu vremenskog plana i modela kako bi se optimiziralo izvođenje projekta, smanjile greške i osiguralo pravovremeno dovršavanje izgradnje.

5. ZAKLJUČAK

Zaključak ovog rada sažima ključne aspekte i rezultate postignute kroz razradu teme, usmjerenje na primjenu IFC standarda u izradi 4D BIM modela te analizu uloge BIM tehnologije u građevinskoj industriji. Predmet rada bio je istražiti kako standardizacija i interoperabilnost kroz IFC standarde mogu unaprijediti procese projektiranja i izvedbe građevinskih projekata, s posebnim naglaskom na 4D modeliranje.

Kroz rad je korišten niz metoda, tehnika i alata. Analiza je započela s teoretskim pregledom ključnih BIM standarda, IFC standarda, razina razvijenosti i klasifikacijskih sustava, čime je postavljen temelj za razumijevanje složenosti i mogućnosti koje BIM tehnologija pruža. U praktičnom dijelu, fokus je bio na korištenju Revit-a za izradu 3D modela, Solibrija za provjeru usklađenosti 3D modela, te Synchro 4D za integraciju tih elemenata u 4D BIM model. Također, korišteni su programi Solibri Anywhere i Revizto za provjeru usklađenosti i analizu sudara različitih struka, čime je osigurana točnost i koordinacija modela.

Jedan od ključnih rezultata rada je uspješno povezivanje vremenskog plana s 3D modelom, čime je stvoren funkcionalan 4D model koji omogućuje simulaciju i analizu faza izgradnje kroz vrijeme. Ovaj model dokazao je svoju vrijednost u unapređenju planiranja i smanjenju rizika od pogrešaka tijekom izvođenja radova, što može rezultirati skraćanjem trajanja projekta i smanjenjem troškova. Analiza je također pokazala važnost točnog prijenosa informacija iz Revit-a u Solibri, naglašavajući ulogu IFC standarda u osiguravanju interoperabilnosti između različitih softverskih alata.

Rad je potvrdio pretpostavku da primjena BIM tehnologije, a posebno 4D modeliranja u kombinaciji s IFC standardima, značajno doprinosi povećanju učinkovitosti i kvalitete u građevinskim projektima. S druge strane, rad je ukazao na potrebu za daljnjim razvojem i prilagodbom softverskih alata kako bi se olakšala interoperabilnost i smanjili potencijalni izazovi prilikom prijenosa podataka. Točnije, na potrebu za daljnjim razvojem i prilagodbom softverskih alata zbog izazova s kompatibilnošću formata, koji često dovode do gubitka informacija ili netočnih podataka pri prijenosu između različitih sustava. Također, složeni modeli, koji uključuju različite discipline, dodatno povećavaju te izazove, a unatoč postojećim standardima poput IFC-a, nesuklađenosti u interpretaciji i primjeni tih standarda među softverima često uzrokuju probleme. Daljnji razvoj alata mogao bi značajno poboljšati standardizaciju, interoperabilnost i koordinaciju između različitih struka.

Zaključno, ovaj diplomski rad pokazuje da su metode i alati korišteni u izradi 4D BIM modela, uz primjenu IFC standarda, neophodni za modernizaciju i optimizaciju procesa u građevinskoj industriji. Rezultati rada pružaju smjernice za daljnje istraživanje i primjenu BIM tehnologije, ističući važnost standardizacije i integracije kao ključnih elemenata za uspješnu realizaciju građevinskih projekata. Također, rad pokazuje važnost pravilnog strukturiranja informacija u BIM modelu što predstavlja temelj za razmjenu informacija.

POPIS LITERATURE

buildingSMART Standards & Technologies (2024) [Online] Dostupno na: <https://technical.buildingsmart.org/standards/> (Pristupljeno: 24. srpnja 2024.).

UK BIM Framework (2024) [Online] Dostupno na: <https://app.morta.io/project/a690e3a3-aa56-4a14-bb59-887f9c743b31/process/0e0db609-09a6-423d-a2c6-5093e8314f14> (Pristupljeno: 1. rujna 2024.).

HRN EN ISO 19650-1:2019, Organizacija i digitalizacija informacija o zgradama i inženjerskim građevinama uključujući modeliranje informacija o građevinama (BIM) – Upravljanje informacijama o građevinama – 1. dio: Koncepti i načela (ISO 19650-1:2018; EN ISO 19650-1:2018).

HRN EN ISO 19650-2:2019, Organizacija i digitalizacija informacija o zgradama i inženjerskim građevinama uključujući modeliranje informacija o građevinama (BIM) – Upravljanje informacijama o građevinama – 2. dio: Faza isporuke imovine (ISO 19650-2:2018; EN ISO 19650-2:2018).

HRN EN ISO 19650-3:2020, Organizacija i digitalizacija informacija o zgradama i inženjerskim građevinama uključujući modeliranje informacija o građevinama (BIM) – Upravljanje informacijama o građevinama – 3. dio: Operativna faza imovine (ISO 19650-3:2020; EN ISO 19650-3:2020).

HRN EN ISO 19650-4:2022, Organizacija i digitalizacija informacija o zgradama i inženjerskim građevinama uključujući modeliranje informacija o građevinama (BIM) – Upravljanje informacijama o građevinama – 4. dio: Razmjena podataka (ISO 19650-4:2022; EN ISO 19650-4:2022).

HRN EN ISO 19650-5:2020, Organizacija i digitalizacija informacija o zgradama i inženjerskim građevinama uključujući modeliranje informacija o građevinama (BIM) – Upravljanje informacijama o građevinama – 5. dio: Sigurnosni pristup upravljanju informacijama (ISO 19650-5:2020; EN ISO 19650-5:2020).

HRN EN ISO 16739-1:2024, Industry Foundation Classes (IFC) za razmjenu podataka u građevinskoj industriji i industriji upravljanja održavanjem građevina – 1. dio: Shema podataka (ISO 16739-1:2024; EN ISO 16739-1:2024).

Amor, R. (2015) 'Analysis of the Evolving IFC Schema', *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference*, Eindhoven, The Netherlands, 27.-29. lipnja. Eindhoven, In-house publishing, str. 39-47.

Yu, Y. I drugi (2023) 'A Systematic Review of the Trends and Advances in IFC Schema Extensions for BIM Interoperability', *Application of Geographic Information System and Building Information Modelling*, vol. 2, br. 13, str. 2-25.

- building SMART IFC Specifications Database (2024) [Online] Dostupno na: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (Pristupljeno: 25. srpnja 2024.).
- Lee, S.H. i drugi (2016) 'Development of an IFC-Based Data Schema for the Design Information Representation of the NATM Tunnel', *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 20, br.6, str. 2112-2123.
- buildingSMART IFC 4.3.2.0 (IFC4X3_ADD2) official (2024) [Online] Dostupno na: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/ (Pristupljeno: 25. srpnja 2024.).
- Abualdenien, J. i Borrmann, A. (2022) 'Levels of Detail, Development, Definition, and Information Need: A critical literature review', *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 27, str. 363-392.
- Van Berlo, L. i Bomhof, F. (2014) *Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Delft, The Netherlands, 23. lipnja 2018, Netherlands organisation for applied scientific research TNO, str. 2-13
- Ying, H. i drugi (2019) 'Forecasting the net costs to organisations of building information modelling (BIM) implementation at different levels of development (LOD)', *Journal of information technology in construction*, vol. 24, str. 594-595.
- BIMForum Level of Development (LOD) Specification (2024) [Online] Dostupno na: <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/> (Pristupljeno: 2. rujna 2024.).
- Churchill, A. (2024) 'Level Of Information Need', *Catenda* [Online]. Dostupno: <https://catenda.com/glossary/level-of-information-need/> (Pristupljeno: 26. srpnja 2024.).
- Ding, L. i drugi (2014) 'Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD', *Automation in construction*, vol. 46, str. 82-93.
- Dadashi Haji, M. i drugi (2021) 'The Effects of BIM Maturity Level on the 4D Simulation Performance: An Empirical Study', *International Journal of Engineering*, vol. 34, br. 3, str. 606-614.
- Charef, R., Alaka, H. i Emmit, S. (2018) 'Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views', *Journal of Building Engineering*, vol. 19, str. 242-257.
- Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzaez, M. J., i Terrados-Cepeda, J. (2020) 'Sustainability and energy efficiency: BIM 6D. Study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation', *Sustainability*, vol. 12(14), br. 5731, str. 1-29.
- Kapogiannis, G., Gaterell, M., Oulasoglou, E (2015) 'Identifying uncertainties toward sustainable projects, Chong, W. (ur.), *Defining the Future of Sustainability and Resilience in*

Design, Engineering and Construction, Chicago, United States of America, 10.-13. Svibnja. Chicago, Procedia Engineering , str. 1077-1085.

Ocean, J. (2020) 'BIM dimensions explanation and benefits. 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, 7D and 8D BIM.', *Revizto* [Online]. Dostupno: <https://revizto.com/en/2d-3d-4d-5d-6d-bim-dimensions/> (Pristupljeno 26. srpnja 2024.)

Sadrinooshabadi, S. i drugi (2020) 'Requirement management in a life cycle perspective based on ISO 19650-1 and CoClass as the new classification system in Sweden', *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, br. 3, str. 1-5.

Pupeikis, D. i drugi (2022) 'Comparative Study of Construction Information Classification Systems: CCI versus Uniclass 2015', *Buildings*, vol. 12, br. 656, str. 1-15.

HRN EN ISO 12006-2:2020, Građenje – Organiziranje informacija o građevinama – 2. dio: Okvir za razredbu (ISO 12006-2:2015; EN ISO 12006-2:2020)

Haekyung, I. i drugi (2021) 'Development of an Ontological Cost Estimating Knowledge Framework for EPC Projects', *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 25, br. 5, str. 1578-1591.

Leite, F. i Akinci, B. (2012) 'Formalized Representation for Supporting Automated Identification of Critical Assets in Facilities during Emergencies Triggered by Failures in Building Systems', *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 26, br. 4, str. 519-529.

Unified Construction Classification (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass> (Pristupljeno: 26. srpnja 2024.)

OmniClass (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass> (Pristupljeno: 26. srpnja 2024.)

UniFormat (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.csiresources.org/standards/uniformat> (Pristupljeno: 26. srpnja 2024.)

BIM objects (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.bimobject.com/en> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

FARO (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.faro.com/en/Products/Software/SCENE-Software> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

Autodesk (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

Twinmotion (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.twinmotion.com/en-US> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

Solibri (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.solibri.com/solibri-anywhere> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

Revizto (2024) [Online]. Dostupno na: <https://revizto.com/en/2d-3d-4d-5d-6d-bim-dimensions/> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

Bentley Systems (2024) [Online]. Dostupno na: <https://www.bentley.com/software/synchro/> (Pristupljeno: 3. rujna 2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1.: Raspodjela BIM standarda prema buildingSMART-u (buildingSMART International, 2024).....	4
Slika 2.: Raspodjela ISO 19650 standarda (UK BIM Framework, 2024)	9
Slika 3.: Razvoj IFC Sheme	22
Slika 4.: Prikaz verzija IFC-a kroz godine.....	22
Slika 5.: Odnos LOD-a, LoD-a (LoG-a) i Lol-a	30
Slika 6.: Prikaz LOD-a vijka, Prilagođeno prema (BIMForum, 2024)	31
Slika 7.: Vizualna reprezentacija LOD-a (BIMForum 2020)	32
Slika 8.: Koncept LOIN-a, Prilagođeno prema (Churchill, 2024).....	35
Slika 9.: BIM dimenzije (Biblus, 2024)	36
Slika 10.: UniFormat klasifikacijski sustav (Abdelalim, 2023)	43
Slika 11.: Mikrolokacija građevine (Google Maps, 2024).....	47
Slika 12.: Pogled na građevinu s ulice (Google Maps, 2024)	48
Slika 13.: Prikaz oblaka točaka ureda	54
Slika 14.: Prikaz radnih skupina iz Revita.....	55
Slika 15.: Tlocrt arhitekture.....	56
Slika 16.: Prikaz Architectural radne skupine	57
Slika 17.: Izrada profila rešetke	58
Slika 18.: Pogled na modeliranu rešetku	58
Slika 19.: Prikaz Electrical radne skupine	59
Slika 20.: Prikaz modeliranih utičnica 1.....	60
Slika 21.: Prikaz modeliranih utičnica 2.....	60
Slika 22.: Prikaz modeliranog rasvjetnog elementa	61
Slika 23.: Prikaz Plumbing radne skupine.....	62
Slika 24.: Prikaz HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) radne skupine	63
Slika 25.: Prikaz ventilacijskog sustava	63
Slika 26.: Prikaz Furniture radne skupine.....	64
Slika 27.: Render ulaza u ured	65
Slika 28.: Render uredskog hodnika	65
Slika 29.: Render otvorenog uredskog prostora.....	66
Slika 30.: Render prostorije za sastanke.....	66
Slika 31.: Prikaz informacija za rasvjetni element	71
Slika 32.: Postavke odabrane IFC verzije	72
Slika 33.: Postavke izvoza IFC datoteke	73
Slika 34.: Informacije zida u softveru Revit	74
Slika 35.: Informacije zida u softveru Solibri	74
Slika 36.: Uvezeni 3D model.....	75
Slika 37.: Presjek uvezenog modela	76

Slika 38.: Skup pretraživanja Zidovi	76
Slika 39.: Postavljanje pravila za analizu sudara	77
Slika 40.: Pikaz pronađenih sukoba	78
Slika 41.: Prikaz ispravnog sudara	79
Slika 42.: Sudar struka na razini cijelog modela	Error! Bookmark not defined.
Slika 43.: Uvezeni 3D model i vremenski plan	82
Slika 44.: Provjera grafičkih informacija u Synchronu	83
Slika 45.: Provjera negrafičkih informacija u Synchronu	83
Slika 46.: Proces dodjeljivanja 3D elemenata 4D modelu.....	84

PRILOZI

Prilog 1 - DCT Office.rvt

Prilog 2 - DCT Office.ifc

Prilog 3 - DCT Office - Vremenski plan.mpp

Prilog 4 - DCT Office - Vremenski plan.pdf

Prilog 4 - DCT Office 4D.sp

Prilog 5 - DCT Office.mp4

Prilog 6 - Lol tablica.pdf

