

Integracija umjetne inteligencije i BIMa za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu

Erceg, Marta

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:237:113071>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marta Erceg

**INTEGRACIJA UMJETNE INTELIGENCIJE I BIM-A
ZA VREMENSKO PLANIRANJE PROJEKATA U
GRAĐEVINARSTVU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marta Erceg

**INTEGRACIJA UMJETNE INTELIGENCIJE I BIM-A
ZA VREMENSKO PLANIRANJE PROJEKATA U
GRAĐEVINARSTVU**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Maja-Marija Nahod

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Marta Erceg

**INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
AND BIM FOR TIME PLANNING IN
CONSTRUCTION PROJECTS**

MASTER THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc. Maja-Marija Nahod

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



OBRAZAC 2

TEMA DIPLOMSKOG RADA



Ime i prezime studenta: Marta Erceg

JMBAG: 0082061189

Diplomski rad iz kolegija: Metode planiranja

Naslov teme diplomskog rada (HR): Integracija umjetne inteligencije i BIMa za
vremensko planiranje projekata u građevinarstvu

Naslov teme diplomskog rada (ENG): Integration of Artificial Intelligence and
BIM for Time Planning in Construction Projects

Opis teme diplomskog rada:

1. Uvod
2. Primjena AI-a i BIM-a za analizu podataka i predviđanje vremena gradnje
3. Identifikacija izazova i ograničenja integracije AI-a i BIM-a u graditeljstvu
4. Zaključak
5. Reference

Datum: 08.04.2024.

Mentor: Maja-Marija Nahod

Potpis mentora: 

Komentor:



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Marta Erceg (Ime i prezime)	0082061189 (JMBAG)
---------------------------------------	------------------------------

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Integracija umjetne inteligencije i BIMa za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu (Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Integration of Artificial Intelligence and BIM for Time Planning in Construction Projects (Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

 (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

 (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)
--

Datum: **17.9.2024.**

Mentor: **Maja-Marija Nahod**

Potpis mentora: 

Komentor:



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja:

Marta Erceg, 0082061189

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

Integracija umjetne inteligencije i BIM-a za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum: 18.9.2024.

Potpis: *Marta Erceg*



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja:

Marta Erceg, 66484830458

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

Integracija umjetne inteligencije i BIM-a za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Izv. prof. dr. sc. Maja-Marija Nahod

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

20.09.2023.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum: 18.9.2024.

Potpis: *Marta Erceg*

ZAHVALE

Iskreno se zahvaljujem mentorici, izv. prof. dr. sc. Maji-Mariji Nahod, na ukazanom povjerenju, stručnim savjetima i podršci prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se i mojoj obitelji, prijateljima i dečku Lucijanu na podršci i razumijevanju tijekom pisanja ovog rada, ali i tijekom studiranja.

Na kraju, hvala svim profesorima, asistentima i kolegama Građevinskog fakulteta na prenesenom znanju i pomoći tijekom cijelog studija.

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad istražuje mogućnosti integracije umjetne inteligencije i BIM-a s ciljem poboljšanja vremenskog planiranja građevinskih projekata. Proučavanjem uspješnosti građevinskih projekata, primijećeni su rezultati koji upućuju na potrebu za unapređenjem tradicionalnih metoda vremenskog planiranja. Korištenjem novijih tehnologija, poput umjetne inteligencije i BIM-a, moguće je smanjiti vjerojatnost nastanka pogrešaka tijekom vremenskog planiranja i na taj način utjecati na uspješnost projekta. Ovaj rad analizira različite prednosti i potencijale integracije BIM-a i umjetne inteligencije u odnosu na tradicionalne metode. Također, dan je opis nekih od BIM i AI alata korisnih za vremensko planiranje zajedno s objašnjenjem mogućih integracija. Na kraju su istraženi izazovi implementacije ovih alata, kao i prijedlozi za rješavanje prepreka i budući razvoj.

Zaključeno je da korištenje integriranih alata umjetne inteligencije i BIM-a može donijeti brojne prednosti procesu vremenskog planiranja (poput ubrzanja planiranja, točnijih predviđanja, optimizacije resursa, smanjenje rizika), ali i da je potrebno raditi na olakšanju primjene ovih tehnologija kroz njihovu prilagodbu, razvoj standardiziranih pristupa i edukaciju dionika građevinske industrije.

Ključne riječi: umjetna inteligencija; Building Information Modelling (BIM); vremensko planiranje; građevinarstvo; integracija umjetne inteligencije; integracija BIM-a.

SUMMARY

This master thesis explores the possibilities of integrating artificial intelligence and BIM with the aim of improving the time planning of construction projects. By studying the success of construction projects, results were showing the need to improve traditional methods of time planning. By using newer technologies, such as artificial intelligence and BIM, it is possible to reduce the probability of errors during time planning and thereby influence the success of the project. This paper analyzes the various advantages and potentials of the integration of BIM and artificial intelligence compared to traditional methods. Also, a description of some of the BIM and AI tools useful for time planning is given along with an explanation for possible integrations. Finally, the challenges of implementing these tools are explored, as well as suggestions for overcoming obstacles and future development.

It was concluded that the use of integrated tools of artificial intelligence and BIM can bring numerous advantages to the time planning process (such as speeding up planning, giving more accurate forecasts, optimization of resources, risk reduction), but also that it is necessary to work on facilitating the application of these technologies through their adaptation, development of standardized approaches and education of construction industry stakeholders.

Key words: Artificial Intelligence (AI); Building Information Modelling (BIM); construction schedule; civil engineering; integration of AI; integration of BIM.

SADRŽAJ

ZAHVALE	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1 UVOD	1
2 PRIMJENA AI-A I BIM-A ZA ANALIZU PODATAKA I PREDVIĐANJE VREMENA GRADNJE	3
2.1 Primjena umjetne inteligencije u građevinarstvu	3
2.1.1 Primjena umjetne inteligencije za vremensko planiranje	5
2.1.2 Korištenje algoritama za optimizaciju rasporeda radova i resursa	6
2.1.3 Prednosti primjene umjetne inteligencije za vremensko planiranje.....	10
2.2 Primjena BIM-a u građevinarstvu	12
2.2.1 Primjena BIM-a za vremensko planiranje.....	12
2.2.2 Prednosti primjene BIM-a za vremensko planiranje	14
2.3 Integracija AI-a i BIM-a za planiranje i upravljanje građevinskim projektima.....	15
2.3.1 Prednosti integracije AI-a i BIM-a za vremensko planiranje	15
2.4 Trenutno stanje integracije AI-a i BIM-a.....	17
2.5 BIM alati za vremensko planiranje	18
2.5.1 Autodesk Navisworks.....	19
2.5.2 SYNCHRO 4D Pro.....	21
2.5.3 Vico Office (Vico Schedule Planner)	23
2.5.4 BEXEL Manager	26
2.5.5 Tekla Structures	28
2.6 AI alati za vremensko planiranje.....	30
2.6.1 ALICE Technologies	30
2.6.2 OpenSpace	36
2.6.3 SmartPM Technologies	39
2.6.4 Doxel	42
3 IDENTIFIKACIJA IZAZOVA I OGRANIČENJA INTEGRACIJE AI-A I BIM-A U GRADITELJSTVU	47
3.1 Izazovi integracije umjetne inteligencije i BIM-a.....	47
3.1.1 Interoperabilnost i integracija podataka	48
3.1.2 Slabo prihvaćanje korisnika i potreba za obukom.....	48
3.1.3 Troškovi ulaganja	48
3.1.4 Složenost građevinskih projekata	49
3.1.5 Potreba velikog broja projektnih podataka za strojno učenje	49

3.1.6	Sigurnost podataka	50
3.2	Prijedlozi za rješavanje prepreka i unapređenje tehnoloških rješenja.....	50
3.2.1	Uspostava standardiziranih formata podataka	50
3.2.2	Uređenje međunarodnih standarda za upravljanje informacijama	51
3.2.3	Smanjenje količine potrebnih podataka	51
3.2.4	Stvaranje sigurnog digitalnog okruženja	52
3.2.5	Edukacija dionika građevinske industrije	52
3.2.6	Jasno prikazivanje isplativosti ulaganja u BIM i AI alate.....	52
3.2.7	Više istraživanja praktične primjene.....	53
3.2.8	Prihvatanje novih tehnologija i nastavak istraživanja	53
3.3	Predviđeni budući smjerovi i razvoj u području AI-a, BIM-a i graditeljstva	54
4	ZAKLJUČAK	56
5	REFERENCE	57
	POPIS SLIKA	62
	POPIS TABLICA.....	63

1 UVOD

Potreba za efikasnijim vremenskim planiranjem projekata sve je izraženija u današnjem dinamičkom svijetu građevinarstva. Kašnjenje, zajedno s prekoračenjem budžeta i nedostatkom resursa, predstavlja jedan od najčešćih izazova građevinskih projekata koji može uzrokovati posljedice poput financijskih gubitaka, smanjene produktivnosti, a time i nezadovoljstva investitora. Navedene posljedice ističu važnost poboljšanja i optimiziranja procesa vremenskog planiranja koje je moguće kroz pronalaženje inovativnih pristupa i alata kao što su umjetna inteligencija i BIM.

Umjetna inteligencija (eng. *Artificial Intelligence - AI*) spada u područje računalne znanosti koje, kroz razvoj različitih sustava i tehnika, računalima omogućuje obavljanje zadataka koji tradicionalno zahtijevaju ljudsku inteligenciju. U kontekstu građevinarstva, primjena umjetne inteligencije predstavlja niz inovacija i mogućnosti za unapređenje procesa planiranja, projektiranja, izvođenja, upravljanja i odražavanja objekata. Ključna primjena umjetne inteligencije u građevinarstvu je za poboljšanje BIM sustava kroz dodavanje naprednih funkcija te je upravo integracija tih dvaju pojmova detaljnije razrađena u ovom radu.

BIM (eng. *Building Information Modelling*) predstavlja revolucionaran pristup u projektiranju, izgradnji i upravljanju objektima koji omogućava stvaranje digitalnih modela sa svim relevantnim informacijama o projektu. Korištenje BIM-a olakšava razmjenu informacija i suradnju između različitih sudionika u projektu (arhitekata, građevinara, investitora itd.) te se BIM model može koristiti za vrijeme cijelog životnog ciklusa građevine, od početne faze do samog rušenja ili prenamjene. Postoje brojne prednosti korištenja BIM-a, a jedna od glavnih prednosti je bolje razumijevanje projekata u ranoj fazi koje olakšava identifikaciju pogrešaka čime se smanjuju vrijeme i troškovi izmjena tijekom izgradnje. U pogledu vremenskog planiranja, BIM omogućava lakše predviđanje i kontrolu vremenskih rokova projekta.

Vremensko planiranje predstavlja jednu od glavnih aktivnosti u građevinskim projektima pomoću koje se projektnim aktivnostima predviđa potrebno trajanje za njihovo izvršenje nakon čega se iste aktivnosti organiziraju tj. odredi im se redoslijed izvođenja. Nakon navedenih radnji, izrađuje se vremenski plan uz pomoć kojeg je moguće pratiti napredak projekta te identificirati moguća kašnjenja. Važnost vremenskog planiranja je upravo u tome što njegova uspješnost određuje i uspješnost cijelog projekta s obzirom da izvođenje radova unutar vremenskog plana, zajedno s kvalitetom objekta i njegovom cijenom, spada u glavne činitelje uspješnosti. Također, važnost kvalitetnog vremenskog planiranja je i u tome što ono omogućava optimalno korištenje resursa čime je moguće dodatno smanjenje troškova.

Kroz ovaj rad istražena je integracija umjetne inteligencije i BIM-a, konkretno za vremensko planiranje građevinskih projekata. Proučen je i način na koji ova integracija pomaže pri identifikaciji rizika, resursa i trajanja aktivnosti te optimizaciji procesa vremenskog planiranja. Također, istražena je primjena umjetne inteligencije i BIM-a za analizu podataka i predviđanje

vremena gradnje, korištenje algoritama za optimizaciju rasporeda radova i resursa te njihova implementacija i praksa. Nadalje, identificirani su izazovi i ograničenja ove integracije u građevinarstvu nakon čega su dani prijedlozi za rješavanje prepreka i unapređenje tehnoloških rješenja zajedno s predviđanjem budućih smjerova i razvoja u području umjetne inteligencije, BIM-a i graditeljstva.

Važnost integracije umjetne inteligencije i BIM-a je upravo u tome što je ona jedan od ključnih faktora koji mogu značajno unaprijediti vremensko, ali i troškovno planiranje jer se njihovim kombiniranjem stvaraju nove mogućnosti za preciznije identificiranje rizika i predviđanje trajanja aktivnosti, kao i za optimizaciju resursa i sveukupne učinkovitosti građevinskih projekata.

Cilj ovog rada je pružanje sveobuhvatnog pregleda trenutnog stanja u domeni integracije umjetne inteligencije i BIM-a, konkretno za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu. Cilj je pritom istaknuti najnovija dostignuća zajedno s potencijalnim primjenama i, moguće, potaknuti daljnja istraživanja i primjenu inovativnih pristupa uz pomoć kojih je moguće stvoriti temelje za produktivnije, efikasnije i održivije građevinske projekte u budućnosti.

Pri razradi teme korištena je literatura pronađena na različitim mrežnim platformama za pregled literature (npr. Research Gate, Web of Science itd.) te su analizirani dostupni alati i tehnike koje spadaju pod umjetnu inteligenciju i BIM, a koje su korisne za vremensko planiranje projekata u građevinarstvu. Rad je teorijski zbog čega programski alati i aplikacije neće biti korišteni, već samo analizirani.

2 PRIMJENA AI-A I BIM-A ZA ANALIZU PODATAKA I PREDVIĐANJE VREMENA GRADNJE

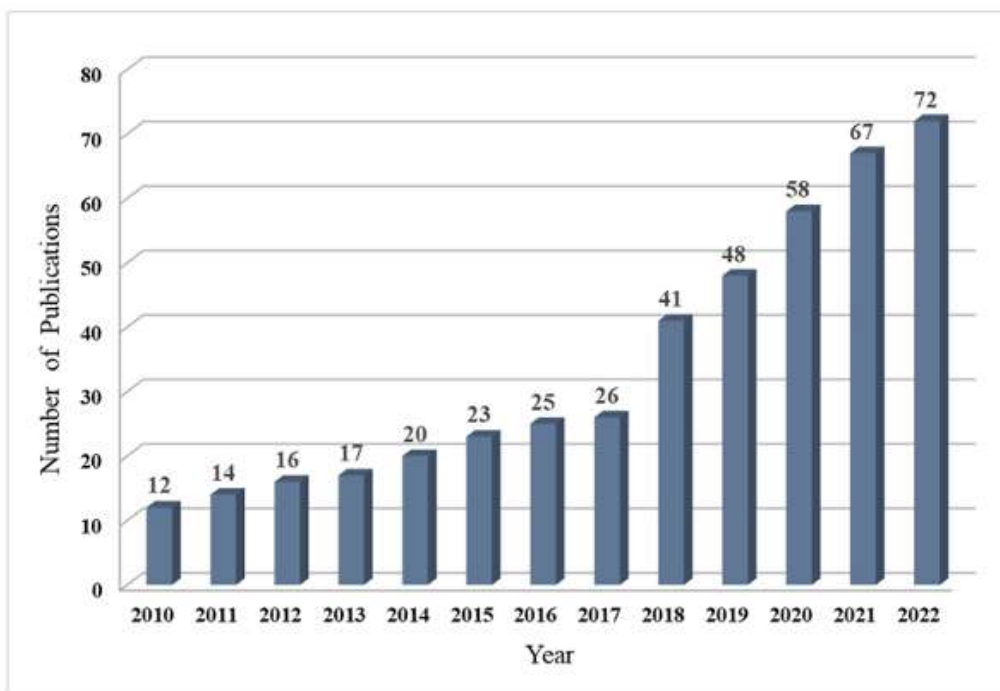
U ovom dijelu rada proučena je primjena umjetne inteligencije i BIM-a u građevinskoj industriji fokusirajući se na primjenu u vremenskom planiranju. Analizirane su različite prednosti primjene ovih alata u odnosu na tradicionalne metode vremenskog planiranja. Istražena je i integracija BIM-a i umjetne inteligencije zajedno sa svim potencijalima za unapređenje procesa vremenskog planiranja. Također, dan je i prikaz trenutnog stanja integracije umjetne inteligencije i BIM-a, kao i opis različitih BIM i AI alata koji se mogu koristiti prilikom vremenskog planiranja i koji imaju mogućnost međusobne integracije.

2.1 Primjena umjetne inteligencije u građevinarstvu

Umjetna inteligencija važna je grana računalnih znanosti, a posljednjih je godina sve popularniji pojam. Svrha umjetne inteligencije je obavljanje niza različitih zadataka koje obavlja ljudski mozak te je njezina primjena postala popularna u različitim industrijama, uključujući građevinarstvo. Primjena umjetne inteligencije u građevinskoj industriji počela je relativno kasno, ali njezin je utjecaj značajan. Umjetna inteligencija utječe na poboljšanje radne učinkovitosti i kvalitete rada, ali i smanjenje radnih troškova što je posebno korisno za građevinsku industriju koju karakterizira interdisciplinarnost i niska radna učinkovitost.

Iako je posljednjih godina sve aktivnija primjena BIM-a i 3D modeliranja, mnogi zaposlenici unutar građevinske industrije imaju problema s prihvaćanjem i primjenom umjetne inteligencije. Neprimjenjivanje umjetne inteligencije u građevinskim projektima otežava procese projektiranja i izvođenja s obzirom da korištenje AI može znatno smanjiti pojavu pogrešaka. Tako na primjer, AI može analizirati zaslone projekta na kraju svakog dana, izdvojiti parametre te ih usporediti s parametrima izvorno planiranog modela izgradnje nakon čega može pronaći pogreške i izdati upozorenja. AI može utjecati i na poboljšanje sigurnosti na gradilištu, a time i na olakšavanje faze izvođenja radova, kroz snimanje kamere kako bi se utvrdilo nose li radnici zaštitnu opremu ili ne. Za to je potrebno unijeti relevantne parametre za ispravno nošenje zaštitne kacige i, u isto vrijeme, temeljito učenje umjetne inteligencije o ispravnom izgledu nošenja zaštitne kacige u različitim položajima tijela. Snimka se zatim može usporediti i analizirati kroz usporedbu parametara i tako utvrditi nosi li radnik ispravno kacigu (Shouxin, 2022). Nadzorne kamere i senzori mogu prikupiti informacije o trenutnom stanju na gradilištu koje AI može usporediti sa sigurnosnim podacima. Ukoliko dođe do prekoračenja raspona sigurnosnih podataka, obavezno je tretiranje i ispravljanje označenih elemenata čime će se smanjiti mogućnost nastanka nesreća na gradilištima (Guoshen, et al., 2020). U pogledu

vremenskog planiranja, nadzorne kamere i dronovi mogu skenirati izgled i strukturu objekta koji se gradi te analizirati i obraditi podatke o gradnji te je na taj način moguće dobiti uvid u trenutno stanje projekta te također pratiti napredak projekta i provjeravati teku li radovi u skladu s vremenskim planom. Uz praćenje stvarnog napretka projekta, na ovaj način je olakšano i daljnje planiranje napretka izgradnje. Također, ukoliko u budućnosti nastane problem s konstrukcijom, uz pomoć umjetne inteligencije moguće je pronaći razlog problema s obzirom da su sve informacije i upute o konstrukciji prikupljene i spremljene na jedno mjesto (Shouxin, 2022). AI može pridonijeti i ugodnosti rada kroz O&M menadžment umjetne inteligencije za zgrade za što je potrebno imati opremu na licu mjesta, dok inženjer može biti udaljen. Taj inženjer može postaviti AI inteligentne algoritme u platformi oblaka i, prema podacima skupljenima senzorima, donositi odluke tj. izdavati upute. Primjer kada je navedeno korisno je ljeti kada se mogu izdati upute za hlađenje klima uređajima onda kada senzori osjete ljude koji ulaze u ured na posao. Ukoliko temperaturni senzor ne pronalazi padove temperature, oglasi se alarm na terminalu koji izdaje upute za pronalazak pogrešnog koraka te se eventualno šalje odgovarajuće osoblje za popravak (Youguo, 2022).



Slika 1: Godišnji broj publikacija o umjetnoj inteligenciji u građevinskoj industriji

(Izvor: (Datta, et al., 2024))

Na slici 1 prikazan je broj publikacija o umjetnoj inteligenciji u građevinskoj industriji ovisno o godini. Ova slika također prikazuje razinu prepoznatljivosti i napretka ostvarenog u istraživanju umjetne inteligencije s obzirom da je to određeno godišnjim publikacijama u ovom području. Gledajući brojke jasno se može primijetiti napredak u integraciji umjetne inteligencije u ovoj

industriji posljednjih nekoliko godina. Najveći skok primijećen je 2018. godine kada je broj publikacija iznosio 41, a prethodne godine je bio 26. Strojno učenje je doživjelo još veći skok s obzirom da je s 15 publikacija 2017. godine prešlo na 60 publikacija 2018. godine, a 2022. godine broj publikacija iznosio je čak 153 (Datta, et al., 2024).

2.1.1 Primjena umjetne inteligencije za vremensko planiranje

Vremensko planiranje ima velik utjecaj na uspjeh građevinskih projekata. Postoji velik broj različitih čimbenika koji utječu na građevinske projekte što otežava vremensko planiranje, no korištenjem umjetne inteligencije moguće je taj proces olakšati i ubrzati. Iako su velike šanse da se korištenjem umjetne inteligencije poboljša točnost, izvedba i efikasnost projekata, bitno je istražiti i poteškoće na koje je moguće naići prilikom njezine primjene za vremensko planiranje.

Građevinska industrija jedna je od najutjecajnijih industrija za gospodarski rast neke države. Bez obzira na to, ova industrija je također i jedna od najmanje digitaliziranih zbog čega se 40-60% troškova prepisuje neučinkovitosti i rasipanju. Generalna percepcija o građevinskoj industriji tj. njezinim projektima je da su česta kašnjenja i prekoračenja troškova zbog čega dolazi i do nerijetkog uzaludnog trošenja resursa (Obinnaya Chikezie Victor, 2023). Zbog navedenih razloga, primjena umjetne inteligencije za vremensko planiranje postaje sve popularnija posljednjih godina. Njezina primjena ima potencijal optimizirati rasporede te time smanjiti troškove i trajanje projekta, a povećati sigurnost. Umjetna inteligencija se za vremensko planiranje može koristiti za pregledavanje podataka i njihovo proučavanje (npr. vremenski planovi), nakon čega, zbog strojnog učenja i naprednih algoritama, može predvidjeti rezultate aktivnosti i zato ponuditi najbolje rješenje tj. optimalan vremenski plan.

Strojno učenje (eng. *Machine Learning - ML*) korisno je za pronalaženje uzoraka, primjećivanje sličnosti te potom izradu modela koji se može koristiti za vremensko planiranje i upravljanje građevinskim projektom. Obrada prirodnog jezika (eng. *Natural Language Processing - NLP*) također spada pod strojno učenje kojim se računalima i strojevima omogućuje da razumiju, interpretiraju i komuniciraju ljudskim jezikom. U građevinskoj industriji ono služi za tumačenje ugovora i dokumenata vezanih uz projekte.

Kako bi se potakla primjena AI-a za vremensko planiranje, bitno je proučiti njezin potencijal tj. koje bi prednosti njezino korištenje moglo imati za građevinsku industriju. Tako je Boston Consulting Group obavilo istraživanje kojim se pokazalo da korištenje AI u građevinskoj industriji može rezultirati smanjenjem trajanja projekta za 40% te smanjenjem troškova projekta za 20%. Osim toga, istraživanje je pokazalo da primjenom umjetne inteligencije gradilišta mogu postati sigurnija, što je moguće zbog uočavanja potencijalnih opasnosti te djelovanjem na njihovo rješavanje prije nego se opasnosti ostvare. Sam potencijal umjetne inteligencije za vremensko planiranje projekata prepoznat je već početkom 2000-ih kada je započelo istraživanje korištenja umjetne inteligencije za automatizaciju zadataka, analizu

podataka i optimizaciju procesa (Obinnaya Chikezie Victor, 2023). Danas, AI se sve češće koristi za planiranje i upravljanje građevinskim projektima kako bi se poboljšala točnost i automatizacija rasporeda, procijenili rizici te poboljšala sigurnost i vizualizacija planova.

Primjena umjetne inteligencije ovisi o fazi životnog ciklusa građevinskog projekta. Faza planiranja znatno utječe na cjelokupni uspjeh projekta s obzirom da se tad određuju komponente poput troška, trajanja i kvalitete projekta. Posljednjih godina sve je češća primjena umjetne inteligencije za optimizaciju vremenskih planova. Konkretno, AI se za vremensko planiranje koristi za predviđanje točnog trajanja projekta, evaluaciju napretka tijekom raznih faza projekta, predviđanje troškova izgradnje i uspješnosti rasporeda te procjenu potencijalnih opasnosti (Datta, et al., 2024).

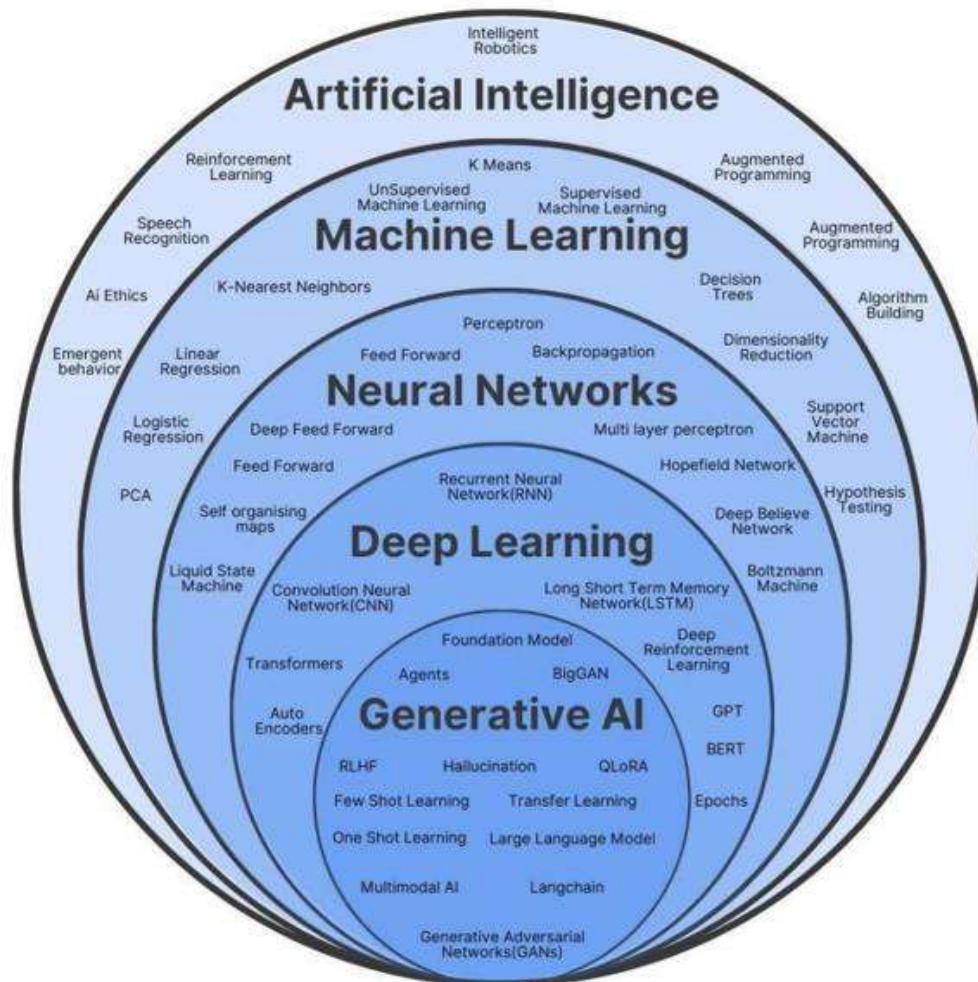
2.1.2 Korištenje algoritama za optimizaciju rasporeda radova i resursa

Umjetna inteligencija obuhvaća simulaciju procesa ljudske inteligencije koristeći strojeve točnije računalne sustave. Zbog njezine kompleksnosti, sastoji se od više različitih područja koja će se obraditi u nastavku ovog poglavlja zajedno s njihovim funkcijama i algoritmima potrebnima za obavljanje tih funkcija.

Strojno učenje (eng. *Machine Learning - ML*) je područje umjetne inteligencije i računalne znanosti fokusirano na korištenje podataka i algoritama za simuliranje ljudskih procesa poput razmišljanja ili načina rješavanja problema. Ono služi za poboljšanje točnosti alata te je vodeća komponenta rastućeg područja podatkovne znanosti (Mostafa, et al., 2023). ML trenira algoritme kako bi AI alati bili sposobni donositi odluke, predviđati događaje ili klasificirati.

Strojno učenje na proces vremenskog planiranja utječe tako da omogućava AI alatima da brzo daju prijedlog optimalnog vremenskog plana, da mogu brzo prikazati različite solucije vremenskog plana, brzo mijenjati vremenski plan ako dođe do zastoja, predviđati rizike i još mnogo toga. Sve navedeno je moguće zbog proučavanja velikog broja podataka iz prijašnjih vremenskih planova na temelju čega je alat „naučen“ da npr. procijeni točno trajanje neke aktivnosti s određenim brojem resursa ili da procijeni rizike koji bi se mogli dogoditi tijekom faze izvođenja na temelju postavljenih ulaznih podataka o projektu. Koristeći algoritme strojnog učenja može se značajno poboljšati točnost predviđanja trajanja aktivnosti i tako olakšati vremensko planiranje.

Na slici 2 prikazani su algoritmi umjetne inteligencije i područja unutar kojih oni pripadaju te se može primijetiti kako strojno učenje obuhvaća velik broj algoritama. Unutar strojnog učenja postoje i potkategorije poput nadziranog (eng. *Supervised Machine Learning*) i nenadziranog strojnog učenja (eng. *Unsupervised Machine Learning*).



Slika 2: Područja umjetne inteligencije (Izvor: (Al-Janabi, 2024))

Nadzirano strojno učenje je potkategorija strojnog učenja koja koristi strukturirane skupove podataka za treniranje algoritama kako bi se mogli točno klasificirati podaci ili predvidjeti rezultati (Mostafa, et al., 2023). Strukturirani skupovi podataka podrazumijevaju parove koji sadrže ulazne podatke zajedno s odgovarajućim izlaznim parom. Nadzirano strojno učenje sastoji se od dvije glavne kategorije, a to su klasifikacija i regresija. Klasifikacija služi za obavljanje kategorizacije podataka u unaprijed definirane grupe, dok se regresija bavi predviđanjem numeričkih vrijednosti (Datta, et al., 2024).

Ovaj tip strojnog učenja koristan je za nadziranje radova na licu mjesta kroz lociranje radnika i opreme. Također može biti korisno za otkrivanje opasnosti na gradilištu zbog mogućnosti prepoznavanja predmeta te za određivanje napretka radova uz pomoć softvera poput Synchro 4D Pro ili Navisworks (navedeni softveri bit će detaljnije opisani u trećem poglavlju). Zbog mogućnosti predviđanja moguće je optimizirati stanje na gradilištu kao i analizirati rizike.

Cilj nadziranog strojnog učenja je naučiti algoritme preslikavanju ulaznih i izlaznih podataka kako bi AI alati imali funkciju predviđanja na temelju novih podataka. Ta funkcija je posebno korisna za vremensko planiranje tj. za predviđanje optimalnog vremenskog plana, optimizaciju

resursa i predviđanje potencijalnih opasnosti u fazi izvođenja. Neki od algoritama koji služe za postizanje ovih mogućnosti su linearna regresija, logistička regresija, stablo odluke i SVM algoritam.

Linearna regresija (eng. *Linear Regression*) jedan je od algoritama umjetne inteligencije. Ona služi za predviđanje kontinuiranih vrijednosti tako da postavlja linearnu vezu između ulaznih i ciljnih podataka, a za vremensko planiranje je korisna jer može predvidjeti trajanje aktivnosti na temelju podataka iz prijašnjih vremenskih planova. Na primjer, ubacujući ulazne parametre poput veličine/volumena elemenata, dostupne opreme i materijala, broja radnika itd. može se predvidjeti trajanje te aktivnosti ili cijena.

Logistička regresija (eng. *Logistic Regression*) koristi se za binarnu klasifikaciju, dakle, za određivanje kojoj od dvije grupe pripada određen podatak. Za vremensko planiranje se može koristiti kako bi se odredilo hoće li određena aktivnost kasniti ili ne, s obzirom na trenutno stanje ili tempo radova na gradilištu.

Stablo odluke (eng. *Decision Tree*) je algoritam koji za donošenje odluka koristi hijerarhijsku strukturu u kojoj svaki čvor predstavlja određenu odluku, a grana ishod donesene odluke. Na temelju navedenog može se zaključiti da je ovaj algoritam koristan za vremensko planiranje kada je potrebno donošenje odluka npr. zbog potrebe za promjenom vremenskog plana. Stablo odluke je posebno koristan algoritam za složene projekte jer se takvi projekti sastoje od više tisuća aktivnosti zbog čega postoji previše varijabli za manualno proučavanje vremenskog plana i donošenje odluka.

Podrška vektorima (eng. *Support Vector Machines - SVM*) je klasifikacijski algoritam pomoću kojeg se pronalazi optimalna granica koja služi za sortiranje podataka u različite grupe tj. klase. Za vremensko planiranje klasifikacija može biti različita ovisno o podacima, npr. mogu se klasificirati aktivnosti koje imaju vremensku rezervu i zbog toga manji utjecaj na kašnjenje projekta od kritičnih aktivnosti tj. onih aktivnosti koje nemaju vremensku rezervu.

Nenadzirano strojno učenje koristi algoritme strojnog učenja kako bi se analizirale i grupirale neimenovane skupine podataka. To znači da nisu dani parovi ulaznih i izlaznih podataka kao što je to slučaj u nadziranom strojnom učenju. Nenadzirano strojno učenje sadrži dvije glavne tehnike, a to su grupiranje i smanjenje dimenzija. Grupiranje je tehnika kojom se slični podaci grupiraju zajedno, a smanjenje dimenzija označava smanjenje složenosti podataka.

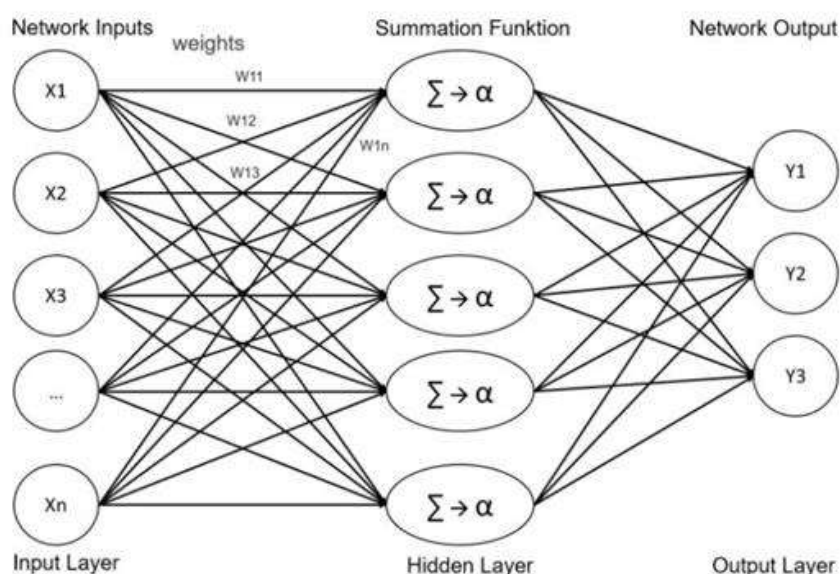
Ovi algoritmi mogu detektirati skrivene uzorke ili setove podataka bez potrebe za ljudskom intervencijom. Zbog sposobnosti da prepoznaju sličnosti i razlike u informacijama posebno su korisne za analizu istraživačkih podataka, za prepoznavanje objekata, računalni vid te za otkrivanje i klasificiranje slika i alata (Mostafa, et al., 2023). Za vremensko planiranje, ovaj tip strojnog učenja je posebno koristan zbog prepoznavanje netipičnih podataka zbog čega se može detektirati neka ljudska pogreška napravljena prilikom određivanja aktivnosti vremenskog plana.

K-Means označava algoritam za grupiranje podataka pomoću kojega se skupina podataka podijeli u određen broj grupa. Ovaj algoritam se za vremensko planiranje može koristiti za grupiranje aktivnosti sličnih karakteristika. Primjerice mogu se grupirati sve aktivnosti koje kao resurs sadrže armaturu i na taj način možemo odvojiti grupu aktivnosti za koje su potrebni armirački radovi. Na ovaj način je poboljšana organizacija i raspodjela radova te je olakšana optimizacija resursa.

Analiza glavnih komponenta (eng. *Principal Component Analysis - PCA*) je algoritam koji služi za reduciranje informacija/podataka zadržavajući samo one najbitnije. Pri vremenskom planiranju ova opcija je korisna za smanjenje broja podataka, prikazujući samo one bitne za vremensko planiranje poput npr. informacija o resursima, trajanjima aktivnosti i drugih. Ova opcija AI alata je posebno korisna za složene građevinske projekte koji sadrže prevelik broj podataka.

Iz slike 2 moglo se primijetiti da neuronske mreže predstavljaju veliku skupinu u strojnom učenju. Neuronske mreže (eng. *Neural Networks - NN*) predstavljaju model inspiriran ljudskim mozgom zbog čega se sastoji od različitih slojeva međusobno povezanih čvorova te ima sposobnost učenja i analiziranja složenih uzoraka iz podataka. Za vremensko planiranje je posebno koristan kod složenijih projekata koji se sastoje od velikog broja međusobno ovisnih aktivnosti gdje u kratkom vremenu može dati prijedlog optimalnog vremenskog plana na temelju podataka iz prijašnjih projekata.

Neuronske mreže raspoređene su u slojeve od kojih postoje tri vrste, a to su ulazni sloj (za prijem ulaznog signala i njegov prijenos do neurona u drugom sloju), izlazni sloj (za prijem signala s ulaznog ili skrivenog sloja) te skriveni sloj za moguću vezu između slojeva (Nast, 2021). Ova struktura prikazana je na slici 3.



Slika 3: Struktura duboke neuronske mreže (Izvor: (Nast, 2021))

Duboko učenje (eng. *Deep Learning - DL*) je velika potkategorija neuronske mreže koja podrazumijeva neuronsku mrežu s tri ili više slojeva. Kao i kod neuronskih mreža, cilj je oponašati određene sposobnosti ljudskog mozga, a algoritmi dubokog učenja su posebno uspješni u učenju iz velikih skupova podataka (Mostafa, et al., 2023). U pogledu vremenskog planiranja to je posebno korisno za točnost predviđanja, a time i poboljšanje kvalitete vremenskog plana. Razlika između dubokog učenja i jednoslojne neuronske mreže je ta što zbog dodatnih slojeva duboko učenje može dati točnije rezultate.

Za kraj će se objasniti i obrada prirodnog jezika (eng. *Natural language processing - NLP*) s obzirom da je ona korisna prilikom planiranja i upravljanja građevinskim projektima. Korisna je jer NLP računalima daje sposobnost razumijevanja i obrađivanja ljudskog jezika u obliku teksta ili glasovnih podataka. Zbog toga je moguće unositi podatke o npr. ograničenjima projekta, koje će računalo moći razumjeti i na temelju tih podataka predložiti vremenski plan. Također, neki od AI alata, zahvaljujući algoritmima NLP-a, imaju funkciju zbog koje dionici projekta mogu postaviti pitanja AI alatu na koja im on brzo daje odgovore.

Mogućnost optimizacije vremenskih planova i resursa jako je bitna za cjelokupni građevinski projekt zbog utjecaja na smanjenje trajanja i troškova projekta. Optimizacija je moguća zahvaljujući skupu algoritama koji uključuju algoritme razvoja, genetske algoritme, diferencijalnu evoluciju i optimizaciju roja čestica. Algoritam razvoja (eng. *Evolution Algorithm*) je opći algoritam koji je temeljen na uzorcima koji koriste tehnike inspirirane biološkom evolucijom. Genetski algoritam (eng. *Genetic Algorithm - GA*) se temelji na prirodnoj selekciji, a najčešće se koristi za stvaranje visokokvalitetnih rješenja za probleme pretraživanja i optimizacije temeljenim na biološki inspiriranim čimbenicima. Diferencijalna evolucija (eng. *Differential evolution*) služi za pronalazak najboljih rješenja na temelju određenih kriterija poput kvalitete. Optimizacija roja čestica (eng. *Particle swarm optimization*) je slična diferencijalnoj evoluciji jer također pronalazi najbolje rješenje i na taj način olakšava probleme u projektu (Mostafa, et al., 2023).

2.1.3 Prednosti primjene umjetne inteligencije za vremensko planiranje

Umjetna inteligencija u građevinarstvu se koristi za automatizaciju procesa, a time i odluka, zbog čega se ubrzava donošenje odluka te smanjuje mogućnost nastanka pogrešaka pri vremenskom planiranju. Dakle, jasno je da bi primjena umjetne inteligencije mogla donijeti brojne prednosti poduzećima koji ju koriste, a u nastavku ovog poglavlja navest će se i objasniti te prednosti.

Postoje različite prednosti koje korištenje umjetne inteligencije za vremensko planiranje može donijeti različitim sudionicima u projektu. Voditeljima projekta jednu od glavnih prednosti predstavlja mogućnost olakšanog prepoznavanja rizika, kao i predviđanje konačnog ishoda projekta, koje poboljšava planiranje i konačan raspored projekta. Također, prednost predstavlja

i mogućnost optimizacije resursa čime se smanjuje rasipanje materijala, ali i poboljšava sigurnost na gradilištu (Obinnaya Chikezie Victor, 2023). Na primjer, ne obavlja se previše različitih poslova u isto vrijeme na istom dijelu gradilišta čime se znatno povećava sigurnost radnika na gradilištu. Prednost umjetne inteligencije je i to što nudi obavijesti o napretku projekta u stvarnom vremenu zbog čega voditelji projekta uvijek mogu imati ažuriran vremenski plan i tako lakše donositi odluke i odrediti koje su promjene potrebne.

Najbolji način za dokazivanje prednosti korištenja umjetne inteligencije je opisivanjem rezultata različitih istraživanja te usporedbom istih s onima nastalim korištenjem tradicionalnih metoda. Tako je napravljeno istraživanje u kojem su se algoritmi strojnog učenja koristili za predviđanje trajanja građevinskog projekta na temelju njegove lokacije, veličine i složenosti. Zaključilo se da su algoritmi strojnog učenja točniji od tradicionalnih metoda planiranja kada je u pitanju određivanje trajanja projekta (Liu, et al., 2021). U drugom istraživanju ispitano je korištenje strojnog učenja i obrada prirodnog jezika za automatsku izradu vremenskih planova. Tim istraživanjem otkriveno je da se alatom za planiranje, pokretanom pomoću umjetne inteligencije, može puno brže i točnije napraviti vremenski plan nego što je to moguće tradicionalnim metodama (Zhang, et al., 2020).

Prednost korištenja AI alata je što se njima, osim predviđanja trajanja projekta, često mogu predvidjeti i troškovi projekta. U jednom istraživanju korišteni su algoritmi umjetne inteligencije kako bi se vidjelo može li se njima predvidjeti vjerojatnost prekoračenja troškova u građevinskom projektu. Ustanovilo se da je to moguće pomoću alata za upravljanje rizikom kojeg pokreće umjetna inteligencija, a rezultati su imali visok stupanj točnosti (Singh, et al., 2020).

Moguće glavna prednost korištenja umjetne inteligencije u građevinskim projektima je povećanje sigurnosti na gradilištu. Zadnjih godina, u Hrvatskoj je sve veći broj ozljeda nastalih na gradilištu, kao i smrtnih slučajeva. Umjetna inteligencija može pridonijeti smanjenju takvih brojkii na različite načine. Čest razlog nastanka ozljeda na gradilištu je nenošenje sve potrebne zaštitne opreme. Koristeći određene AI alate koji su povezani s kamerama ili dronovima, moguće je provjeriti nose li radnici zaštitnu opremu i na taj način olakšati inženjerima na gradilištu kontroliranje pridržavanja mjera zaštite na radu. Također, osim zaštitne opreme, moguće je uočiti određene nedostatke ili opasne materijale na gradilištu te radnicima dati informacije o tome što dalje učiniti. AI alati mogu biti korisni za sigurnost i prije faze izvođenja tako što u fazi planiranja mogu procijeniti sve potencijalne rizike te predložiti verziju vremenskog plana koji je najsigurniji.

2.2 Primjena BIM-a u građevinarstvu

Implementacija i primjena BIM-a za upravljanje građevinskim projektima u današnje vrijeme je prijeko potrebna kako bi se uskladilo sa svjetskim razvojnim trendovima u građevinskom sektoru. Iz tog razloga, brojni znanstvenici i tvrtke uključeni su u aktivno učenje, shvaćanje i istraživanje različitih mogućnosti BIM-a. U ovom poglavlju, usredotočit ćemo se na ulogu i primjenu BIM-a, specifično za vremensko planiranje tj. upravljanje rasporedom projekata. Istražit će se i na koje načine druge zemlje koriste BIM za upravljanje projektima i praćenje napretka za cijeli životni vijek projekta. Cilj poglavlja je detaljno proučiti i pronaći sve poveznice BIM-a s vremenskim planiranjem prilikom čega će se uočiti brojne prednosti, ali i nedostaci/ograničenja primjene BIM-a u odnosu na tradicionalne metode vremenskog planiranja.

Building Information Modeling (BIM) predstavlja proces upravljanja informacijama pomoću kojega je moguće stvarati digitalne elemente tijekom različitih faza projekta što uključuje projektiranje i izvođenje do samog završetka projekta kada je objekt spreman za korištenje. Koncept BIM-a teorijski je nastao 1970-ih na Georgia Institutu za Tehnologiju te se počeo razvijati jer su građevinska poduzeća prepoznala vrijednost integracije i upravljanja projektima korištenjem BIM-a. Sam pojam „Building Information Modeling“ nastao je 2002. godine kako bi se opisalo virtualno projektiranje, izgradnja i upravljanje objektima. S obzirom da BIM ne označava samo model, već i proces upravljanja, u zadnje vrijeme se sve češće koristi i pojam „Building Information Management“. Navedeni pojam uključuje 3D/4D/5D BIM alate kao inovativne pristupe prilikom konstruiranja vizualnih modela, izvođenja detekcije sudara, simulaciji izgradnje i grafičkom planiranju kako bi se osigurao projekt završen u vremenskom roku (Tuan Anh Nguyen, 2024).

Informacije unutar BIM modela se mogu karakterizirati u dvije glavne skupine, a to su geometrijske i negeometrijske informacije. Pod geometrijske informacije spadaju dimenzije i pozicije građevinskih komponenti (npr. stupovi, zidovi, ploče, grede, namještaj različitih vrsta itd.) dok negeometrijske informacije podrazumijevaju podatke koje pružaju dodatne detalje o građevinskim komponentama (npr. proizvođač, cijena, vrijeme održavanja) (Wu, 2023).

2.2.1 Primjena BIM-a za vremensko planiranje

Proučavajući korištenje BIM-a za vremensko planiranje u građevinarstvu zapravo se fokusiramo na proučavanje 4D BIM-a koji uz 3D model ima uključen i vremenski plan projekta. Korištenjem 4D BIM-a olakšano je upravljanje građevinskim projektima zato što omogućava bolju vizualizaciju napretka izgradnje objekta.

Građevinskoj industriji, prihvaćanje novih tehnologija i načina rada načelno ide poprilično sporo te je upravo to uzrok nekih od glavnih problema koji karakteriziraju građevinsku industriju, a koji uključuju nisku produktivnost, česta novčana i vremenska prekoračenja te probleme s komunikacijom, automatizacijom i generalnom digitalizacijom industrije. BIM

može znatno poboljšati automatizaciju i upravljanje unutar građevinske industrije, no njegova provedba ovisi isključivo o inženjerima tj. o njihovoj želji za učenjem, vještinama i kapacitetima. Većina građevinskih poduzeća ipak i dalje ručno izrađuje i ažurira napredak projekta što traje dugo te također povećava mogućnost nastanka pogrešaka i, u konačnosti, kašnjenja projekta.

Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (NIST) je 2004. godine izvijestio da su upravo problemi interoperabilnosti i neadekvatnog upravljanja podacima građevinskoj industriji uzrokovali trošak od procijenjenih 15,8 milijardi dolara godišnje, što uključuje 3-4% ukupnih troškova u građevinarstvu (Suermann & Issa, 2009). To je jedan od razloga zašto se posljednjih godina sve veći fokus stavlja na korištenje BIM-a za planiranje vremena i troškova koji se pokazao kao bolja opcija pri izradi planova te procijeni i praćenju promjena. Također, mogućnost pohranjivanja plana upravljanja objektom unutar BIM modela olakšava razumijevanje rasporeda i trajanja zadataka vezanih uz održavanje što poboljšava učinkovitost i praktičnost upravljanja objektom. Navedena BIM metoda unosa ima velik utjecaj na vremensko planiranje jer smanjuje probleme s planiranjem koji proizlaze iz ljudskog čimbenika. Podatci o lokaciji također utječu na vremensko planiranje s obzirom da se određene građevinske aktivnosti raspoređuju ovisno o lokaciji radnika, opreme ili materijala kako bi se osigurali što sigurniji uvjeti rada i što bolja efikasnost (Tuan Anh Nguyen, 2024). Kako bi se riješili sigurnosni problemi u vremenskim planovima, pomoću automatiziranih sigurnosnih provjera u aplikacijama za 4D simulaciju može se identificirati rizik od slučajnih padova.

Iako je vremensko planiranje jedan od ključnih čimbenika uspješnosti građevinskih projekata, u praksi se najčešće ne određuje točno vrijeme i mjesto zadataka za sve članove tima. Uglavnom je vremenski plan napravljen na temelju približnih rokova zbog čega dolazi do čestih kašnjenja, promjena rokova, a time i dodatnih troškova.

Tradicionalno, 4D modeli nastaju spajanjem 3D komponenti BIM-a s aktivnostima u vremenskom planu projekta te takvi 4D modeli imaju određena ograničenja s obzirom da pružaju informacije prvenstveno o 3D komponentama. Kako bi se povećala prednost korištenja 4D BIM-a i iskoristile njegove mogućnosti za smanjenje zahtjeva za materijalima (npr. beton, čelik) i podržala simulacija aktivnosti na razini lokacije, predložen je sustav koji olakšava razmjenu informacija između različitih softvera. Takav sustav ima poboljšanu simulaciju rada i uzima u obzir neizvjesna trajanja zadataka i konkurentsku potrebu za resursima što omogućava lakšu procjenu različitih strategija raspodjele resursa kako bi se izradio optimalni vremenski plan projekta. Konačan vremenski plan se zatim povezuje s 3D BIM komponentama pritom stvarajući poboljšani 4D model koji je temeljen na BIM-u (W. C. Wang, 2014).

Tijekom izrade BIM modela ključno je održavati redovite sastanke na kojima bi se raspravljalo o zajedničkom radu te BIM menadžera obavještavalo o napretku ili kašnjenju s radom, dovršenom i nedovršenom poslu. BIM menadžer ažurira i prenosi najnoviji integrirani kolaborativni rad i ističe probleme ukoliko je do istih došlo. Primjer problema do kojeg može doći je oštećenje datoteke BIM modela na strani poslužitelja što je problem koji se može ublažiti svakodnevnim sigurnosnim kopiranjem BIM modela na strani klijenta te spremanjem novih datoteka BIM modela isključivo na strani poslužitelja. Obavještavanje o napretku i promjenama u vremenskom planu bitno je kako bi se pravovremeno obavile sve korektivne mjere i učinkovita kontrola modela. Prilikom kontrole napretka, 4D model može mijenjati boju

kako bi se olakšalo razumijevanje napretka aktivnosti tijekom projekta. Praćenje napretka važno je jer ono određuje brzinu projekta, ali i cijenu i kvalitetu.

2.2.2 Prednosti primjene BIM-a za vremensko planiranje

Ovaj dio rada istaknut će prednosti i razloge korištenja 4D BIM-a za upravljanje projektima u usporedbi s tradicionalnim metodama vremenskog planiranja koje uključuju planiranje i raspored, usporedbu osnovnog i stvarnog napretka, kontrolu napretka izgradnje, plan predviđanja, analizu zahtjeva i rezoluciju spora, prikaz metoda gradnje, planiranje i upravljanje sigurnošću na radu, istraživanje lokacije toranjskih dizalica i sigurnosti, upravljanje ukupnim planom i upravljanje građevinskim nacrtima (Tuan Anh Nguyen, 2024).

Glavni razlozi započinjanja primjene BIM-a u građevinskim projektima su ušteda troškova projekta, svijest o tehnologiji u industriji, dostupnost obučениh stručnjaka za korištenje BIM alata te pristupačnost softvera (Mostafa, et al., 2023).

Jedna od glavnih prednosti korištenja BIM-a za vremensko planiranje je što BIM omogućava otkrivanje preklapanja aktivnosti tijekom faze projektiranja čime poboljšava rasporede projekata. Također, BIM ima mogućnosti koje pojednostavljaju umetanje, izdvajanje, ažuriranje ili modificiranje digitalnih podataka ne samo od strane inženjera i arhitekata, već i investitora, kupaca ili dobavljača (Meadati, 2008). Korištenjem BIM modela pojednostavljen je proces pohrane podataka o projektu zbog čega može služiti kao sveobuhvatan izvor za sve podatke vezane uz projekt. Pohranjeni podatci o objektu mogu se iskoristiti za upravljanje objektom tijekom čitavog životnog ciklusa projekta.

BIM predstavlja sveobuhvatan model koji sadrži potrebne informacije o projektu te potiče zajedničko korištenje između različitih dionika i odjela od faze idejnog projekta do faze izvođenja i korištenja. BIM model ne služi samo za pohranu i isporuku informacija o projektu kroz različite faze projekta, već i za generiranje i korištenje izvora informacija za pravljenje vizualnog modela objekta. Ovakvom pristupu svrha je optimiziranje dizajna, izgradnje i cijelog procesa upravljanja projektom pritom pružajući korisnicima sveobuhvatan pregled projekta. Na ovaj način, dionicima se olakšava donošenje odluka, poboljšava se produktivnost radnika, smanjuje se mogućnost nastanka pogrešaka i potreba za mijenjanjem dizajna tijekom trajanja projekta. Ukoliko se zatraži revizija, model se zajedno s povezanim elementima lako dostavi ažuriran što je vrlo korisno s obzirom da u tijeku građevinskog projekta, prije odobravanja, objekt najčešće prolazi kroz brojne promjene. S obzirom na činjenicu da je građevina multidisciplinarno područje, od velike je koristi to što BIM olakšava otkrivanje pogrešaka i nedosljednosti u dizajnu za različite discipline čime se minimiziraju sukobi između struka, a time i poboljšava njihova suradnja i usklađenost (Tuan Anh Nguyen, 2024).

S obzirom da je u Republici Hrvatskoj glavni uvjet za dobivanje projekta na javnom natječaju upravo najniža cijena, bitno je proučiti postoji li ekonomska prednost korištenja BIM-a. Prilikom projektiranja moguće je smanjiti troškove proizvodnje i dizajna, dok zbog poboljšane koordiniranosti za vrijeme izvođenja, je moguće uštedjeti prilikom nabave. Sam investitor na

BIM projektu ima puno jasniji pregled troškova imajući lakši pregled komponenti vezanih uz npr. troškove ili vrijeme. Koristeći BIM dobiva se model na kojem se mogu predvidjeti poteškoće tokom izgradnje zbog čega se smanjuje mogućnost nastanka zastoja na gradilištu čime se automatski smanjuju nepotrebni troškovi.

2.3 Integracija AI-a i BIM-a za planiranje i upravljanje građevinskim projektima

Integracija umjetne inteligencije i BIM-a ima značajan potencijal za transformiranje načina upravljanja građevinskim projektima tj. upravljanja vremenskim planom i troškovima, ali i kvalitetom i sigurnošću projekata. Ovom integracijom moguće je znatno povećanje efikasnosti i točnosti projekata zbog čega se može uštedjeti mnogo vremena i novca. Generalno, BIM pruža digitalni prikaz objekta sa svim svojim elementima i potrebnim podacima, dok umjetna inteligencija te podatke tumači i pomoću algoritama strojnog učenja donosi odluke.

Zbog brojnih prednosti koje nudi BIM, ali i računalnih sposobnosti umjetne inteligencije, njihova kombinacija omogućava maksimalno korištenje svih prednosti na najlakši način. Njihovom integracijom omogućava se automatizacija procesa upravljanja podacima, čime se štedi vrijeme, ali se i povećava efikasnost, olakšavaju procesi upravljanja te smanjuje mogućnost nastanka pogrešaka i nesigurnih uvjeta na gradilištu.

Automatizacija različitih zadataka vezanih uz vremensko planiranje faze izgradnje odvija se pomoću AI algoritama koji imaju mogućnost automatizirati generiranje rasporeda na temelju zahtjeva projekta, dostupnosti resursa i ostalih ograničenja. Ažuriranjem podataka o projektu, automatizirani rasporedi se kontinuirano optimiziraju čime se osigurava da proces izgradnje ostane unutar proračuna i konačnog roka. Također, automatizacijom rasporeda se smanjuje administrativno opterećenje voditelja projekta zbog čega se on može fokusirati na ostale zadatke (Rane, 2023). Zahvaljujući tome mogli bi se riješiti problemi karakteristični za građevinsku industriju poput čestih prekoračenja vremenskih rokova i troškova.

2.3.1 Prednosti integracije AI-a i BIM-a za vremensko planiranje

Jedna od glavnih prednosti integriranja umjetne inteligencije i BIM-a, posebno vezana uz vremensko planiranje, je mogućnost detekcije rizika i bolje raspodjele resursa. To je moguće zbog sposobnosti analiziranja prijašnjih podataka o projektu kao što su vremenski planovi prijašnjih projekata. Što više informacija ti planovi sadržavaju, to je moguće dobiti točniji i precizniji vremenski plan. Ukoliko su vremenski planovi prijašnjih projekata sadržavali informacije o produktivnosti radnika, pomoću strojnog učenja, bit će lakše odrediti točna trajanja pojedinih aktivnosti zbog čega će i cjelokupni vremenski plan biti precizniji i pouzdaniji, kao i promjena vremenskog plana do koje može doći ako se pojave nepredviđeni zastoji na gradilištu. Isto vrijedi i za ostale informacije o projektu poput vremenskih uvjeta svakog dana

na gradilištu ili dostupnosti resursa, u kojem slučaju AI pomaže pri optimiziranju raspodjele resursa, a time i troškova projekta.

Velika prednost integracije umjetne inteligencije i BIM-a za vremensko planiranje je mogućnost provođenja „what-if“ analiza što je posebno korisno u građevinskoj industriji koja je poznata po mogućnosti događanja različitih neizvjesnosti. AI algoritmi imaju sposobnost simuliranja različitih uvjeta, poput vremenskih nepogoda, nedostatka materijala ili neočekivanih promjena dizajna, nakon čega mogu procijeniti njihov utjecaj na raspored projekta. Taj utjecaj može se prikazati u BIM modelu i tako manipulirati i analizirati različite scenarije (Rane, 2023). Kroz istraživanje različitih scenarija, najveće su šanse da se identificira onaj vremenski plan koji je najučinkovitiji i koji ima najveće šanse privođenja projekta kraju u zadanom vremenskom roku.

S obzirom da je velika vjerojatnost da će u fazi izvođenja ipak doći do nekih nepredviđenih događaja koji mogu uzrokovati zastoje i promjene u planu, od velike je prednosti imati mogućnost praćenja stanja radova u stvarnom vremenu. Integracijom umjetne inteligencije i BIM-a taj proces je znatno olakšan zbog mogućnosti postavljanja senzora koji mogu prikupiti podatke i unijeti ih u sustav. Prikupljeni podaci se mogu analizirati pomoću AI algoritama nakon čega se mogu predvidjeti potencijalna kašnjenja. Voditelji projekta primaju pravodobna upozorenja o kašnjenju što im omogućava da reagiraju i poduzmu korektivne radnje na vrijeme (Rane, 2023). Zbog svega navedenog, znatno se smanjuje mogućnost kašnjenja projekta.

Značajna prednost ove integracije je i poboljšanje vizualizacije. BIM model sadrži podatke o cijelom projektu te su prikazane sve njegove komponente koje se mogu povezati s aktivnostima vremenskog plana i tako dobiti 4D model. Kada se takvom modelu integrira AI alat, dobiva se mogućnost detekcije sudara tj. preklapanja elemenata ili aktivnosti, tijekom faze projektiranja, koje je moguće prikazati na jednostavan način. Zahvaljujući poboljšanoj vizualizaciji problema, moguće je ne samo detektirati probleme na vrijeme već i olakšano donijeti odluke o potrebnim promjenama u projektu. Na taj način smanjit će se vrijeme potrebno za donošenje odluka, ali i broj potrebnih promjena s obzirom da alati umjetne inteligencije mogu dati prijedlog optimalnog vremenskog plana kojim će se maksimalno smanjiti kašnjenja i u kojem će aktivnosti biti najučinkovitije raspoređene. Osim što bi se u takvim vremenskim planovima izbjegla mogućnost preklapanja aktivnosti, također bi se osiguralo da je vrijeme optimalno iskorišteno zbog mogućnosti identificiranja prilika za paralelno izvršavanje određenih aktivnosti bez da se pritom ugrozi kvaliteta ili sigurnost projekta.

Jedna od glavnih karakteristika BIM-a, ali i umjetne inteligencije, je olakšavanje komunikacije među različitim dionicima ili timovima koji sudjeluju u projektu i na taj način poticanje suradnje. To je moguće zahvaljujući digitalizaciji zbog koje svi sudionici projekta imaju u bilo kojem trenutku pristup najnovijim podacima o projektu. Takve ažurirane podatke o projektu algoritmi umjetne inteligencije mogu obraditi i potom informirati različite sudionike ovisno o njihovim potrebama. Dakle, istaknute informacije ne moraju biti iste npr. voditelju projekta i projektantu.

Promicanjem suradnje, promiče se i transparentnost informacija o projektu zbog čega raste povjerenje između unutarnjih i vanjskih suradnika te se olakšava koordinacija projekta.

Posljednjih godina popriličan je trend održiva gradnja te se pokušavaju pronaći načini gradnje i materijali koji su najmanje štetni za okoliš. Integracija umjetne inteligencije i BIM-a za vremensko planiranje može imati pozitivan utjecaj na održivu izgradnju kroz optimizaciju resursa tj. radne snage, materijala ili opreme. Ukoliko postoje podaci o korištenim materijalima, potrošnji energije ili otpadu, algoritmi umjetne inteligencije takve podatke mogu analizirati te dati prijedlog vremenskog plana koji bi minimizirao otpad i bio optimalan po utjecaju na okoliš.

Osim što integracija BIM-a i AI-a može optimizirati vremenske planove, ona može optimizirati i troškove projekta. To je moguće zbog optimizacije resursa kojom se smanjuju troškovi, ali i zbog povećane točnosti procjene troškova. Algoritmi umjetne inteligencije analiziraju prijašnje podatke o troškovima poput cijena materijala, troškova rada ili cijena opreme i tako daju pouzdanu procjenu troškova koja pomaže pri izradi realnih proračuna. Također, tijekom trajanja projekta, AI može kontinuirano pratiti troškove projekta u stvarnom vremenu te podatke usporediti s proračunom pritom dajući upozorenja ukoliko dođe do premašivanja planiranih troškova. Na ovaj način sprječavaju se prekoračenja troškova (Rane, 2023).

2.4 Trenutno stanje integracije AI-a i BIM-a

U tablici 1 prikazane su trenutne mogućnosti koje nude BIM, AI te njihova integracija. Također su navedeni i trenutni izazovi zajedno s opcijama na kojima se radi da postanu moguća u bližoj budućnosti. Sve je navedeno ne samo za upravljanje vremenskim planom, već i za upravljanje troškovima, kvalitetom i sigurnosti.

Tablica 1: Integracija BIM-a i AI-a za upravljanje vremenskim planom, troškovima, kvalitetom i sigurnošću (Izvor: (Rane, 2023))

	BIM	AI	Integracija BIM-a i AI-a	Izazovi	Smjerovi za budućnost
Upravljanje vremenskim planom	Koristi 3D model i detekciju preklapanja za vizualizaciju procesa izgradnje	Koristi AI algoritme za točne pretpostavke vremenskog plana na temelju prijašnjih podataka	Prilagođavanje uz primjenu analitike predviđanja	Interoperabilnost podataka, različiti standardi	Poboljšanje interoperabilnosti, integracija s Internet of Things, dinamično planiranje kroz AI

Upravljanje troškovima	Pruža precizan iskaz količina i procjenu troškova kroz 3D model	Koristi AI za analizu troškova iz različitih izvora podataka kako bi se osigurala precizna predviđanja	Integrira BIM podatke u AI algoritme za pouzdane troškove	Točnost podataka o troškovima, složenost integracije	Napredna provjera valjanosti podataka o troškovima, blockchain za transparentno praćenje
Upravljanje kvalitetom	Olakšava 3D vizualizaciju za detekciju preklapanja i koordinaciju među sustavima	Koristi AI za prepoznavanje slika i senzore za praćenje kvalitete konstrukcije	BIM 3D modeli služe kao referenca za AI pokretanu kontrolu kvalitete	Točnost podataka, kompleksnost praćenja u stvarnom vremenu	AI-pokretano automatizirano osiguranje kvalitete, napredna tehnologija senzora u stvarnom vremenu
Upravljanje sigurnošću	3D model sadrži informacije vezane uz sigurnost poput evakuacijskih putova	Koristi AI za predviđanje sigurnosnih opasnosti te predlaže preventivne mjere	BIM podaci o sigurnosnim značajkama poboljšava AI-pokretanu procjenu rizika i sigurnosne protokole	Sigurnost podataka, privatnost, pouzdanost AI-a	Poboljšani AI algoritmi, tehnike očuvanja privatnosti, standardizirani formati sigurnosnih podataka

2.5 BIM alati za vremensko planiranje

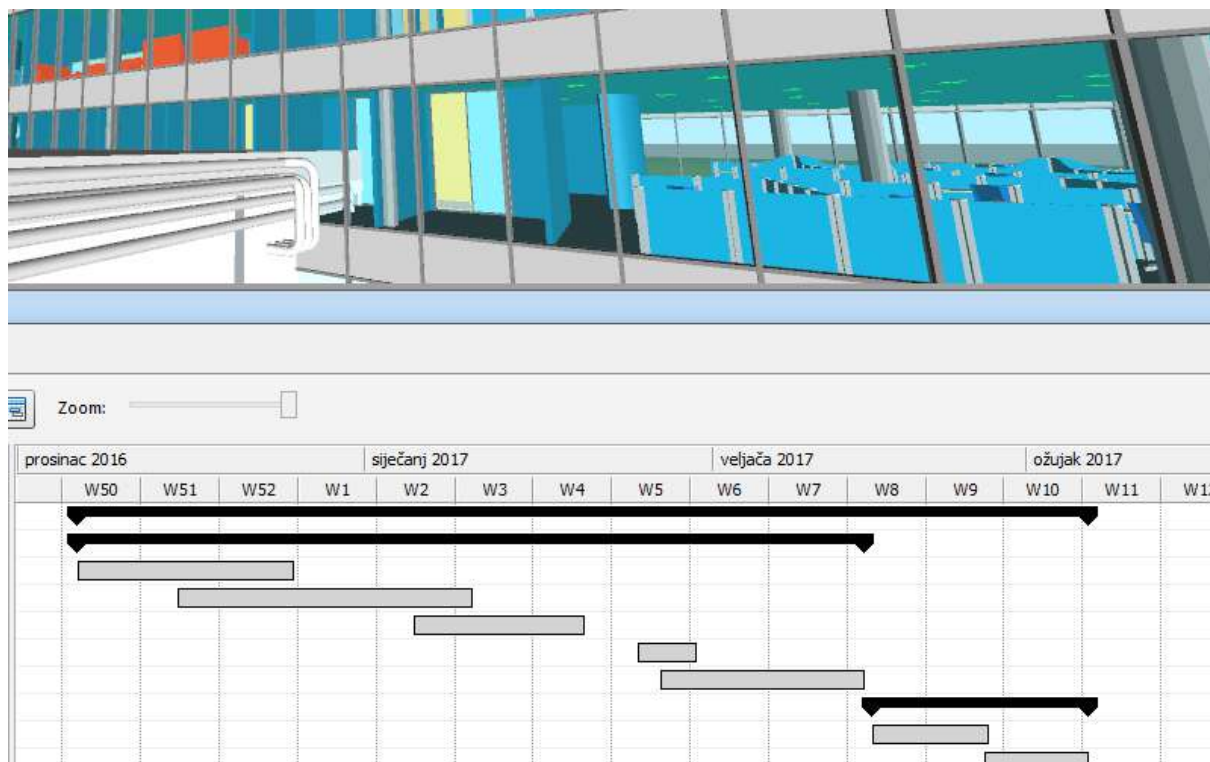
U ovom dijelu rada napravljen je pregled trenutno dostupnih BIM i AI alata, prvenstveno onih koji služe za poboljšanje i olakšavanje vremenskog planiranja. Ključno je istaknuti da su navedeni samo oni alati koji imaju mogućnost međusobne integracije. Prvo su navedeni BIM alati koji imaju mogućnost izrade ili uvođenja vremenskog plana nakon čega su navedeni AI alati koji mogu importirati podatke iz određenih BIM alata. Na taj način obavlja se integracija ovih tehnologija pritom olakšavajući proces vremenskog planiranja i upravljanja građevinskim projektima kroz različite benefite koje oni nude.

Za početak će se navesti BIM alati koji služe za vremensko planiranje s obzirom da je najčešća praksa da se u BIM alatu napravi 4D model koji se potom importira u neki od AI alata u kojem se proučava i optimizira. Prilikom istraživanja dolje navedenih alata primijećeno je da gotovo svi BIM alati nude opciju importa vremenskog plana nastalog u nekom od alata za vremensko

planiranje poput MS Projecta ili Oracle Primavera P6, no većina BIM alata također nudi mogućnost izrade vremenskog plana direktno u BIM alatu.

2.5.1 Autodesk Navisworks

Cilj uvođenja BIM-a je poboljšanje učinkovitosti i preciznosti što je olakšano kroz zajedničku bazu podataka i vizualizaciju 4D modela. 4D model generira se kombinacijom 3D BIM modela i vremenskog plana uz korištenje 4D alata kao što je Autodesk Navisworks koji nudi 3D model integriran s geometrijom temeljenom na vremenu. Autodesk-ov Navisworks je program koji građevinarima, ali i arhitektima i strojarima, omogućava cjelovit pregled integriranih modela i podataka te pruža informacije koje odgovaraju na pitanja tko, što, kada, kako i koliko treba napraviti. Primarna namjena ovog alata je u građevinskoj industriji, ali često ga koriste i u industrijama poput brodogradnje i procesne industrije. Autodesk-ov Navisworks koristan je u svim fazama životnog ciklusa objekta, od faze projektiranja do korištenja i održavanja objekta. Jedna od glavnih mogućnosti Autodesk-ovog Navisworks-a je olakšano otkrivanje problema kao što je zadiranje jednog elementa u drugi npr. grede u zid. Korištenjem ovog alata nije samo olakšano prepoznavanje problema, već i njegova prezentacija i dolazak do rješenja jer se svi pronađeni problemi mogu grupirati te u izvještaju prikazati uz sliku i komentar. Prikazi problema mogući su na različite načine što dodatno olakšava razumijevanje problema.



Slika 4: Vremensko planiranje u Navisworks-u (Izvor: (Prior, 2024))

U pogledu vremenskog planiranja, Navisworks ima mogućnost analizirati i simulirati izgradnju (slika 4). Simulacija izgradnje moguća je kroz ubacivanje vremenskih planova nastalih u programima koji su specijalizirani za planiranje kao što je MS Project ili Primavera Enterprise, ali je moguće i vremenski plan raditi direktno u Navisworks-u. U slučaju direktne izrade vremenskog plana svakom elementu modela se dodjeljuje planirana aktivnost zajedno s informacijama o potrebnom vremenu i troškovima. Zbog lakše preglednosti, povezane planirane aktivnosti se prikazuju u obliku gantograma, a moguće je i grupiranje aktivnosti u hijerarhije čime se omogućava pregled plana izgradnje po cjelinama koje mogu biti objekt, etaža ili dilatacija (Prior, 2024).

Osim simulacije izgradnje, moguća je i simulacija organizacije i logistike gradilišta što olakšava otkrivanje vremenskih preklapanja planiranih aktivnosti. Za izradu troškovnika, iskaz količina se jednostavno uzima iz modela računanjem količina na temelju 2D crteža ili 3D modela. Troškovničke stavke je potom moguće ručno upisivati ili importirati iz vanjskih izvora, a stavkama se mogu dodijeliti resursi tj. ljudski rad, materijali i strojevi. U slučaju potrebe za daljnjom obradom, takve se stavke zajedno sa svojim informacijama mogu eksportirati u MS Excel. Model je moguće i presjeći na bilo kojem mjestu te presjeci mogu biti rotirani oko bilo koje osi što omogućava pregled bilo kojeg dijela modela. Integriranjem alata za vizualizaciju moguća je i virtualna šetnja 3D modelom iz perspektive trećeg lica pomoću avatara čime se lakše poimaju proporcije. Ova opcija je korisna i za prezentiranje projekta zainteresiranim stranama. Za renderiranje, Navisworks preuzima informacije o materijalima iz modela od drugih Autodesk-ovih alata te je podešavanje postavki renderiranja pojednostavljeno.

Jedna od glavnih prednosti Navisworks-a je što može importirati i eksportirati modele nastale u različitim programima kao što su Autodesk AutoCAD, Revit i ReCap Pro, što značajno olakšava upravljanje projektom. Kako bi se iskoristio cijeli potencijal BIM-a, korisnicima bi trebala biti omogućena komunikacija putem „oblaka“. Komunikaciju između pojedinaca ili različitih projektnih timova je moguće ostvariti integracijom Navisworks-a i alata BIM 360 Glue čime se omogućava dijeljenje projektnih podataka u realnom vremenu. Na taj način, svi sudionici u projektu imaju osiguran pravovremen pristup informacijama što je posebno korisno ako se radi o informacijama o problemu u projektu jer se značajno ubrzava rješavanje otkrivenog problema i donošenje odluka u projektu (Prior, 2024).

Postoje tri verzije Navisworks-a, a to su Navisworks Freedom, Navisworks Simulate i Navisworks Manage. Verzije se razlikuju po mogućnostima koje nude. Prva navedena verzija je besplatna te nudi mogućnosti kao što su kretanje objektom u stvarnom vremenu i prostoru, animacija objekta, foto-realna simulacija modela i različiti alati za mjerenje. Neke mogućnosti koje druge dvije verzije imaju, a prva nema, su: timska revizija projekta, integracija datoteka i podataka modela, NWD i DWF formati izvoza, alati za suradnju struka, simulacija troškova, BIM koordinacija s AutoCAD 2017, BIM 360 Glue integracija, uzimanje količina iz integriranog modela i s 2D nacrtu. Mogućnosti koje nudi samo posljednja verzija ovog alata su automatsko otkrivanje i upravljanje konstrukcijsko instalaterskim prodorima i zadiranjima. Glavna prepreka integriranju ovakvih alata u građevinska poduzeća je upravo cijena. Trenutna cijena godišnje licence za Navisworks Simulate je \$1,110, a za Navisworks Manage čak \$2,740 (Autodesk, 2024).

2.5.2 SYNCHRO 4D Pro

Synchro PRO jedan je od BIM alata koji se često koristi za vremensko planiranje. Koristan je jer kroz integraciju 3D modela i vremenskog plana daje detaljan uvid u upravljanje i analizu građevinskih rasporeda te nudi rješenja za planiranje i optimizaciju građevinskih projekata.

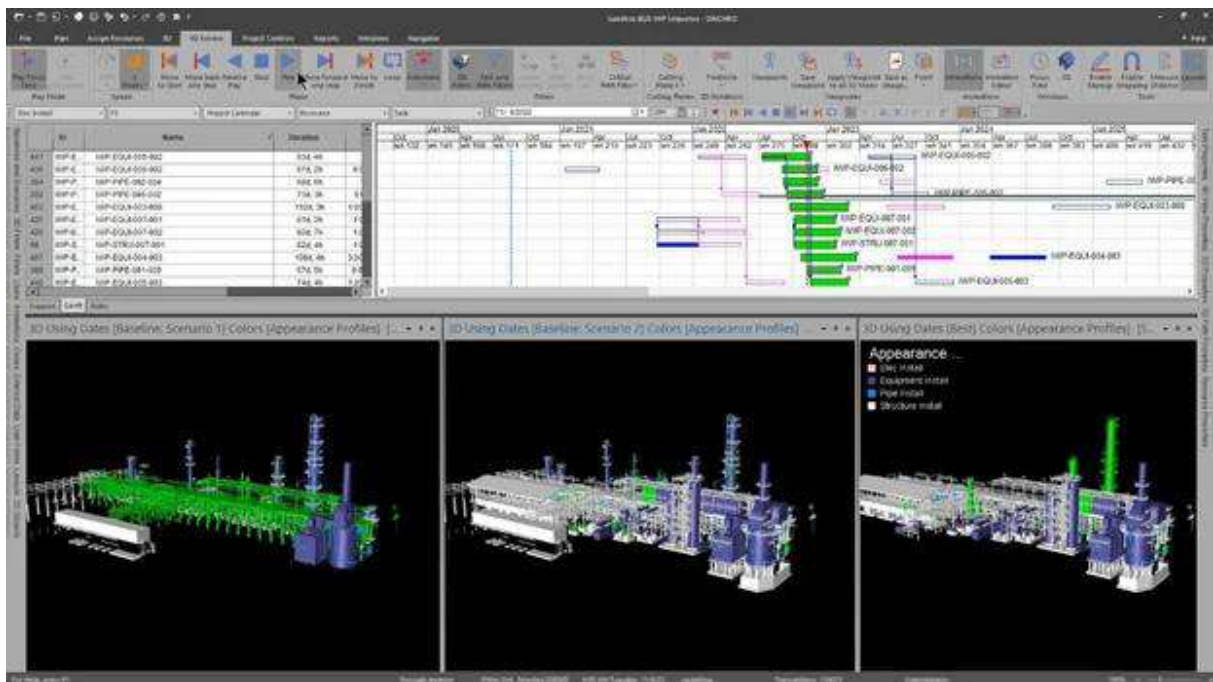
U pogledu vremenskog planiranja glavne karakteristike koje ima Synchro Pro je 4D planiranje i simulacija tj. mogućnost integracije 3D modela i vremenskog plana te vizualizacija faze izgradnje. Prilikom integracije 3D modela, model se može importirati iz različitih BIM alata kao što su Revit, Allplan, Navisworks i drugi. Sve promjene i ažuriranja vremenskog plana ili modela koje se naprave kasnije, tijekom trajanja projekta, mogu se vidjeti i u Synchro-u zbog ugrađene značajke sinkronizacije. Integracija vremenskog plana moguća je ubacivanjem planova iz najpoznatijih softvera za vremensko planiranje, a to su MS Project i Primavera P6. Nakon ubacivanja i povezivanja 3D modela i vremenskog plana, može se kreirati i 4D simulacija koja daje prikaz izgradnje u odnosu na vremenski plan. Ova mogućnost olakšava identificiranje preklapanja i potencijalnih problema i zastoja u fazi projektiranja, a koje bi se mogle dogoditi u fazi izvođenja i prouzrokovati kašnjenja ili dodatne troškove. S integriranim vremenskim planom, omogućava se i olakšano praćenje napretka radova na gradilištu jer je korisnicima ovog alata omogućeno unošenje stvarnih podataka o napretku kao i uspoređivanje istih s planiranim vremenskim planom. Na ovaj način lako se uočavaju vremenska odstupanja stvarnih radova od onih planiranih. Za svaku aktivnost vremenskog plana moguće je vezati potrebne resurse poput ljudskog rada, materijala ili strojeva. Prilikom praćenja aktivnosti, automatski se može pratiti i uporaba resursa što olakšava proces optimizacije resursa i njihovog rasporeda što potom povećava učinkovitost, a smanjuje troškove projekta.

Neke od dodatnih mogućnosti koje nudi Synchro Pro su zajednički rad, s obzirom da svi članovi projektnog tima imaju pristup ažuriranim informacijama čime se ubrzava donošenje odluka i poboljšava koordinacija među timovima. Ova mogućnost pridonosi i boljoj suradnji jer centralizirani podatci olakšavaju razmjenu informacija čime se stvara okruženje s boljom komunikacijom među sudionicima projekta i projektnim timovima. Velika prednost ovog alata je interoperabilnost jer Synchro Pro podržava import i eksport podataka iz različitih BIM alata i softvera za vremensko planiranje što poboljšava učinkovitost. Na povećanu učinkovitost također utječe i mogućnost vizualizacije i simulacije izgradnje objekta čime se poboljšava planiranje i priprema, a smanjuje se mogućnost kašnjenja i prekoračenja troškova projekta. Prilikom simulacije izgradnje mogu se identificirati preklapanja i mogući problemi kod izgradnje, a njihovim rješavanjem u fazi projektiranja i planiranja smanjuje se rizik revidiranja i nastanka velikih i skupih grešaka. Također, omogućeno detaljno praćenje napretka aktivnosti, a zajedno s njima i povezanih resursa, daje veliku transparentnost što je od značajne prednosti za investitora te za donošenje odluka u projektu.

Postoji nekoliko različitih alata dostupnih koristeći SYNCHRO 4D licence, a to su: SYNCHRO 4D Pro (za potpuno 4D raspoređivanje), SYNCHRO Modeler (za iskaz količina), SYNCHRO Control (za upravljanje dokumentima), SYNCHRO Field (za mobilni pristup). U nastavku će se objasniti kako se svaki od navedenih alata može koristiti da bi se dobio potpuni 4D tijekom rada od faze projektiranja do faze izvođenja (Gonzalez, 2021).

SYNCHRO 4D Pro je glavni alat za generiranje 4D modela unutar kojeg je moguće napraviti vremenski plan projekta ili importirati isti iz posebnog softvera za planiranje. Nakon toga, importira se 3D model, a aktivnosti u vremenskom planu se povezuju s odgovarajućim elementima u 3D modelu. Kada se završi sa takozvanim početnim postavljanjem, moguće je koristiti različite dodatne značajke ovog alata kao što su:

- stvaranje baseline-a (osnovnih linija) za usporedbu planiranih i stvarnih rasporeda,
- izvođenje različitih „what-if“ scenarija za sve moguće slučajeve projekta (slika 5),
- filtriranje 4D modela (prema fazi, tipu materijala identifikacijama aktivnosti itd.),
- generiranje i analiziranje grafikona zarađeno-vrijednost kako bi se pratili troškovi u usporedbi s vremenom,
- korištenje simuliranja rasta kako bi se realistično prikazale faze izgradnje,
- uključivanje sigurnosnih protokola i protokola rizika,
- izrada visokokvalitetnih animacija i izvještaja te
- korištenje iRay dodatka za postizanje visokokvalitetnih prikaza (Gonzalez, 2021).



Slika 5: Usporedba mogućih rasporeda u SYNCHRO 4D Pro (Izvor: (Gonzalez, 2021))

SYNCHRO Modeler je alat koji služi za pretvaranje nekonstruktivnih modela u konstruktivne komponente. Koristeći Modeler moguće je rastaviti model na realne količine za vrijeme čega se geometrijske informacije o svakoj podijeljenoj količini (kao što su volumen, duljina ili površina) automatski generiraju i zadržavaju. Podijeljenim količinama moguće je dodijeliti šifre troškova i generirati preuzimanja količina te na taj način procijeniti trošak projekta. Rad obavljen u Modeler-u moguće je prenijeti u SYNCHRO 4D Pro te s povećanim brojem podataka o 4D modelu nadopuniti cjelokupni 4D tijek rada.

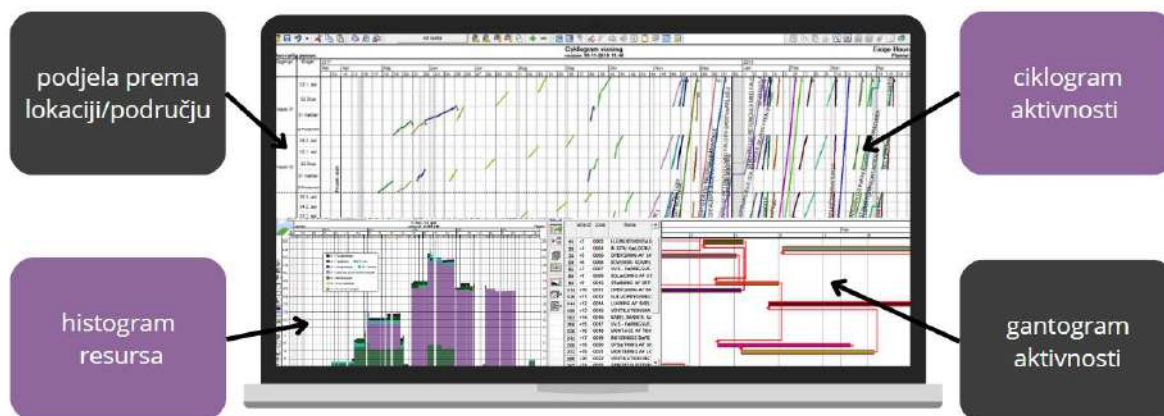
SYNCHRO Control predstavlja web portal koristan za upravljanje projektima jer čuva sve dokumente vezane uz projekt, a pristup tim dokumentima ovisi o voditelju projekta koji dionicima odobrava pristup niže ili više razine. U kontekstu vremenskog planiranja ovaj alat je koristan jer čuva građevinsku dokumentaciju i daje kontekst gdje se svaka od stavki nalazi u odnosu na 4D model. Također je koristan jer se putem Control-ovog web portala 4D model, nastao u SYNCHRO 4D Pro-u, može dijeliti s ostalim sudionicima u projektu. Ova značajka je posebno korisna sudionicima koji nemaju instaliran SYNCHRO 4D Pro na svojim računalima, a žele imati pristup 4D modelu. Pomoću ovog alata vremenski plan se može detaljno analizirati, slijed izgradnje se može reproducirati, a i komentari se mogu postaviti u bilo kojem trenutku. Na ovom alatu moguće je i vidjeti koliko dugo su određeni dokumenti otvoreni, koje kolege imaju otvorene dokumente, što olakšava upravljanje projektom (Gonzalez, 2021).

SYNCHRO Field aplikacija je dizajnirana za korištenje na gradilištu te je stoga najkorisnija za inženjere na gradilištu jer im pruža mobilni pristup što znatno olakšava pristup informacijama na gradilištu. Aplikacija se može preuzeti na iPad, iPhone ili bilo koji Android uređaj, a potom je na njoj moguće pregledavati projektну dokumentaciju, pisati izvješća o promatranju, snimati fotografije gradilišta te pregledavati 4D model u bilo kojem trenutku. Velika prednost ove aplikacije je što za njeno korištenje nije potrebno imati pouzdanu i stabilnu internetsku vezu jer se ona može koristiti i izvan mreže (Gonzalez, 2021). Za vremensko planiranje, ova je aplikacija korisna jer nakon završenog radnog dana inženjeri na gradilištu u ovoj aplikaciji mogu sinkronizirati dovršeni posao. Te informacije su povezane sa SYNCHRO Control-om te se pomoću toga olakšava praćenje stvarnog napretka radova na gradilištu.

2.5.3 Vico Office (Vico Schedule Planner)

Vico Office softver je za upravljanje građevinskim projektima koji nudi 3D, 4D, ali i 5D BIM mogućnosti. Ovaj alat bio je jedan od prvih alata za 5D BIM, a razvilo ga je poduzeće Vico Software, koje je sada dio Trimble Inc. Navedeni softver najčešće se koristi za 3D BIM modeliranje, vremensko planiranje, procjenu troškova tj. 5D te za praćenje napretka radova u fazi izvođenja i uspoređujući ih s planiranim rasporedom. Kao dosad navedeni alati, i ovaj alat ima sposobnost interoperabilnosti te omogućava olakšanu komunikaciju i dijeljenje informacija među različitim sudionicima i projektnim timovima.

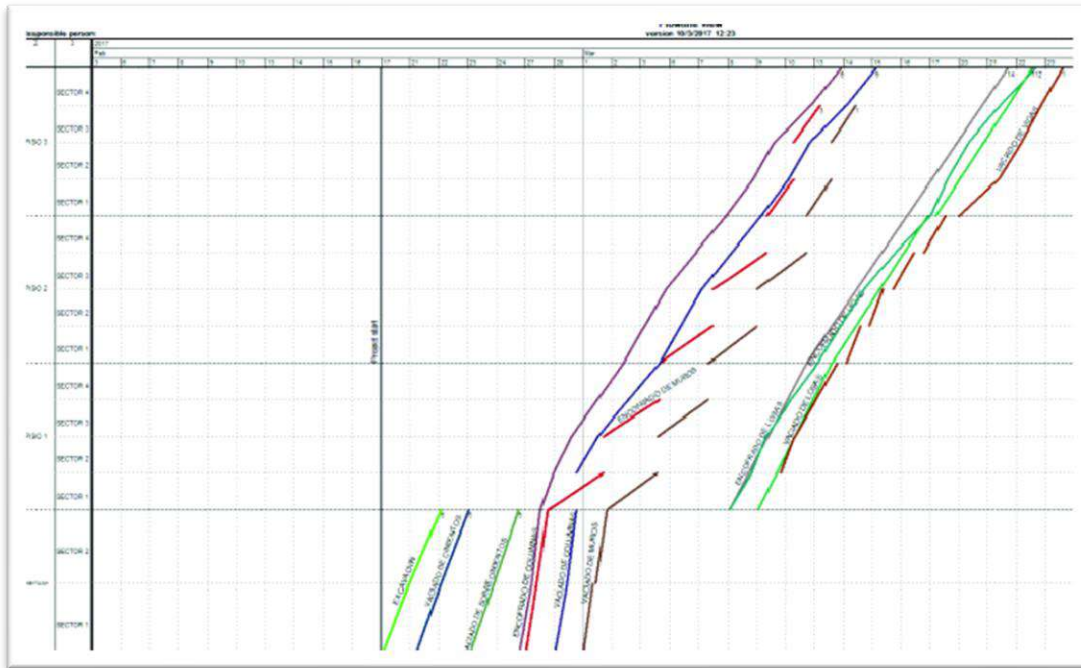
Vico Office sastoji se od devet različitih modula, a to su: Vico Office klijent, planer troškova, kontrolor dokumenata, LBS upravitelj, kontrolor proizvodnje, planer rasporeda, menadžer polijetanja, upravitelj radnih paketa i web usluge. Ovi moduli olakšavaju implementaciju ovog alata, a njegovo jednostavno sučelje ubrzava početak rada i poboljšava produktivnost (Vico Office, 2024). S obzirom da se ovaj alat proučava u pogledu vremenskog planiranja, fokusirat ćemo se na modul „planer rasporeda“ koji predstavlja važan modul za 4D planiranje.



Slika 6: Različite mogućnosti Vico Schedule Planner-a

Slika 6 prikazuje različite mogućnosti izrade i prikazivanja rasporeda u Schedule Planner-u. Pregled svih aktivnosti na gradilištu moguć je u obliku ciklograma pomoću kojeg je olakšana vidljivost preklapanja radova, ali i neprikladnog korištenja prostora i vremena koje se može optimizirati. U ovom rasporedu moguće je dodati dodatnu os uz pomoć koje se gradilište može podijeliti na različite lokacije/područja čime se dobiva mogućnost planiranja na različitim lokacijama gradilišta u isto vrijeme. Osim prikaza aktivnosti u obliku ciklograma, može se koristiti gantogram zajedno s povezanim funkcijama za planiranje na temelju lokacije. Također, resurse je moguće grafički prikazati u obliku histograma kako bismo lakše vidjeli za koji dan je potrebna kolika količina materijala, opreme ili radne snage. Ovim prikazom olakšano je primjećivanje razlika u resursima po danu, a time i optimizacija istih.

Planer rasporeda (eng. *Schedule Planner*) jedan je od najučinkovitijih planera na tržištu koji se može koristiti kao samostalni alat, ali ga se također može integrirati u 3D BIM modele zbog čega je važan za 4D planiranje. Glavna posebnost ovog modula je ta što se vremensko planiranje temelji na lokaciji zbog čega se ovaj planer rasporeda razlikuje od ostalih (koji su temeljeni na aktivnostima). Neke od prednosti ovog načina rada su učinkovita podjela rasporeda po lokacijama kao i učinkovita vizualizacija. Velika prednost ovakvog planera rasporeda je što se vrlo jednostavno i slobodno može mijenjati redoslijed izvršenja prilikom čega aktivnosti automatski slijede promijene jer ovise o lokaciji koja nije samo naziv kategorije već i središnji dio rada na planiranju. Metoda planiranja koju mnogi koriste u Schedule Planner-u je Flowline, također poznata i kao metoda programiranja ciklusa. Za učinkovitu optimizaciju rasporeda, vrlo je važno znati ih čitati, razumjeti i analizirati, a to je olakšano jer se ovom metodom raspored može olakšano vizualizirati i prenijeti (Vico Office, 2024).



Slika 7: Flowline metoda u Vico Office-u (Izvor: (Brioso, et al., 2017))

Na slici 7 dan je primjer ortogonalnog plana - Flowline metode planiranja za objekt s često ponavljajućim procesima za kakve je ova metoda korisna. Tok (eng. *flowline*) svake od alternativa olakšava razumijevanje predaja i prekretnica unutar projekta, a kako bi se napravili Flowline-ovi, potrebno je projekt na lokaciji podijeliti na tri različite razine. Razina 1 označava prvu podjelu u kojoj se lokacijske jedinice dijele na katove ili podrume, zatim slijedi podjela na dnevne zone (razina 2) te na kraju na podsektore ili proizvodne jedinice koje se izvode tijekom radnog dana za razinu 3 (Brioso, et al., 2016).

Osim mogućnosti planiranja temeljenog na lokaciji, planer rasporeda nudi mogućnosti stvaranja logike i ovisnosti, dodavanja količina i resursa u raspored, integriranje troškova, integriranje planiranja nabave te simuliranje rizika. Stvaranje logike i ovisnosti u Planeru rasporeda najlakše je uključivanjem prikaza kritičnog puta (CPM) prilikom čega se aktivnosti mogu povući i ispustiti pritom stvarajući međusobne ovisnosti kao što su početak-kraj (SF), početak-početak (SS), kraj-početak (FS) ili kraj-kraj (FF). Prednost je što se logičke ovisnosti mogu u isto vrijeme povezati između različitih aktivnosti i lokacija koristeći brzi manevar. Dodavanje količina u raspored moguće je ručnim unosom podataka, ali i importom podataka iz Excela, a za određivanja resursa najlakše je automatski izraditi histogram aktivnih resursa. Moguće je i izraditi kalendar resursa na kojem bi se vidjelo kada je i koliko resursa potrebno, uključujući i broj ljudi na gradilištu na određenom datumu i lokaciji. Ukoliko se žele pratiti troškovi kroz trajanje projekta, oni se mogu integrirati u aktivnosti nakon čega će se automatski prikazati novčani tok gdje je moguće vidjeti raspodjelu troškova ovisno o lokaciji ili aktivnosti. Planiranje nabave je također moguće jer se količine, zajedno s troškovima, distribuiraju na lokacije. Velika prednost Flowline-a je što nudi mogućnost smanjenja rizika jer ima alate za analizu i interpretaciju vremenskih linija. Ovaj planer čak podržava i simulaciju rizika prema

Monte Carlo metodi s mogućnošću simulacije više od 10.000 različitih scenarija rizika i prikazivanja istih u Flowline-u (Vico Office, 2024).

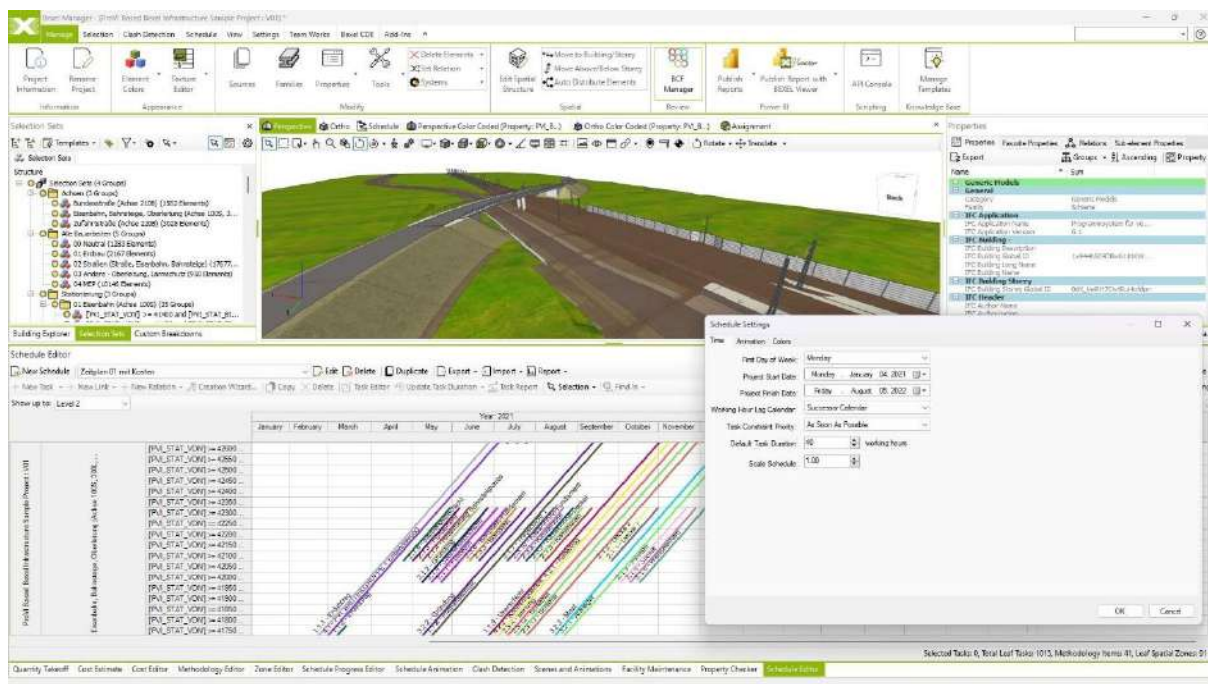
Kako bi se vremenski plan najefikasnije prikazao ostalim sudionicima u projektu, koristi se poseban alat za prezentaciju 4D simulacije, a to je Vico 4D Manager (Project Controls Online, 2024).

2017. godine na Papinskom Katoličkom Sveučilištu u Peru-u među studentima zadnje godine građevinarstva provedena je radionica kojom su se usporedile različite metode planiranja koristeći alate kao što su Excel, Revit, Navisworks i Vico Office. Vico Office koristio se za automatizaciju rasporeda i usporedbu 4D i 5D metoda tj. taktne metode i flowline metode. Tijekom radionice studenti su koristeći Vico Office trebali vizualizirati 4D i 5D modele, automatski kreirati rasporede te pratiti promjene nastale prilikom mijenjanja podataka u 5D modelu. Studenti su primijetili kako 5D model integrira razne tehnike planiranja i alata u jedinstvenu virtualnu konstrukciju s mogućnošću pristupa automatiziranim informacijama dok se vizualizacijom 4D modela omogućila detekcija sukoba koji bi nastali u fazi izgradnje (Brioso, et al., 2017).

2.5.4 BEXEL Manager

BEXEL Manager je sveobuhvatan BIM alat koji nudi mogućnosti izrade 3D, 4D i 5D modela, ali i mogućnost upravljanja održavanjem građevina. Poduzeće BEXEL Consulting razvilo je ovaj alat pomoću kojeg je moguće upravljati građevinskim projektima od faze planiranja do same faze održavanja. BEXEL Manager također sadrži skup značajki za naprednu 3D vizualizaciju, upravljanje podacima modela, otkrivanje sukoba, automatizirani iskaz količina, upravljanje troškova te pametno planiranje i praćenje napretka.

U pogledu vremenskog planiranja, velika prednost ovog alata je što ima mogućnost pametnog planiranja korištenjem naprednog 4D BIM mehanizma za planiranje pomoću kojega je moguće automatizirati vremenske planove čime se može smanjiti dugotrajno ručno određivanje rasporeda. Algoritam može pronaći optimalno rješenje s minimalnim troškovima i s najbolje balansiranim vremenom i resursima čak i za najsloženije projekte koji mogu sadržavati stotine tisuća elemenata (Bexel Manager, 2024). Vremensko planiranje moguće je korištenjem „flowline“ ili LOB (eng. „*Line of Balance*“) planiranja te je takvo planiranje prikazano na slici 8. LOB označava liniju ravnoteže tj. proces kontrole podataka koji se odnose na vrijeme ili trošak u donosu na određeni plan.



Slika 8: Vremensko planiranje u BEXEL Manager-u (Izvor: (Bexel Manager, 2024))

Osim navedenih metoda, moguće je koristiti metodu i analizu kritičnog puta te koristiti pametno mapiranje elemenata modela za planiranje zadataka. Moguć je import i eksport rasporeda iz programa za vremensko planiranje kao što su Primavera ili MS Project, a gantogram napravljen u BEXEL-u se može izvesti u .pdf i .xlsx formatu. Za vrijeme izrade rasporeda moguće je obojati aktivnosti prema različitim pravilima, a rasporede je moguće i uspoređivati.

Vizualizacija rasporeda izgradnje važna je za njegovo razumijevanje jer omogućava jasan i detaljan uvid u projekt. U BEXEL Manageru moguće je napraviti i izvesti 4D simulaciju te imati pregled simulacije izgradnje u stvarnom vremenu. Prilikom izrade simulacije, elementima, zadatcima i resursima je moguće dodijeliti različite sheme boja kako bi se lakše razlikovali. Također, moguće je i upravljanje animacijom kroz određivanje putanje kamere, vremenskog intervala ili broja sličica u sekundi, a prilikom simulacije izgradnje može se i zakazati kategorizacija zadataka kao npr. izgradnja, privremeno, rušenje ili neutralno (Bexel Manager, 2024).

Za postizanje optimalnih rezultata u projektu, vrlo je bitno optimizirati raspored izgradnje. Kako bi se taj proces olakšao i ubrzao, BEXEL sadržava opcije napredne analize i optimizacije vremenskog plana kao i raspodjelu resursa i niveliranje. Za optimizaciju rasporeda mogu se koristiti i LOB te flowline analiza, a korisna je i opcija pametne prilagodbe trajanja zadataka.

Bitna stavka za učinkovito upravljanju vremenskim planom je praćenje napretka tj. redovito i jasno pregledavanje vremenskog plana i novčanih tokova za vrijeme trajanja projekta te predviđanje mogućih kašnjenja radova kako bi se osiguralo pravovremeno donošenje odluka.

Za praćenje napretka BEXEL Manager obuhvaća opcije:

- BCF (eng. *BIM Collaboration Format*) unos napretka,
- unos napretka prema odabiru,
- tradicionalni unos napretka temeljen na količini i elementu,
- unos napretka uvoza,
- automatsko ažuriranje rasporeda prema unosu napretka,
- izrada i analiza planova za budućnost,
- praćenje napretka izgradnje,
- praćenje resursa te
- prilagodljivi mjesečno plaćeni certifikat (Bexel Manager, 2024).

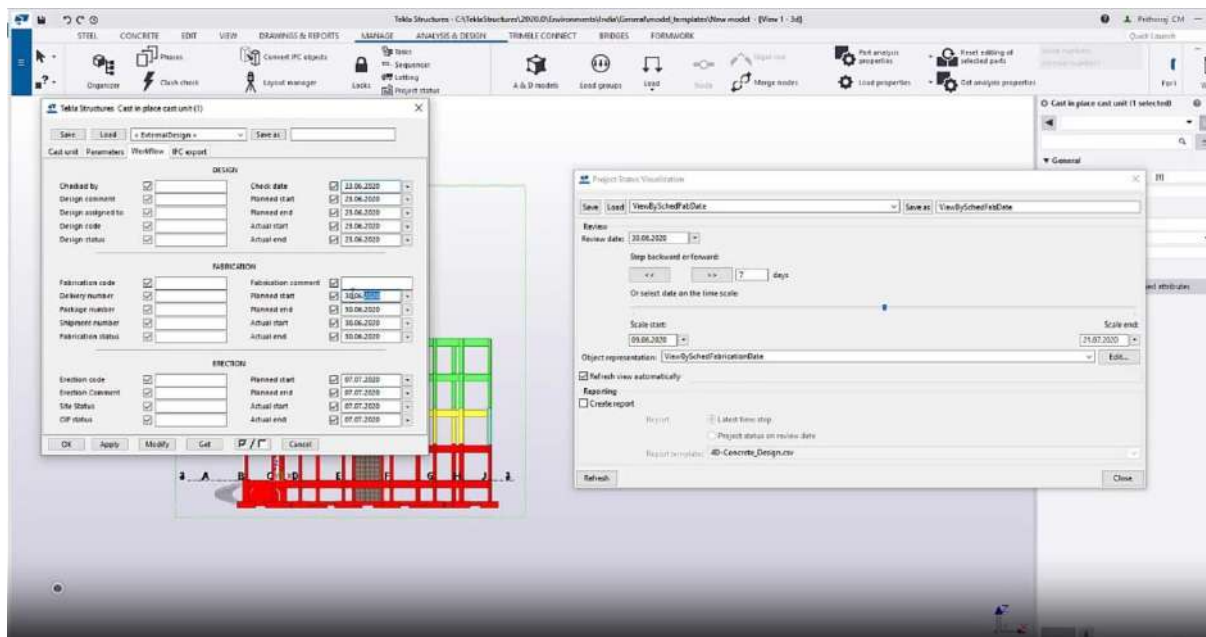
Nakon izrade vremenskog plana, njegove vizualizacije i optimizacije, a tijekom praćenja napretka projekta bitna je detaljna analiza kako bi se donijele odluke i izvještaji. Postoje različite vrste izvještaja i analiza koje je moguće napraviti u ovom alatu. BEXEL Manager posjeduje napredni mehanizam za izvještavanje koji može dati detaljna izvješća o troškovima i vremenskom planu. Također, moguće je i izvaditi izvršni izvještaj koji sadrži sve potrebne podatke o projektu. Od analiza, moguće je napraviti „what-if“ tj. „što-ako“ analizu unutar koje je moguće usporediti različite 5D simulacije izgradnje kako bi se našla ona koja je optimalna. Moguće je napraviti i usporedbu između planirane i stvarne analize, kao i praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti (eng. *Key performance indicators - KPI*) te analizu unaprijed.

Osim alata BEXEL Manager, postoje i alati BEXEL Manager Lite, BEXEL Engineer i BEXEL TeamWorks. BEXEL Manager Lite u pogledu vremenskog planiranja nudi opcije slične onima od BEXEL Managera s tim da se Lite verzija koristi za manje projekte. BEXEL Engineer koristan je u projektima prije faze izvođenja, a najčešće se koristi za pregled modela s podacima te za otkrivanje sukoba. Nažalost, ne nudi opcije vezane za vremensko planiranje kao što su simulacija izgradnje ili optimizacija rasporeda, kao ni 5D projektiranje. BEXEL TeamWorks poboljšava BEXEL Manager i BEXEL Engineer sustavom koji je temeljen na oblaku uz pomoć kojega je moguća besprijekorna suradnja i razmjena informacija između članova tima (Bexel Consulting, 2024).

Cijena licence za BEXEL Manager iznosi 2.400 eura godišnje, ali za potrebe manjih projekata dovoljna je licenca za BEXEL Manager Lite koja je najjeftinija te iznosi 480 eura godišnje (Bexel Consulting, 2024).

2.5.5 Tekla Structures

Tekla Structures je BIM alat razvijen od tvrtke Trimble koji inženjerima i arhitektima omogućava stvaranje detaljnih 3D modela za različite vrste konstrukcija. Također omogućava i zajednički rad na istom modelu između više pojedinaca i timova dok se crteži, izvještaji i ostala potrebna projektna dokumentacija automatski generira iz modela što povećava učinkovitost i smanjuje rizik od pogrešaka. Ukoliko se ovaj alat poveže s alatima za proračun kao što su SAP2000, STAAD.Pro ili ETABS moguće je napraviti statičku i dinamičku analizu konstrukcija.



Slika 9: 4D modeliranje u Tekla Structures-u (Izvor: (Assistance, 2024))

Iako vremensko planiranje nije primarna funkcija ovog alata, Tekla Structures se može koristiti za upravljanje vremenom u kombinaciji s alatima čija je primarna svrha vremensko planiranje, primjerice MS Project ili Primavera P6. Integracijom s navedenim alatima moguć je import vremenskih planova, a povezivanjem s 3D modelom nastaje 4D model kojim se omogućava simuliranje izgradnje prema određenom vremenu (slika 9). Za povezivanje 3D modela i vremenskog plana koristi se Tekla Task Manager čime se omogućava prikazivanje tijeka izgradnje u različitim fazama što osigurava da svaka aktivnost projekta bude optimalno organizirana i usklađena s ostatkom projekta. 4D modeliranje olakšava vizualizaciju faze izvođenja, a time i identificiranje potencijalnih problema i zastoja na gradilištu te optimiziranje redoslijeda aktivnosti. Vizualizacija je moguća uz naredbu „Visual 4 Dimensions“ uz koju se model može prikazati prema unesenom datumu, a rezultati 4D vizualizacije se mogu vidjeti u napretku projekta tijekom njegova trajanja koristeći „Project Status Visualization“ (Khatimi, 2022).

Ažuriranjem statusa elemenata modela s obzirom na vremenski raspored, može se pratiti napredak projekta i tako vidjeti napreduju li radovi u skladu s vremenskim planom, a ukoliko se primijete kašnjenja, ista se mogu identificirati nakon čega se poduzimaju korektivne mjere. Ovaj alat najkorisniji je za projektiranje čeličnih konstrukcija jer daje mogućnost detaljnog planiranja montaže elementa, uključujući vizualizaciju i optimizaciju procesa montaže.

2.6 AI alati za vremensko planiranje

U ovom dijelu rada opisat će se alati umjetne inteligencije koji služe za poboljšanje vremenskog planiranja te optimiziranje vremenskog plana. Prilikom proučavanja dolje navedenih alata, proučio se način na koji umjetna inteligencija djeluje za olakšavanje vremenskog planiranja, kao i načini na koje se ovi alati mogu integrirati s BIM alatima za vremensko planiranje. Primijetilo se da ova integracija nudi brojne prednosti ne samo za vremensko planiranje, već i za cjelokupni proces upravljanja građevinskim projektima (npr. kontrolu napretka radova, kontrolu troškova itd.).

Prilikom istraživanja alata umjetne inteligencije korisnih za vremensko planiranje, pronađen je određen broj alata koji se mogu integrirati s alatima za vremensko planiranje poput MS Projecta i Primavera P6, ali se ne mogu integrirati s BIM alatima. S obzirom na tematiku ovog rada, u nastavku su prikazani samo oni AI alati koji imaju mogućnost integracije s BIM-om (iako isti imaju mogućnost i integracije s MS Projectom ili Primaveraom P6). Integracija se obavlja kroz import 4D BIM modela iz nekog od BIM alata, nakon čega se za olakšavanje vremenskog planiranja koriste različiti algoritmi umjetne inteligencije. Načini integracije, kao i prednosti koje nude AI algoritmi, bit će detaljnije objašnjeni u nastavku za svaki od alata.

2.6.1 ALICE Technologies

ALICE Technologies prva je svjetska platforma pokretana umjetnom inteligencijom za simulaciju i optimizaciju građenja. Poduzeće ALICE Technologies osnovano je 2015. godine na temelju istraživanja Sveučilišta Stanford te danas surađuje s vodećim građevinskim tvrtkama u područjima infrastrukturne, industrijske i komercijalne gradnje. Ovo poduzeće ima urede u trima državama, točnije u SAD-u (Kalifornija), Češkoj (Prag) i Indiji (Pune), a vizija mu je smanjiti građevinske troškove za 25% na globalnoj razini. Platforma ALICE u građevinskoj se industriji koristi kako bi olakšala upravo vremensko planiranje jer pojednostavljuje procese kreiranja i ažuriranja rasporeda koji smanjuju rizik dok u isto vrijeme skraćuju troškove i vrijeme izgradnje (ALICE Technologies, 2024).

Ova platforma pokušava, uz pomoć tehnologije, pronaći optimalna rješenja i odgovore na probleme vezane uz vremensko planiranje, zastoje, korištenje resursa i smanjivanje rizika. Poznato je da velik broj građevinskih projekata često traje mnogo duže nego što je to potrebno zbog čega se pokušavaju pronaći načini na koje je moguće koristiti tehnologiju kako bi se stvorili brži/kraći vremenski planovi. Također, moguće je istražiti kako se uz pomoć tehnologije mogu smanjiti zastoje, kako se može povećati učinkovitost radnika i profit. U današnje vrijeme, velik je fokus na održivoj gradnji i smanjenju otpada zbog čega je bitno pronaći načine na koje se najbolje mogu iskoristiti resursi. Prilikom svakog premašivanja vremenskih rokova i budžeta građevinskog projekta, povećavaju se i rizici zbog čega je bitno iskoristiti tehnologiju kako bi se stvorili vremenski planovi koji imaju najveću vjerojatnost da će se projekt moći isporučiti u skladu sa određenim rokom i budžetom.

ALICE Technologies je AI alat napravljen specifično za građevinsku industriju koji pomaže pri optimizaciji planiranja s mogućnostima koje nudi, a koje tradicionalni alati za planiranje nemaju. Ovaj AI alat posebno je koristan za velike projekte vrijednosti najmanje 75 milijuna dolara, jer smanjuje rizike prilikom planiranja, a povećava mogućnost dobivanja profitabilnih projekata. ALICE platforma je korisna i u fazi izgradnje kada su moguće brojne promjene i kada ovaj alat pomaže vratiti projekt na pravi put. O njezinoj vrijednosti govori i podatak da su najveći svjetski vlasnici, izvođači i konzultanti velikih projekata uspjeli optimizirati preko 45 milijardi dolara volumena izgradnje s ALICE-om (Alice Technologies, 2024).

O učinkovitosti korištenja ovog AI alata govore i važni mjereni podatci, a to su:

- smanjeno trajanje projekta za 17%
- ušteda troškova rada za 14%
- ušteda troškova opreme za 12% (Alice Technologies, 2024).

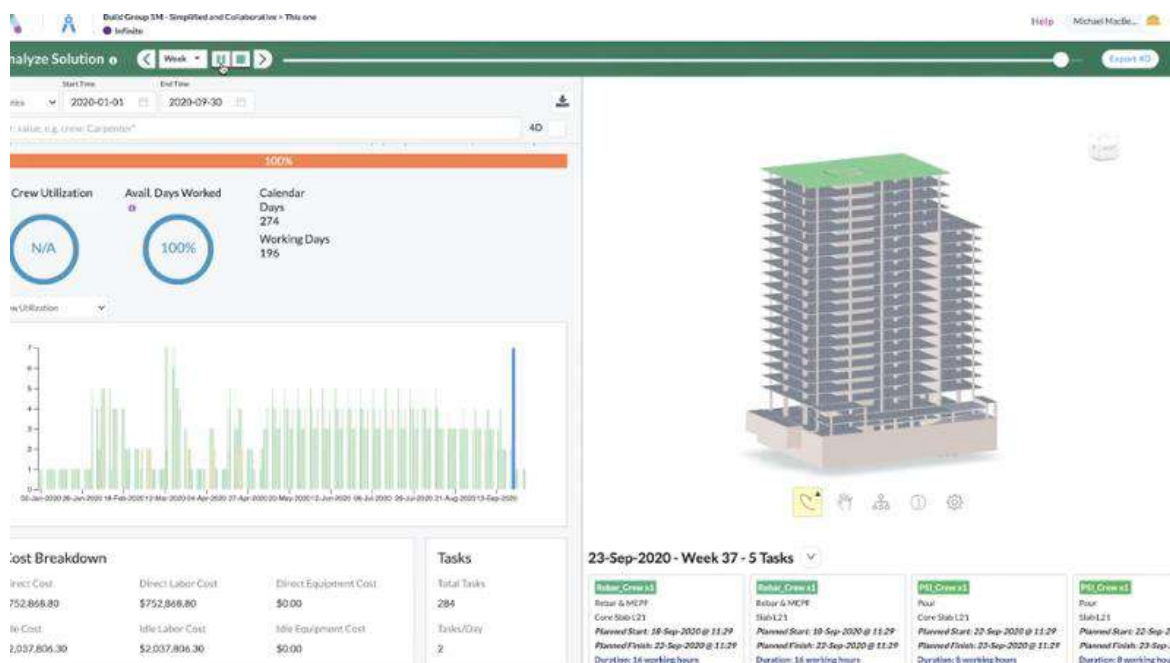
Uzimajući u obzir da se ovaj alat najčešće koristi za projekte u vrijednosti od više milijuna dolara, ove uštede rade veliku razliku.

ALICE platforma korisna je i za specijalne građevine poput tunela te je korištena tijekom faze izvođenja za tunel Cophthall u Londonu od strane udruženih poduzeća Skanska, Costain i Strabag (SCS). Na ovom projektu Alice je pomogla u planiranju tako što bi voditelj projekta unio potrebne parametre i zahtjeve vezane uz projekt te bi u roku od 10 minuta dobio odgovore o isplativosti i brzini određenog vremenskog plana. Također pomogla je u upravljanju vremenom i resursima tako što je napravila novi raspored kojim je uskladila resurse i napravila da su svi resursi iskorišteni te je namjestila raspored tako da nema zastoja. Kao rezultat toga, iskopavanje tunela završeno je godinu ranije čime se stvorila prilika da se čitav projekt završi pola godine ranije.

O primjeni i korisnosti ovog AI alata svjedoče razna velika poduzeća koja su primijenila ALICE na svojim projektima i time si uštedjela vrijeme i novac. Građevinska tvrtka Hawaiian Dredging istaknula je kako im primjena ovog alata daje mogućnost istraživanja različitih opcija, a time i određivanja najboljeg načina za izvođenje projekta što prije nije bilo moguće jer se koristilo tradicionalno planiranje najčešće samo s jednom verzijom vremenskog plana. Poduzeće Parsons primijetilo je kako im je platforma ALICE pomogla da budu kompetitivniji prilikom natječaja te učinkovitiji u fazi izvođenja (Alice Technologies, 2024).

Poduzeće Build Group odlučilo je kritički sagledati ovaj alat te ga testirati u projektu 5M-M2, projektu izgradnje stambene zgrade smještene u San Francisco-u koja bi trebala imati 24 etaže (od kojih dvije podzemne) te koja bi pružila 288 novih stambenih jedinica u gradu. Ovo poduzeće odlučilo je isprobati ALICE jer im je trebala mogućnost smanjivanja vremena koje im je potrebno za proučavanje kompliciranih projekata i dolaska do rješenja. Kad su započeli s korištenjem ALICE platforme imali su namjeru „slomiti“ softver i dokazati da ne radi, ali u tome su bili potpuno neuspješni jer su uz pomoć softvera potvrdili dijelove plana koji su bili optimalni te saznali za načine i prilike kojima je moguće poboljšanje njihovog vremenskog plana. Tradicionalno, poduzeće Build Group bi koristilo različite modele i alate poput MS Project-a i Primavera P6 kako bi pronašli najbolje rješenje, poziciju kрана, sate rada i sve ostalo vezano uz planiranje faze izvođenja, za što je potrebno utrošiti mnogo vremena kada se radi manualno.

Uz pomoć platforme ALICE, postavili su neke osnovne parametre, kao što su vremenska ograničenja i učinkovitost, i ubrzo generirali milijune rješenja za odabir onog najboljeg za projekt. Također, primijetili su da su zaposlenici ovog poduzeća, zaposleni na različitim pozicijama, u kratkom vremenskom roku savladali korištenje ALICE alata za razliku od drugih alata za čije je učenje korištenja potrebno mnogo više vremena. S ALICE su potvrdili neke svoje vremenske planove, ali i našli mjesta za napredak, smanjenje trajanja projekta i povećanje produktivnosti. Također, olakšalo im se prikazivanje klijentima kako i zašto će se projekt izvesti na određen način, a zbog svoje transparentnosti povećalo se povjerenje klijenata i olakšala suradnja. Ovaj AI alat ima mogućnost da pridonese ljudskom faktoru. Ljudski faktor zaslužan je za ideje, unošenje parametara, intuiciju, iskustvo te za analizu i postavljanje pitanja dok AI, kroz platformu ALICE, služi za rješavanje ograničenja, za milijune proračuna i generiranje optimalnog 5D modela. Na slici 10 vidljivo je sučelje platforme ALICE koje prikazuje pronalazak optimalnog rješenja za projekt izgradnje stambene zgrade za poduzeće Build Group.



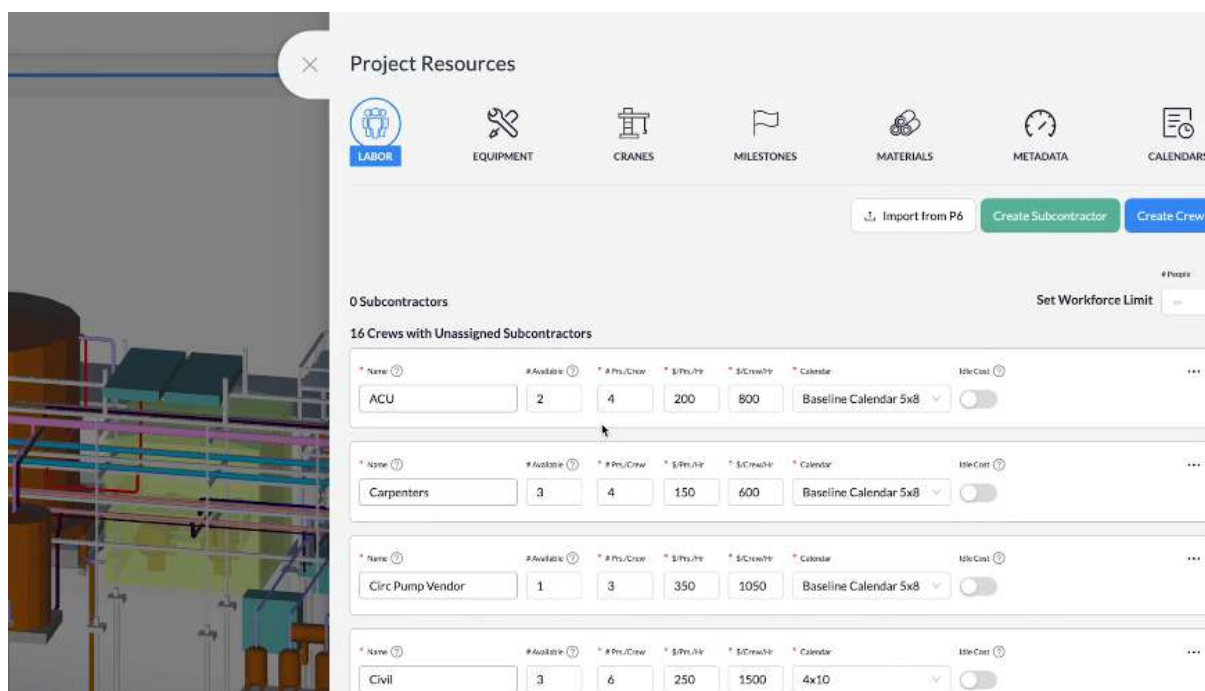
Slika 10: Primjena ALICE platforme za pronalazak optimalnog rješenja (Izvor: (Alice Technologies, 2024))

Ovaj projekt dovršen je unutar planiranog roka tj. u 23.5 mjeseca, a njegova trošak iznosio je 156 milijuna američkih dolara (Build Group, 2024).

Platforma ALICE nudi dva različita proizvoda, a to su ALICE Pro i ALICE Core. S obzirom da je jedan od ciljeva ovoga rada proučavanje AI alata koji se mogu integrirati s BIM alatima, fokusirat ćemo se na ALICE Pro s obzirom da njezino korištenje počinje s postojećim 3D BIM modelom. Nakon što imamo BIM model potrebno je napraviti predložak s potrebama projekta i metodama izgradnje nakon čega se uz ALICE Pro simulira i optimizira vremenski plan. Konačno, donose se odluke na temelju danih opcija te se upravlja projektom. Prednost

korištenja ovog alata je mogućnost istraživanja brojnih potencijalnih načina izgradnje nekog projekta na mnogo brži i lakši način prije početka faze izgradnje čime se znatno smanjuje rizik dok se povećava vjerojatnost osvajanja projekata. ALICE Pro dizajnirana je za olakšavanje donošenja odluka u projektu i za otključavanje strateškog planiranja uz generativni raspored (Alice Technologies, 2024). ALICE Pro nudi više mogućnosti od ALICE Core-a s obzirom da je vezana uz BIM model zbog čega je moguće generirati baseline plana po uzoru na model nakon čega je moguće odabrati optimalnu opciju među različitim ponuđenim opcijama/scenarijima vremenskih planova te sve to vizualizirati u 4D-u. Ova opcija idealna je za suradnju između izvođača i klijenata na velikim i kompliciranim projektima.

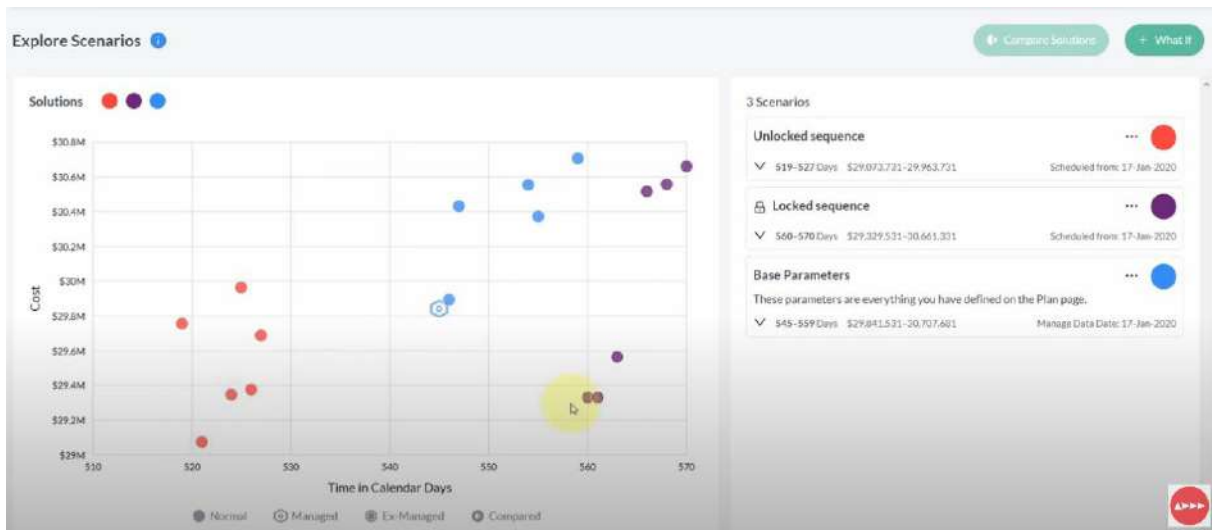
Proces integracije ovog AI alata s BIM alatom je na samom početku kada se 3D model, napravljen u nekom od BIM alata, importira u ALICE Pro (u nastavku poglavlja će biti rečeno više o BIM alatima i formatima koji se mogu integrirati s ALICE-om). Nakon toga svo vremensko planiranje moguće je obaviti u ALICE Pro-u tako što se za početak definiraju faktori kao što su količina radnika, efikasnost rada, dostupnost/količina potrebne opreme i alata, lokacije kрана i kalendar, kao i sva dodatna ograničenja na projektu (slika 11).



Slika 11: Definiranje parametara (radnika) u ALICE Pro (Izvor: (Alice Technologies, 2024))

Nakon toga ubacuju se metode izgradnje koje su u ALICE Pro nazvane „receptima“ (eng. *recipe name*). U „recepte“ se ubacuju podatci poput potrebnog rada, resursa i logike rada potrebne da se napravi pojedini element projekta, a svaki „recept“ je moguće ponovo koristiti u novim projektima i time uštedjeti vrijeme. Kada se unesu svi potrebni podatci, ALICE Pro se koristi kako bi se otkrio najbolji vremenski plan, a moguće je i mijenjati parametre te brzo i jednostavno vidjeti u 4D-u koliko oni mogu utjecati na vremenski plan, ali i trošak projekta. To

je moguće jer ALICE nudi opciju izrade „what-if“ analiza zbog čega se u ovaj alat mogu ubaciti različiti scenariji te se potom može istražiti što bi se u vremenskom planu promijenilo (slika 12).



Slika 12: Istraživanje različitih scenarija u ALICE Pro (Izvor: (Automated Data Driven Design, 2023))

Bilo koji od dva ALICE alata, nakon što odredimo optimalni plan, nudi mogućnost njegova eksporta u nekoliko različitih klasičnih formata zbog interoperabilnosti ALICE-a s Oracle P6 i Oracle Primavera Cloud-om. Na taj način olakšava se dijeljenje plana s drugima. Za vrijeme faze izgradnje moguće je koristiti ALICE za vizualizaciju napretka, a ukoliko se primijete zastoji, uz pomoć umjetne inteligencije, moguće je brzo prilagoditi raspored tako da radovi ostanu unutar zadanih vremenskih rokova. Time se mogu uštedjeti tjedni koji su tradicionalnim planiranjem potrebni za modificiranje vremenskog plana kada dođe do zastoja i nepredviđenih promjena rasporeda. S ovim alatom moguće je namjerno ubaciti različite riskantne scenarije i na taj način vidjeti njihov utjecaj na cjelokupan projekt.

ALICE Pro je jedini alat unutar ALICE platforme koji se može integrirati s BIM alatima. Trenutno najpreporučljiviji formati modela za ALICE sučelje su Autodesk-ov Revit (RVT) i Navisworks (NWC/NWD) te se navedeni formati mogu izravno učitati u ALICE. Iako su ovi alati najpreporučljiviji, to definitivno nisu jedini alati koji se mogu integrirati s ALICE Pro. Generalno, moguć je import bilo kojeg modela nastalog u softverskim platformama koje imaju mogućnost izvoza geometrije u DWG, NWC ili IFC formatima. Primjeri nekih od platformi koje imaju sposobnost takvog izvoza su Rhino, Civil 3D, Archicad, Tekla, Infracore, Inventor, AECOsim, Microstation, OpenBridge/Road i drugi (Alice Technologies, 2024).

ALICE Core novi je alat u ALICE platformi koji je koristan za poduzeća koja ne koriste BIM u svojim projektima jer se uz ALICE Core mogu importirati postojeći rasporedi nastali u MS Project-u, Primavera P6 ili Primavera Cloud-u nakon čega odmah započinje proces stvaranja različitih scenarija i optimiziranja vremenskog plana (Alice Technologies, 2024).

Razlika između Core-a i Pro-a je u tome što Pro omogućuje generiranje rasporeda iz 3D modela kao i vizualizaciju rasporeda u 4D-u koja nije moguća u Core-u. S druge strane, ono što Pro nema za razliku od Core-a je mogućnost učitavanja vremenskog plana i rasporeda resursa iz MS Projecta, Primavera P6 ili Oracle Primavera Cloud-a (OPC) te OPC eksport rasporeda. Osim ovih razlika, ostale mogućnosti su iste neovisno o kojem se ALICE proizvodu radi, a te mogućnosti su:

- optimiziranje osnovnog rasporeda,
- generativno modeliranje rizika i ublažavanje rizika,
- brze „what-if“ analize
- zakazivanje analize osjetljivosti,
- niveliranje resursa,
- oporavak zbog zastoja i odgoda
- P6 eksport rasporeda te
- MS Project eksport rasporeda (Alice Technologies, 2024).

ALICE platforma nudi prednosti koje većina drugih alata nema. Jedna od glavnih prednosti je da ne postoji ograničen broj korisnika čime se unutar poduzeća omogućava suradnja među svim potrebnim dionicima za vrijeme trajanja projekta te se olakšava njihova komunikacija što je ključno za projekt. Osim neograničenih korisnika, neograničeni su i podaci jer je ova platforma dizajnirana za podršku potrebama pohrane podataka za velike i složene projekte. Ovaj softver temeljen je na oblaku zbog čega je svim članovima projekta omogućen pristup podacima o projektu s bilo koje lokacije. Prilikom započinjanja rada u ALICE alatima, ova platforma nudi razne radionice i obuke koje se čak prilagode projektu tog poduzeća te na taj način znatno olakšaju i ubrzaju proces učenja rada i otkrivanja svih opcija koje ovi alati nude. Također, ukoliko kasnije kroz projekt dođe do tehničkih problema, ova platforma ima predani tim građevinskih stručnjaka koji mogu pružiti tehničku podršku i tako pridonijeti uspjehu projekta (Alice Technologies, 2024).

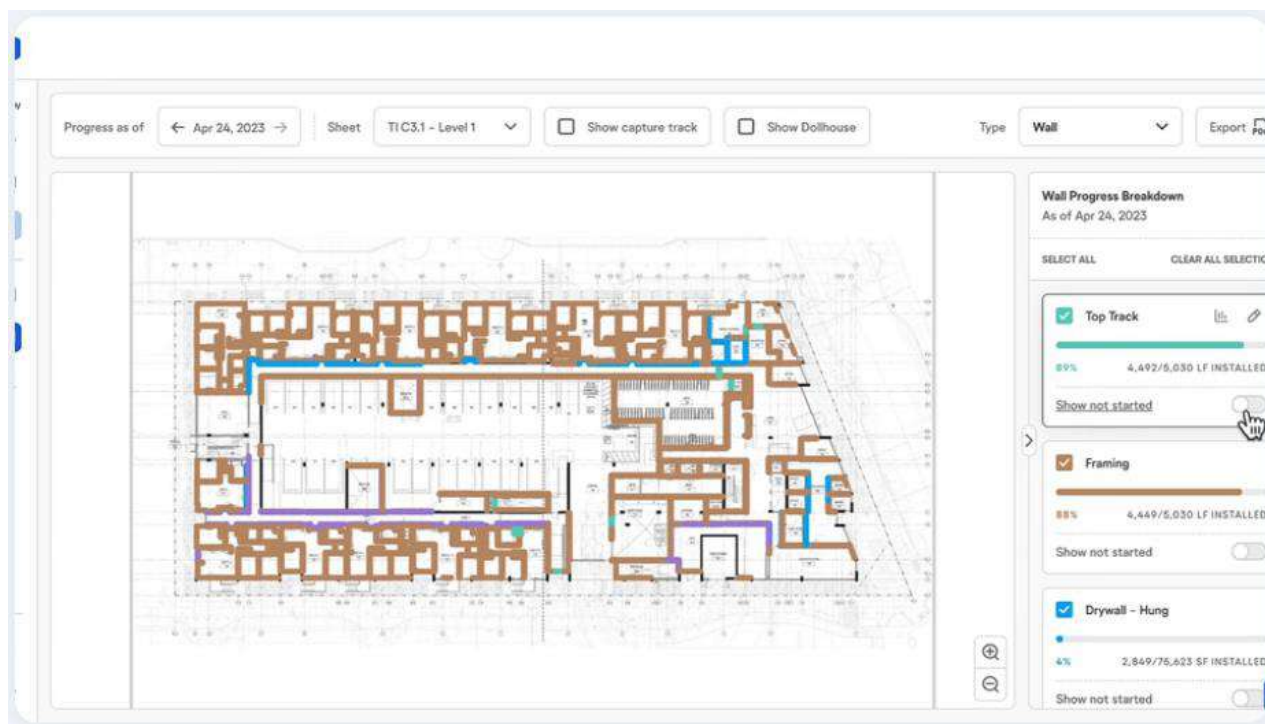
ALICE Pro najprikladnija je za velike i skupe građevinske projekte na kojima je potrebno napredno planiranje faze izvođenja koje može značajno utjecati na konačne rezultate projekta. Pod takve projekte spadaju različiti industrijski, infrastrukturni i kapitalni komercijalni projekti. Industrijski projekti podrazumijevaju elektrane te različita postrojenja i tvornice, a industrijski uključuju autoceste, mostove, vijadukte, tunele, željeznice i metroe. ALICE Pro se često koristi za kompleksne komercijalne projekte poput visokih zgrada ili nebodera, zdravstvenih ustanova, višenamjenskih objekata i ostalo.

Nažalost, ALICE Pro trenutno ne nudi besplatnu probnu verziju za vrijeme kojega se mogu isprobati njezini alati. Ono što nudi je rezerviranje personaliziranih demonstracija uživo tijekom kojih se daje prilagođeni obilazak ALICE-a kroz koji je moguće vidjeti sve ključne značajke i funkcionalnosti ove platforme. Na službenoj stranici ovog poduzeća nije vidljiva cijena ALICE alata, već se kupovina obavlja kontaktiranjem prodajnog tima koji potom daje detaljne informacije o cijenama. Ukoliko se poduzeće odluči na kupnju ALICE-a, uz pristup ALICE alatima dobiva i pomoć u korištenju i učenju od ALICE tima (Alice Technologies, 2024).

2.6.2 OpenSpace

OpenSpace je platforma koja služi za snimanje stvarnosti te je utemeljena na umjetnoj inteligenciji za građevinsku industriju. OpenSpace je izumio automatizirano snimanje i mapiranje gradilišta s videom od 360° te stoga nudi najnapredniji, najbrži i najjednostavniji alat. O korištenosti ovog proizvoda govore podaci da je njime snimljeno više od 34 milijarde četvornih stopa gradilišta i 2 milijarde slika aktivnih projekata na više od 50 tisuća projekata po cijelom svijetu. Ovu platformu koristi više od 244 tisuće korisnika u 95 različitih država, a svojim korisnicima nudi nekoliko proizvoda i različitih tehnologija, a to su OpenSpace Capture, OpenSpace Vision Engine, OpenSpace Track te OpenSpace BIM+ (OpenSpace, 2024). U pogledu vremenskog planiranja fokusirat ćemo se na OpenSpace Track s obzirom da je to alat koji služi za praćenje napretka aktivnosti vremenskog plana. Prikazat će se i funkcije i prednosti OpenSpace Capture-a s obzirom da je za funkcioniranje OpenSpace Track-a potrebno prvo koristiti OpenSpace Capture. Naposljetku će se obraditi mogućnosti koje nudi OpenSpace BIM+ i tako najbolje objasniti prednosti integracije ovog proizvoda s BIM-om.

OpenSpace Track je alat koji služi za automatsko kvantificiranje napretka na gradilištu kako bi se na što lakši način pratio i provjerio postotak dovršenosti radova te brzina rada. Automatsko izračunavanje napretka moguće je pomoću umjetne inteligencije tj. računalnog vida i strojnog učenja koji pouzdano provjeravaju odrađeni posao uz brze i vrlo precizne podatke za praćenje s prosječno preko 99% točnosti. Ovim načinom rada olakšana je usporedba dovršenog posla s planiranim aktivnostima te je uštedeno vrijeme koje bi bilo potrebno za ručno praćenje napretka.



Slika 13: Praćenje napretka u OpenSpace Track-u (Izvor: (OpenSpace, 2024))

Na slici 13 dan je prikaz praćenja napretka u OpenSpace Track-u, konkretno se pratio napredak zidova na datum 24.4.2023. na levelu 1 te su zidovi označeni različitom bojom ovisno o dovršenosti.

Ovaj alat ima brojne funkcije/opcije korisne za vremensko planiranje. Jedna od njih je pregledna tablica u kojoj je prikazan napredak aktivnosti prema postotku dovršenosti, statusu i količinama za cijeli projekt. Prikaz napretka može biti dan i u obliku grafikona koji se ažurira svakim korištenjem OpenSpace-a, a takvim vizualnim prikazom olakšava razumijevanje napretka. Razumijevanju napretka pridonose i toplinske karte tlocrta gradilišta na kojima se može vidjeti postotak dovršenosti po lokaciji, a klikom na lokaciju se mogu vidjeti i slike trenutnog stanja. Osim praćenja vremena potrebnog za obavljanje aktivnosti, moguće je i pratiti troškove tako da se kod troškova uskladi sa stavkama proračuna tj. poveže s ID-ovima aktivnosti vremenskog plana. Ukoliko se napredak poželi podijeliti s ostalim dionicima projekta, to je moguće izvozom podataka o napretku u obliku PDF ili CSV (eng. *comma-separated values* tj. vrijednosti odvojene zarezom) datoteke ili povezivanjem s analitičkim alatima kao što je Power BI.

Za korištenje OpenSpace Track-a potrebno je napraviti snimku koristeći OpenSpace Capture nakon čega se može pratiti napredak. OpenSpace Track koristi podatke iz OpenSpace Capture-a tako da slike obradi, poravnava, locira i raspodijeli. Pomoću OpenSpace Vision Engine-a fotografije se automatski mapiraju u vremenske planove. Slike koje se lociraju pomoću detekcije objekata te klasificiraju, mogu se locirati u 3D prostoru pomoću oblaka točaka te pratiti tijekom vremena. Tako se dobiva kvantitativna karta aktivnosti projekta kojom se može provjeriti produktivnost na određenom mjestu. Ovaj alat se može koristiti i za poboljšanje točnosti procjena jer sprema podatke o tome koliko je vremena stvarno potrošeno na neku aktivnost i koji su materijali korišteni. Dakle, najveća prednost ovog alata je poboljšanje točnosti rasporeda, ali i mogućnost brzog uvida u to teku li radovi prema planu te postoje li kakva prekoračenja vremena ili troškova (OpenSpace, 2024).

Cijena OpenSpace Track-a se temelji ovisno o projektima na kojima će se koristiti te na trackerima koji se žele kupiti. Generalno, OpenSpace Track se prodaje kao dodatak licenci za pretplatu na OpenSpace Capture-u.

OpenSpace Capture je alat koji služi za snimanje slika gradilišta koje su korisne za vizualizaciju napretka, smanjenje rizika i rješavanje problema tijekom faze izvođenja. Snimanje gradilišta se obavlja tako da se priključi kamera nakon čega se na aplikaciji dodirne snimanje te se prošetava gradilištem. Kroz 10 min moguće je snimiti 25.000 kvadratnih stopa, a zbog umjetne inteligencije koja pokreće ovaj alat, moguće je pregledati vlastite podatke nakon prosječno 15 minuta i tako dobiti potpunu evidenciju o stanju objekta. Ako postoje neke kritične informacije koje bi cijeli tim trebao znati, dodavanjem OpenSpace Field Notes-a olakšat će se komunikacija i donošenje odluka.

Snimanje gradilišta moguće je kamerom postavljenom na zaštitnu kacigu nakon što se na mobitelu (Apple-u ili Androidu) pokrene aplikacija koja je sinkronizirana s kamerom. Trenutačno se podržavaju kamere Garmin VIRB 360, Insta360 One X, Insta360 One R i Ricoh Theta Z1 u svim načinima snimanja (video, foto), a podržava se i kamera Ricoh 360 za foto

način. Osim snimanja kamerom, od 2021. godine je moguće i snimanje dronom kojim se može preletjeti po gradilištu, a zatim preslikati snimke na visinske planove pomoću integrirane dvostruke kamere od 360°. Konkretno, radi se o trenutno najsuvremenijoj Insta360 Sphere dvostrukoj kameri od 360° koju se može priključiti na DJI Mavic Air 2 i Air 2S dronove. Ukoliko poduzeće nema kameru od 360°, to nije problem s obzirom da OpenSpace može nabaviti kameru za poduzeće. Također, ukoliko poduzeće posjeduje uređaj koji podržava LiDAR moguće je precizno trodimenzionalno skeniranje s točnošću mjerenja od dva inča. Kada se snimanje obavi pomoću laserskog skeniranja, podatci u obliku oblaka točaka se mogu uvesti koristeći OpenSpace BIM+ za pohranjivanje, pregledavanje i dijeljenje s ostatkom tima (OpenSpace, 2024). Za instalaterske radove, korisna je mogućnost priključivanja infracrvene kamere na mobilni uređaj te tako prikupljanje IR podataka kojima se mogu odrediti toplinski uvjeti korisni za određivanje mjesta za postavljanje instalacije.

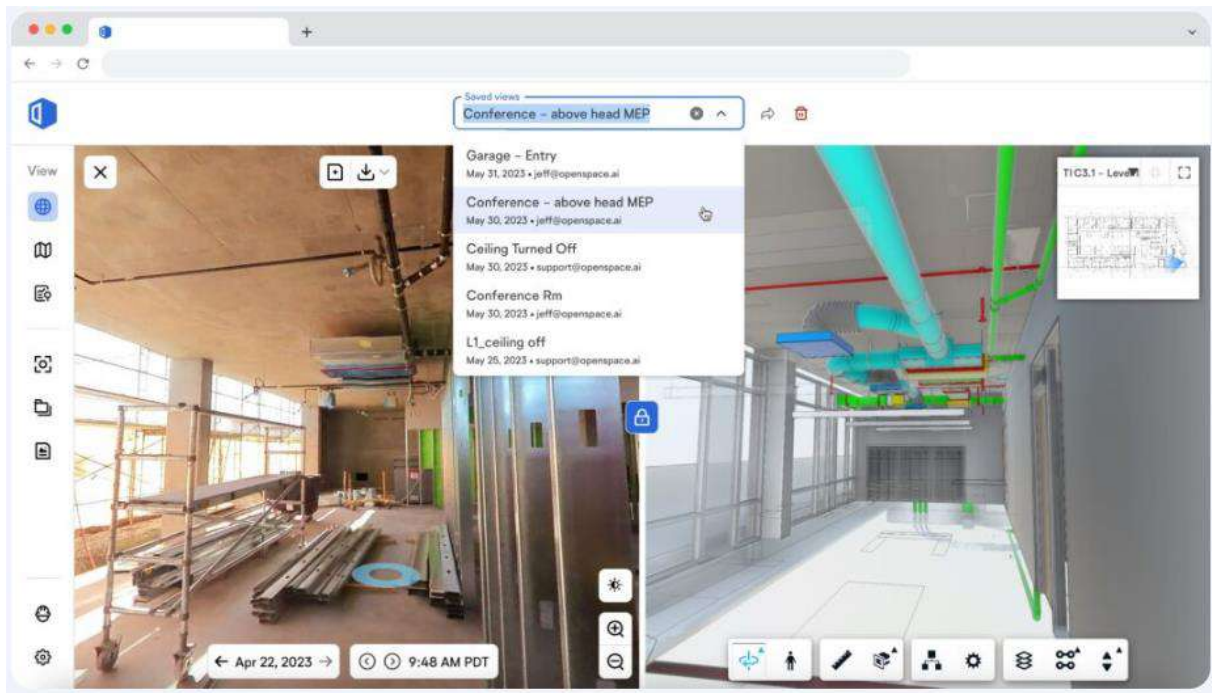
O pouzdanosti ovog alata govori SOC 2 certifikat i održavanje od strane blue-chip investitora tj. najpouzdanijih i najvrjednijih investitora na tržištu. Poduzeća koja su započela s korištenjem ovog alata primijetila su da uštede prosječno tisuće dolara po projektu te više sati rada tjedno.

Cijena pretplate na OpenSpace Capture-a je fleksibilna te ovisi o količini i veličini projekata koje poduzeće ima, ali ne ovisi o broju zaposlenika poduzeća te nudi neograničen broj snimanja.

OpenSpace Capture ima mogućnost integracije s BIM-om. Ukoliko poduzeće radi u BIM-u, ono može svoj model prenijeti u OpenSpace te tako pratiti stvarni napredak u odnosu na model. Generalno, OpenSpace Capture integrira se sa softverima: Revizto, Procore, PlanGrid i Autodesk Construction Cloud (BIM 360 & Build). Moguća je i integracija s BIM 360 Issue Tracker-om tako što se pošalju podaci iz OpenSpace Field Notes-a. Također, moguće je i partnersku karticu dodati na nadzornu ploču projekta te na taj način dobiti pregled OpenSpace projekta i koristiti sve značajke OpenSpace-a unutar BIM 360/ACC (OpenSpace, 2024).

OpenSpace BIM+ je paket 3D alata koji služe za poboljšanje učinkovitosti BIM koordinacije između ureda i gradilišta tako što inženjerima olakšava pregled i kretanje BIM modelom dok su na gradilištu. Osim praktičnosti, ovim alatom se ubrzava i pojednostavnjuje proces ažuriranja modela i snimaka zbog čega je moguće uvijek imati najnovije informacije o modelu (OpenSpace, 2024). Ukoliko netko iz projektnog tima u uredu ima pitanja o određenom elementu, inženjer na gradilištu može unutar nekoliko minuta poslati odgovor s gradilišta u obliku slike ili snimke čime se štedi na vremenu koje bi inače bilo potrošeno na dolazak na gradilište.

Kako bi se pratio napredak radova na gradilištu tj. usporedilo stanje na gradilištu s modelom, slike snimljene na gradilištu se poravnavaju uz model zbog čega se lako vidi trenutno stanje radova i primjećuju nedosljednosti (slika 14). Zbog integracije s Autodesk Platform Services-om, moguće je mjeriti objekt u modelu, izvoditi analizu presjeka te uključiti ili isključiti elemente u pregledniku modela (OpenSpace, 2024). Povezivanjem slika i modela olakšava se komunikacija i razumijevanje projekta.



Slika 14: Usporedba stvarnih uvjeta na lokaciji s BIM modelom (Izvor: (OpenSpace, 2024))

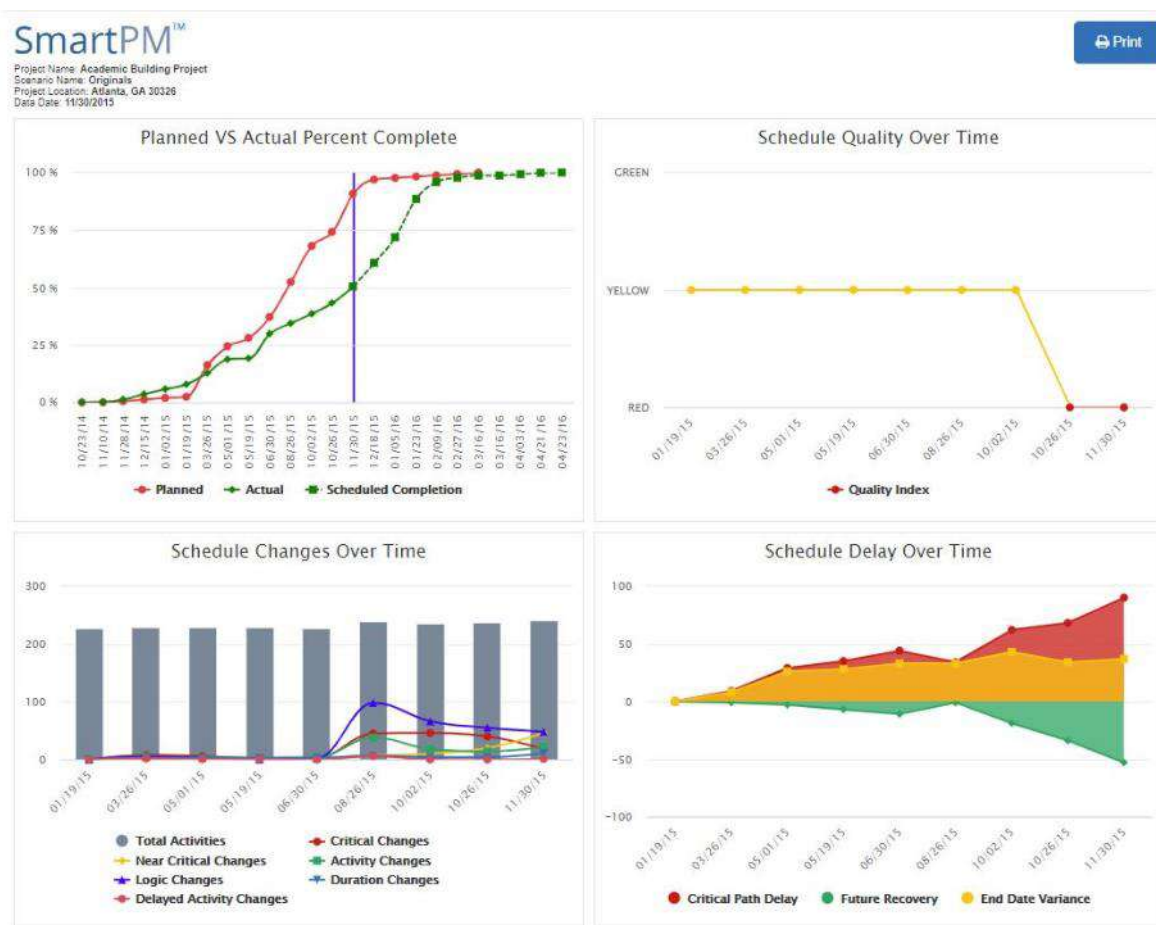
OpenSpace BIM+ napravljen je upravo za integraciju s BIM modelom te se zapravo ni ne može koristiti ukoliko poduzeće nema vlastiti BIM model. S obzirom da OpenSpace nudi integraciju s BIM-om, moguć je import modela izravno iz BIM 360 Docs-a ili Autodesk Construction Cloud Build-a. Nakon integracije, model postaje dostupan svim zaposlenicima poduzeća, uključujući inženjere u uredu i one na gradilištu. Također, postoji mogućnost pridruživanja više modela projektu zbog čega se veći model može podijeliti na više manjih i tako se lakše usredotočiti na dio koji je potrebno posebno analizirati. Osim toga, takvim se radom može uštedjeti vrijeme na skrivanje nepotrebnih dijelova modela, a model će se usput brže učitavati s obzirom da je manjih dimenzija. U ovom proizvodu moguće je i vidjeti tko gleda model te koliko je puta određen model pogledan.

Generalno, OpenSpace BIM+ je dodatni modul OpenSpace Capture-a te se ne može koristiti ukoliko nemate OpenSpace Capture. OpenSpace BIM+ proširuje mogućnosti usporedbe BIM-a te navigacije, analize i upravljanja BIM modela kroz iskorištavanje podataka (kao što su slike i lokacija) iz OpenSpace Capture-a (OpenSpace, 2024).

2.6.3 SmartPM Technologies

SmartPM je platforma napravljena za upravljanje građevinskim projektima uz pomoć korištenja umjetne inteligencije koja poboljšava točnost prilikom planiranja. Ova platforma nudi sustavan pristup analizi izvedbe projekta i kontroli rizika zbog čega je moguće učinkovito upravljanje resursima, implementiranje promjena te predviđanje rizika i kašnjenja (SmartPM Technologies, 2024).

SmartPM alat je koji služi za ojačavanje postojećih rasporeda kroz automatiziranu kontrolu kvalitete vremenskog plana. Kontrola kvalitete obavlja se kroz procjenu redoslijeda aktivnosti, raspodjelu resursa i vremenskog okvira pritom identificirajući svo nerealno planiranje i nedosljednosti koje bi mogle negativno utjecati na projekt. Ovaj alat nudi nekoliko različitih opcija, a to su ažuriranje integriteta, analiza kašnjenja i oporavka, analiza napretka i izvedbe te praćenje prekretnica (SmartPM Technologies, 2024). Kontrolom kvalitete vremenskog plana potvrđuje se da je plan napravljen prema najboljim praksama i da je stoga pouzdan izvor za mjerenje napretka radova na gradilištu, kao i za predviđanje prekretnica i mogućih zastoja/problema. Ukoliko se tijekom trajanja projekta pojavi potreba za dodavanjem, uklanjanjem ili promjenama određenih aktivnosti zbog prethodnih ažuriranja plana, bitno je osigurati da se aktivnosti poslože na način na koji je i dalje moguće izvesti sve radove unutar vremenskog roka. To je olakšano uz trenutnu automatizaciju te uz kvantificiranje opsega zakašnjenja i svega potrebnog za oporavak. Također, SmartPM na samom početku pruža alate koji mogu spriječiti da uopće dođe do takvih kašnjenja. Praćenje napretka radova obavlja se kroz praćenje izvedbe koja se uspoređuje s vremenskim planom i pritom vizualizira. Osim praćenja izvođenja, moguće je i prognoziranje rezultata projekta uz određene uvide pomoću kojih se može predvidjeti vrijeme završetka projekta, ali i moguće prepreke te na taj način učinkovitije upravljati projektom.



Slika 15: Različite mogućnosti SmartPM izvještaja (Izvor: (Software Advice, 2024))

Na slici 15 prikazani su neki od izvještaja koje nudi SmartPM. U gornjem lijevom kutu prikazan je graf usporedbe planiranih i ostvarenih aktivnosti izraženih u postotcima te se može primijetiti kako je tim prikazom olakšan pregled stanja radova za vrijeme trajanja projekta. Na ostalim grafovima prikazana je procijenjena kvaliteta rasporeda tijekom vremena, zatim promjene u rasporedu tj. njegova ažuriranja te odgode u vremenskom planu projekta.

SmartPM-ov Schedule Controls sastoji se od različitih funkcionalnosti koje služe za kontrolu vremenskog plana, ali i za njegovo predviđanje, kako bi se omogućilo dostavljanje projekta u roku. Jedna od glavnih funkcionalnosti je analiza kvalitete koja se može obaviti u nekoliko sekundi i tako provjeriti pouzdanost vremenskog plana. Moguće je i analiziranje kašnjenja kroz otkrivanje aktivnosti koje su to kašnjenje uzrokovale, ali i određivanje aktivnosti koje se i dalje mogu oporaviti tj. izvesti prema prvotnom vremenskom planu. Za olakšano praćenje bitna je vizualizacija, a to je najlakše izvedivo usporedbom planiranih radova naspram stvarno izvedenih. Na taj način uspostavlja se ravnoteža između ranog planiranja i ostvarive produktivnosti što osigurava ispunjavanje projektnih ciljeva. Ovim alatom olakšava se procjenjivanje izvedivosti radova unutar vremenskog roka te se sprječava postavljanje vremenskog roka koji je prekratak i kojim se pretjerano opterećuje radna snaga. Postoji i opcija zvana „dnevnik promjena“ unutar kojeg se označavaju ključne promjene koje bi trebalo analizirati ili raspraviti jer mogu uzrokovati kašnjenja projekta, ali mogu i potaknuti ubrzanje projekta (SmartPM Technologies, 2024).

Prije početka rada u ovom alatu, moguće je zatražiti demo i na taj način, koristeći vlastiti raspored, vidjeti kako SmartPM funkcionira na stvarnim podacima i kako utječe na upravljanje projektom. Za učenje načina na koji ovaj softver radi, SmartPM tim nudi edukacije koje su prilagođene poduzeću i potrebama njegovih projekata. Moguć je dvodnevni intenzivni tečaj uz koji se nauči kako napraviti visokokvalitetni raspored te kako takav raspored ažurirati. Osim toga, moguća je i naknadna obuka kako bi se osiguralo učinkovito implementiranje znanja na sve projekte. Ukoliko tijekom vremena dođe do ažuriranja ove platforme, svi korisnici SmartPM-a dobili bi najnovije funkcije i značajke te tako uvijek imali pristup najnaprednijim značajkama.

SmartPM za svoj rad koristi oblak kojem se može pristupiti s bilo kojeg računala, tableta ili mobitela te za korištenje ovog alata nije potrebna instalacija istog. Također, SmartPM dopušta neograničen broj korisnika i na taj način olakšava komunikaciju i suradnju među zaposlenicima poduzeća koje ga koristi.

Unutar Smart PM-a je moguće imati više različitih vremenskih planova te se prebacivati s plana na plan, ovisno o potrebi. Zahvaljujući toj fleksibilnosti, SmartPM je moguće prilagoditi specifičnim potrebama za više različitih projekata.

Ovaj alat koristan je za detekciju grešaka unutar vremenskog plana, specifično CPM plana (eng. *Critical Path Method - CPM*), plana koji ima označen kritičan put kojeg čine aktivnosti koje nemaju vremensku rezervu. Najčešće greške koje se uočavaju su nedostatak logike, preduga trajanja aktivnosti, nerealne dodjele i odstupanja u vremenskom planu (SmartPM Technologies, 2024). Kada SmartPM identificira takve greške u vremenskom planu, daje detaljno izvješće kako bi se olakšalo razumijevanje i tako obavila izmjena ili prilagodba

rasporeda. Ispravljanjem pogrešaka u vremenskom planu korištenjem SmartPM-a, izbjegavaju se potencijalna kašnjenja projekta, ali i nepotrebni troškovi koji mogu proizaći zbog kašnjenja aktivnosti ili loše raspoređenog vremenskog plana. Greške se identificiraju kroz automatski pregled rasporeda kada se analizira kvaliteta rasporeda te daju prijedlozi za potrebne prilagodbe. Iako je taj proces automatiziran, najbolje bi bilo provjeriti sve predlagane promjene prije prihvatanja istih i ažuriranja rasporeda. Kontrolom vremenskog plana, omogućava se ispravno usklađivanje projektnih aktivnosti čime se povećava vjerojatnost dovršetka radova unutar vremenskog roka. Također, SmartPM sadrži značajku zapisnika promjena u kojoj su pohranjene sve promjene napravljene ažuriranjima te se može vidjeti koje su promjene bile velike ili kritične te kako su one utjecale na nastavak projekta. Osim te značajke, karakteristična je i geografska toplinska karta koja služi za olakšavanje prikaza rizika u projektu.

Integracija SmartPM-a s postojećim alatima je moguća, a obavlja se tako da se integrira SmartPM-ov Analytics Engine s nekim od alata koje poduzeće koristi te se na taj način pojednostavi tijek rada uz API (eng. *Application Programming Interface* tj. aplikacijsko programsko sučelje) bez potrebe za mijenjanjem alata za vremensko planiranje (SmartPM Technologies, 2024). SmartPM omogućava integraciju s klasičnim alatima za vremensko planiranje poput MS Projecta i Oracle Primavera P6, ali od studenog 2023. nudi i integraciju s Autodesk-ovim Construction Cloudom. Ova integracija osmišljena je kako bi pomogla dionicima projekta da brzo procijene čimbenike koji su kritični i tako dobiju više vremena za fokusiranje na upravljanje projektom i smanjenje rizika. Iz toga razloga, odsad je moguće SmartPM-ovo upravljanje projektima i analitiku performansi izravno ugraditi u nadzorne ploče Autodesk-ovog Build Insights-a ili BIM 360 Project Home-a (AEC Magazine, 2023).

O kvaliteti ovog softvera govori i njegova ocjena na stranici Software Advice koja iznosi 4.9, ali i brojni pozitivni komentari na ovaj alat, lakoću korištenja, funkcionalnost, vrijednost s obzirom na uloženi novac te SmartPM tim i njihovu podršku.

2.6.4 Doxel

Doxel je AI alat osmišljen za upravljanje građevinskim projektima i njihovu optimizaciju kroz automatizirano praćenje napretka izgradnje. Ova platforma sadrži moćnu analitiku i jednostavne alate kojima se omogućava praćenje i pridržavanje rasporeda, provjera instaliranih količina i elemenata, smanjenje rizika te dokumentiranje gradilišta, zbog čega tvrde da ovaj alat nudi najdetaljnije praćenje napretka izgradnje.

Praćenje napretka izgradnje automatizirano je koristeći računalni vid tj. uzimanjem videa gradilišta od 360° i brojanjem svakog elementa i linearnog kvadratnog metra ugrađenog materijala koji se potom uspoređuje s BIM-om (Doxel, n.d.). Na taj način dobivaju se objektivni podaci o napretku na gradilištu sa točnim postotkom dovršenosti pojedinih radova što povećava povjerenje klijenata.

Doxel se smatra jedinim cjelovitim rješenjem za praćenje u fazi izgradnje jer se unutar jednog alata nalaze sve potrebne funkcije za praćenje napretka. Doxel može pratiti sve vidljive radove

i pritom bilježiti čak i najmanje detalje koji bi potencijalno mogli uzrokovati zastoje, a time i kašnjenje projekta. Korištenjem ovog AI alata, voditelji projekta su lakše, ali i objektivnije, informirani o stanju radova, a inženjeri koji na gradilištu prate napredak mogu potrošiti čak 95% manje vremena od onog koje bi inače potrošili. Osim praćenja stanja na gradilištu, koristeći Doxel moguće je i smanjiti rizike te time automatski povećati pouzdanost i predvidljivost građevinskih projekata. Moguće je i rješavanje i ublažavanje problema kašnjenja radova na gradilištu što je vidljivo iz podatka da voditelji projekta koji koriste Doxel imaju mogućnost ubrzanja radova za prosječno 11% i smanjenja troškova za 10% po mjesečnom novčanom toku (Doxel, n.d.).

Doxel je jedini alat koji funkcionira tako da prati sve vidljive radove i analizira stranicu uz najopsežnije prepoznavanje slika u građevinskoj industriji (Doxel, n.d.). Ukoliko se poduzeće odluči za Doxel, dovoljno je da svoj BIM model pošalju Doxel timu koji odradi posao vezan uz VDC (eng. *Virtual Design and Construction*) te se za manje od dva tjedna može započeti s korištenjem ovog alata. Za praćenje napretka radova na gradilištu, dovoljno je da član tima prođe gradilištem onako kako bi to i inače napravio, s tim da bi nosio 360 kameru postavljenu na kacigi koja bi snimila sve potrebno (slika 16). Doxel AI potom analizira video prateći sve obavljene radove na gradilištu i uspoređujući ih s BIM modelom i vremenskim planom.



Slika 16: Kamere od 360 stupnjeva za praćenje napretka radova (Izvor: (Fleisher, 2023))

Doxel omogućava jednostavno, precizno i automatizirano praćenje napretka koje je moguće na licu mjesta. Korištenjem ovog alata, zbog objektivnosti, znatno je povećana točnost. Također, moguće je uštedjeti vrijeme na praćenju i usklađivanju napretka za čak 95% jer nudi uvide u stanja radova bez potrebe za gledanjem stotine fotografija gradilišta. Moguće je i vizualno koordinirati tim jer se za svaku komponentu može dodijeliti određena boja. U prikazu stanja na gradilištu može se vidjeti datum kada je snimka napravljena, etaža, dovršenost radova

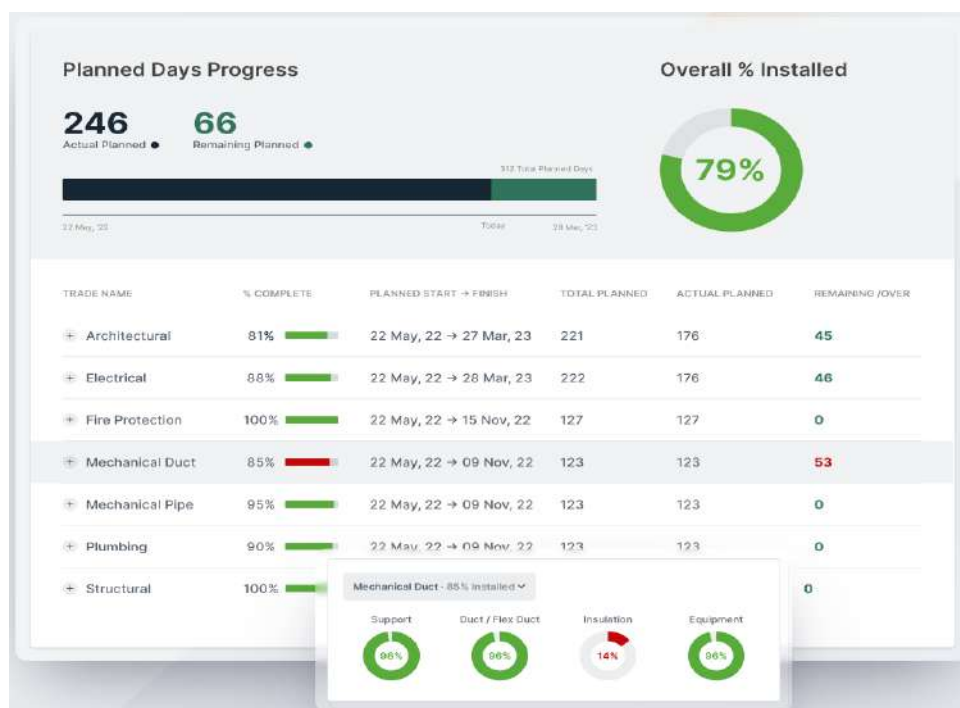
u postotku (ovisno o vrsti rada) te graf produktivnosti u posljednjih 6 tjedana koji prikazuje linije za planirane radove te za stvarno obavljene radove.

Kako bi se snimilo stanje na gradilištu dovoljno je proći gradilištem isto kako bi se prošlo i bez kamere zbog čega ovo snimanje ne zahtjeva dodatne napore ili dodatno vrijeme. Snimanje tj. šetnju gradilištem može obaviti neki od inženjera na gradilištu pokretanjem Doxel aplikacije na mobitelu, ali moguće je i da Doxel osigura svog člana za snimanje gradilišta.

Osim kamere pričvršćene za kacigu inženjera na gradilištu, snimke je moguće napraviti i pomoću dronova ili lidara. Doxel trenutno podržava dva modela kamere (Insta360 ONE X2 ili Insta360 ONE RS), a snimke dronom za praćenje vanjske konstrukcije uključuju formate .MP4 i .MOV za video te JPEG za slike (Doxel, n.d.). Sve što je snimljeno je moguće vidjeti s bilo koje lokacije i tako jednostavno ostati informirani o stanju projekta.

Navedeno je moguće zahvaljujući AI-u i strojnom učenju pomoću kojih je ovaj softver uvježban da prepoznaje elemente sa slika i vremenom postaje sve bolji u tome. Kada Doxel uzme video datoteku od 360°, softver analizira slike, identificira i broji svaki vidljivi element iz različitih vrsta radova (podjela je na arhitektonske, konstrukcijske, zaštitu od požara itd.). Nakon navedenog, vizualno se ističu identificirane faze dovršenosti za sve vrste radova u 3D modelu projekta te tim za kvalitetu provjerava rezultate softvera što dodatno pomaže u obuci softvera i njegovom poboljšanju tijekom vremena (Doxel, n.d.).

U pogledu vremenskog planiranja bitna je opcija usporedbe planiranih radova sa stvarnim stanjem radova na gradilištu. Za razumijevanje napretka i ključnih datuma koji predstavljaju prekretnice u projektu bitna je integracija s alatima za vremensko planiranje o kojoj će se uskoro reći nešto više.



Slika 17: Izvršni izvještaj napretka radova na gradilištu (Izvor: (Doxel, 2024))

Nakon integracije vremenskog plana u Doxel, moguće je vidjeti postotke dovršenosti i te iste usporediti s vremenskim planom kako bi se vidjelo postoje li kakva kašnjenja tj. jesu li neke od aktivnosti koje kasne prijetnja za dovršavanje projekta u roku. Kako bi se svim sudionicima projekta olakšalo razumijevanje stanja radova u fazi izvođenja, postoje automatizirani izvršni izvještaji na kojima se na razumljiv način prikazuje napredak radova na gradilištu, a primjer takvog izvještaja vidljiv je na slici 17.

Osim za uštedu vremena, ovaj alat može biti koristan i za uštedu novca jer daje mogućnost plaćanja rada na temelju učinka tj. objektivnog napretka za razliku od plaćanja za vrijeme koje je procijenjeno kao potrebno za obaviti određeni rad. Velika prednost ovog alata je što može odrediti koji su radovi u nekom trenutku kritični, a time i najprioritetniji za obavljanje. Zanimljiva funkcija koju Doxel posjeduje je mogućnost gledanja što se nalazi iza zidova ili stropova što je posebno korisno kada se radi o rekonstrukciji ili obnovi te kada se ne zna sa sigurnošću koji se sve slojevi mogu nalaziti unutar elemenata. Ukoliko tijekom korištenja Doxel alata dođe do određenih poteškoća, ovo poduzeće je smješteno u SAD-u te ima svoje ljude koji mogu pomoći u rješavanju problema.

Iz perspektive investitora, Doxel je idealan alat jer omogućava potpunu vidljivost što je posebno korisno prilikom praćenja napretka te prilikom plaćanja jer investitor može vidjeti stvarne instalirane količine, a ne samo procjenu istih. Za inženjere na gradilištu, ovaj alat najveću razliku radi u koordinacijskim sastancima koji su produktivniji jer se objektivno i brzo prati napredak radova.

U Doxel je moguće integrirati vremenski plan nastao u MS Projectu ili Primavera P6, alatima napravljenima specifično za stvaranje vremenskih planova. BIM alati koji se mogu integrirati s Doxel-om su Autodesk-ovi Forge i Navisworks od kojih Navisworks nudi mogućnost izrade 4D modela koji se potom ubacuje u Doxel za praćenje napretka s obzirom na BIM model. Autodesk Forge služi za uspoređivanje fotografija od 360° s BIM modelom. Još neki od alata koji se mogu integrirati su Insta360, Dron i Navvis (koji služe za snimanje stanja na gradilištu), zatim Revizto, Procore i BIM Track (za praćenje problema) te Onedrive, MS Sharepoint, Box, Google Drive i Dropbox (koji služe za dijeljenje datoteka) (Doxel, 2024).

Generalno, tijekom trajanja projekta česte su promjene vremenskog plana, ali i BIM modela. Imajući to na umu, Doxel je napravljen tako da se prilikom ažuriranja vremenskog plana ili modela, promjene automatski ažuriraju i u Doxel-u zbog čega su u njemu uvijek automatski najnoviji podatci o projektu.

Cijena Doxel-a nije definirana na njihovoj stranici zato što ona ovisi potrebama poduzeća tj. o veličini gradilišta/projekta. Generalno, što je veći projekt, veća je i cijena ovog alata jer Doxel naplaćuje po kvadratnom metru. Ali, na većim projektima veća je i vrijednost imanja ovakvog alata jer može znatno uštedjeti troškove pritom povećavajući produktivnost i učinkovitost. Također, cijena ovog alata ne ovisi o veličini poduzeća te je moguće dodatni onoliko korisnika koliko poduzeće poželi (Doxel, n.d.).

Konačno, nekoliko podataka koji govore o prednostima korištenja ovog alata u građevinskoj industriji:

- 95% manje vremena je potrebno za praćenje napretka uz automatizaciju AI-a
- 100% smanjen problem naplate radova s vizualnim podacima kao sigurnosnom kopijom
- 21% prosječnih prekoračenja u građevinskoj industriji je eliminirano objektivnim podacima
- 11% brža isporuka projekta zbog povećanja produktivnosti rada (Doxel, n.d.).

Poduzeće Doxel smješteno je u Menlo Parku, gradu u Kaliforniji te je ovaj alat najkorišteniji na gradilištima u SAD-u.

3 IDENTIFIKACIJA IZAZOVA I OGRANIČENJA INTEGRACIJE AI-A I BIM-A U GRADITELJSTVU

Razvoj tehnologija poput umjetne inteligencije (AI) i modeliranja informacijama o građevinama (BIM) donosi brojne potencijale za optimizaciju procesa u građevinskoj industriji. AI omogućuje analizu velikih količina podataka, prediktivne analize, automatizaciju procesa i pametne sustave donošenja odluka, dok BIM pruža sveobuhvatni digitalni prikaz građevinskih projekata tijekom cijelog životnog ciklusa. Kombinacija ove dvije tehnologije obećava ubrzanje procesa, smanjenje troškova te povećanje preciznosti i efikasnosti.

Međutim, unatoč očitim prednostima, integracija AI-a i BIM-a suočava se s brojnim izazovima i ograničenjima. Ova poglavlja istražuju ključne prepreke koje ometaju širu primjenu ovih tehnologija u građevinarstvu, uključujući tehničke, organizacijske, ekonomske i regulatorne aspekte. Identificiranje tih izazova ključno je za razvoj strategija koje će omogućiti uspješnu implementaciju i iskorištavanje potencijala AI-a i BIM-a u industriji.

3.1 Izazovi integracije umjetne inteligencije i BIM-a

Iako integracija umjetne inteligencije i BIM-a sa sobom nosi niz prednosti, postoje određeni izazovi s kojima se treba suočiti. Bitno je prepoznati i istaknuti izazove jer se njihovim razumijevanjem olakšava rješavanje takvih prepreka što omogućuje implementaciju alata u njihovom punom potencijalu.

Generalno, građevinsku industriju karakterizira spora digitalizacija te pretjerana ovisnost o tradicionalnim manualnim načinima rada. Zbog toga su izazovi ove industrije najčešće povezani s niskom razinom usvajanja tehnologije i neodgovarajućom tehnološkom stručnošću koje dovode do kašnjenja projekta, prekoračenja troškova, niske produktivnosti i neinformiranog donošenja odluka (Datta, et al., 2024).

S obzirom da je umjetna inteligencija i njezina primjena u građevinskoj industriji većini poduzeća i dalje relativno nov pojam, moguće je susretanje s određenim izazovima vezanim uz primjenu AI-a za vremensko planiranje kao što je nedostatak pristupa podacima koji su provjereni ili slabo razumijevanje tehnologije i potencijala koje nudi.

S druge strane, broj poduzeća i dionika građevinske industrije koji koriste BIM povećava se iz godine u godinu. Unatoč tome, njegovo prihvaćanje i korištenje je i dalje niže od očekivanog, a razlog tomu su određeni izazovi s kojima se susreću dionici građevinske industrije pri implementaciji BIM alata. Najčešći izazovi ove implementacije su nedostatak stručnosti potrebne za korištenje BIM alata, zbog čega treba ulagati u edukacije, te nedostatak standardizacije u građevinskoj industriji.

3.1.1 Interoperabilnost i integracija podataka

Glavni i najčešći izazovi pri integraciji AI-a i BIM-a su vezani uz interoperabilnost i integraciju podataka jer se često događa da AI i BIM alati koriste različite strukture podataka što otežava ili čak onemogućava razmjenu podataka i sinkronizaciju.

BIM generira opsežne podatke vezane uz atribute objekta, prostorne odnose i količine te geografske informacije. S druge strane, sustavi umjetne inteligencije oslanjaju se na strukturirane podatke potrebne za donošenje odluka. Iz tog razloga, zbog razlika u formatima podataka, standardima i semantici često dolazi do poteškoća prilikom integracije BIM-a i umjetne inteligencije.

3.1.2 Slabo prihvaćanje korisnika i potreba za obukom

Dionike građevinske industrije generalno karakterizira otpornost prema promjenama i novim načinima rada. Ovo predstavlja velik izazov za uspješnu implementaciju umjetne inteligencije i BIM-a u građevinske projekte jer je za nju potrebno postići prihvaćanje od strane dionika građevinske industrije koji uključuju projektante, inženjere na gradilištima, voditelje projekta, arhitekta i druge. Zbog toga je i posebno važno utjecati na njihov nedostatak svijesti. Primarni cilj je educiranje i postizanje prihvaćanja profesionalaca ove industrije zbog njihovog značajnog utjecaja na ostale dionike te prihvaćanja i razumijevanja investitora s obzirom da on može zahtijevati da se za projekt koriste BIM i AI alati. Kako bi se to postiglo bitno je informirati i educirati profesionalce i investitore o svim benefitima ovih alata i na taj način ih potaknuti na njihovo korištenje. Nažalost, proces prihvaćanja umjetne inteligencije i BIM-a je poprilično spor što predstavlja kočnicu za ulaganje u daljnji razvoj ovih alata.

Početak korištenja ovih alata za planiranje građevinskih projekata otežava i činjenica da je za njihovo učinkovito korištenje potrebno razumjeti algoritme umjetne inteligencije zbog čega je potrebno organizirati edukacije zaposlenicima što predstavlja dodatno ulaganje vremena i novca. Neophodnost edukacija, zajedno s nedostatkom edukacijskih programa, predstavlja velik izazov za implementaciju novih alata i tehnologija.

3.1.3 Troškovi ulaganja

Još jedna prepreka zbog koje velik broj poduzeća odustaje od primjene umjetne inteligencije i BIM-a je cijena. Za integraciju umjetne inteligencije i BIM-a u građevinske projekte potrebno je uložiti značajne količine novca kako bi se kupile softverske licence i odgovarajuće računalne komponente (grafičke kartice, RAM memorija...), ali i osigurala edukacija zaposlenicima pomoću koje bi naučili koristiti sve značajke ovih alata. Zbog potrebe za velikim ulaganjima na samom početku, građevinska poduzeća moraju dobro istražiti sve prednosti tj. koristi od BIM i AI alata te potom odvagati vjerojatnost za povratom ulaganja (eng. *Return of investment - ROI*) tj. isplativost ulaganja u navedene alate. Takvo proučavanje i proračunavanje isplativosti ulaganja u integrirane AI i BIM alate, građevinskim poduzećima oduzima mnogo vremena zbog

čega to predstavlja velik izazov za implementaciju umjetne inteligencije i BIM-a u građevinarstvu.

Također, otprilike 90% građevinskih poduzeća spada pod mala ili mikro poduzeća zbog čega najčešće nemaju dovoljan kapital za ulaganje u AI i BIM alate čija je cijena visoka. Proučavanjem AI alata koji su trenutno na tržištu te služe za olakšavanje vremenskog planiranja, moglo se primijetiti da većina poduzeća nudi svoje alate za neograničen broj korisnika. Dakle, poduzeće koje se odluči za kupnju nekog AI alata, dobiva mogućnost da svi njegovi članovi mogu koristiti taj alat. Zbog toga je jasno da će se AI alati više isplatiti velikim poduzećima, kojih je u Hrvatskoj tek nekolicina.

3.1.4 Složenost građevinskih projekata

Građevinski projekti sastoje se od velikog broja različitih komponenata poput različitih materijala ili tehnologija gradnje koji, zbog svoje složenosti i dinamičnosti, predstavljaju popriličan izazov integraciji umjetne inteligencije s BIM-om za upravljanje građevinskim projektima. Kako bi algoritmi umjetne inteligencije mogli rukovati projektnim podacima, oni moraju moći razumjeti i analizirati različite strukture podataka s obzirom da formati podataka nisu standardizirani te se razlikuju od projekta do projekta ili od poduzeća do poduzeća. Osim što bi algoritmi umjetne inteligencije trebali razumjeti projektne podatke, oni bi zbog strojnog učenja trebali moći donositi odluke u kratkom vremenskom roku i tako optimizirati vremenske planove ili druge aspekte projekta poput optimizacije troškova, kvalitete ili sigurnosti. Zbog svega navedenog, kao i zbog činjenice da se građevinski projekti i njihovi modeli konstantno mijenjaju i unapređuju, algoritmi umjetne inteligencije trebaju biti unapređeni kako bi ostali u toku te kako bi se uspjeli prilagoditi novonastalim projektima pritom zadržavajući svoju točnost.

3.1.5 Potreba velikog broja projektnih podataka za strojno učenje

Kroz rad je u nekoliko navrata spomenuta potreba velike količine projektnih podataka za uspješnu implementaciju umjetne inteligencije. Upravo to predstavlja jedan od glavnih izazova s obzirom da većina građevinskih poduzeća ne može pružiti dovoljan broj podataka da bi algoritmi strojnog učenja mogli dati točna i precizna predviđanja i analizu podataka.

Jedan od glavnih izazova primjeni umjetne inteligencije u građevinskoj industriji je nedostatak standardiziranih podataka u ovoj industriji. Jedinstvenost građevinskih projekata rezultira projektnim podacima za koje postoji mogućnost da neće biti lako dostupni u formatima koji mogu koristiti AI algoritmi (Obinnaya Chikezie Victor, 2023). Također, kako bi se omogućilo donošenje prijedloga ili odluka o vremenskom planu, AI koristi strojno učenje za koje je potrebna velika količina podataka o projektu i prijašnjim projektima. S obzirom da građevinsku

industriju karakterizira nedostatak takvih podataka, ovo predstavlja popriličnu prepreku u implementaciji ovih tehnologija.

3.1.6 Sigurnost podataka

Građevinski projekti sadržavaju velik broj podataka u kojima se nalaze vrijedne i povjerljive informacije vezane uz proračun, dizajn, vremenski plan ili sigurnosni protokol. Integracijom BIM-a i umjetne inteligencije uvode se rizici kibernetičke sigurnosti s obzirom da se projektni podaci, koji su osjetljivi, u njima digitalno pohranjuju i obrađuju. Građevinski projekti, zbog vrijednih informacija koje sadrže, mogu biti meta kibernetičkih napada, a algoritmi umjetne inteligencije koji analiziraju BIM podatke mogu biti ranjivi na hakiranje, povredu podataka i neovlašteni pristup. Zbog svega navedenog, postoji određen strah pri implementaciji ovih alata koji znatno usporava proces prihvaćanja BIM-a i AI-a u građevinskoj industriji. Dakle, rješavanje ovog problema kroz uvođenje snažnih mjera kibernetičke sigurnosti kojima bi se zaštitili BIM i AI sustavi od zlonamjernih aktivnosti predstavlja jedan od glavnih izazova za implementaciju BIM-a i umjetne inteligencije (Rane, 2023).

3.2 Prijedlozi za rješavanje prepreka i unapređenje tehnoloških rješenja

U ovom dijelu rada istaknut će se neke od ideja i prijedloga koje bi mogle poboljšati implementaciju i integraciju BIM-a i AI-a. U nastavku poglavlja dani su prijedlozi razvoja iz regulatornog, organizacijskog, tehničkog i ekonomskog aspekta kako bi se omogućilo iskorištavanje punog potencijala umjetne inteligencije i BIM-a u građevinskoj industriji.

3.2.1 Uspostava standardiziranih formata podataka

S obzirom da je jedan od najvećih izazova integraciji umjetne inteligencije i BIM-a upravo interoperabilnost i integracija podataka, ovaj problem bi trebao biti jedan od glavnih fokusa u daljnjim istraživanjima. Ključna aktivnost za rješavanje ovog problema bila bi razvijanje standardiziranog pristupa za prikazivanje podataka i njihovo dijeljenje. Na ovaj način omogućila bi se učinkovita komunikacija između tehnologija BIM-a i umjetne inteligencije kojima bi se potaknula suradnja i kohezija unutar građevinskih projekata.

Uspostavom standardiziranih formata podataka ne bi se samo olakšala razmjena između BIM i AI sustava, već i između IoT sustava. Prijedlog standarda kojeg bi se mogli i trebali pridržavati svi BIM alati je IFC format (eng. *Industry Foundation Classes*). Ukoliko IoT alati koriste standardizirane komunikacijske protokole poput MQTT (eng. *Message Queuing Telemetry Transport*) ili CoAP (eng. *Constrained Application Protocol*), moguća je interoperabilnost i kompatibilnost između BIM, AI i IoT sustava (Rane, et al., 2023).

Kako bi se različitim softverskim aplikacijama omogućilo učinkovito komuniciranje i dijeljenje projektnih podataka, ključno je uključivanje otvorenih API-ja tj. sučelja za programiranje aplikacija (eng. *Application Programming Interfaces - API*). Uključivanjem otvorenih API-ja, platforme poput BIM-a imaju mogućnost neprimjetnog komuniciranja s AI algoritmima i IoT sensorima na taj način potičući razvoj prilagođenih rješenja i aplikacija za ispunjavanje specifičnih potreba projekta (Rane, et al., 2023).

Također je bitno da su sve platforme temeljene na oblaku (eng. „*cloud-based platforms*“) kako bi se olakšala analiza i pohrana velikih skupova podataka karakterističnih za BIM alate, ali i zadovoljili računalni zahtjevi alata umjetne inteligencije s obzirom da AI algoritmi zahtijevaju veliku procesorsku snagu.

3.2.2 Uređenje međunarodnih standarda za upravljanje informacijama

Kako bi se postigao sklad tj. standardizacija formata podataka bitno je urediti i ažurirati trenutne međunarodne standarde. U ovom dijelu ćemo se konkretno fokusirati na međunarodne standarde za upravljanje informacijama tijekom cijelog životnog ciklusa izgrađene imovine pomoću BIM-a (ISO 19650) i za standardizaciju formata podataka za razmjenu (ISO 16739).

ISO 19650 daje opis oblika isporučivih informacija o projektu te razmatra tri područja upravljanja informacijama: specifikaciju informacijskih zahtjeva od strane vlasnika imovine ili operatera, planiranje isporučenih informacija od strane BIM koordinatora i isporuku informacije od strane poduzeća za planiranje i izgradnju. Međutim, postoje neka pitanja vezana uz upravljanje informacijama s BIM-om koja ISO standardi ne pokrivaju u potpunosti. Tako na primjer ova norma ne definira kako se BIM alati mogu integrirati u temeljne tradicionalne procese građevinske industrije. Također, nije definiran proces razmjene informacija između svih sudionika niti način na koji se informacije mogu razmjenjivati i dijeliti u BIM procesu. Standardi za zajedničko podatkovno okruženje i rad temeljen na oblaku također još nisu utvrđeni za trenutne BIM aplikacije (Nast, 2021). Ovaj standard, dakle, ne predlaže poseban pristup za učinkovitu implementaciju BIM-a u projektantske ili izvođačke građevinske firme, a to je nešto na čemu bi se trebalo poraditi kako bi se olakšao proces implementacije.

3.2.3 Smanjenje količine potrebnih podataka

Velik broj građevinskih poduzeća ne posjeduje sve potrebne podatke o vlastitim projektima ili ti podaci nisu uredno pohranjeni. S obzirom da je za strojno učenje potreban velik broj podataka o projektu, ovo može predstavljati popriličan problem. Taj problem može se riješiti uvođenjem protokola za upravljanje i pohranu podataka, ali i kroz inovacije umjetne inteligencije kojima bi se u budućnosti mogao postići rad alata za čije će točne predikcije biti potreban manji broj informacija.

Istraživanje Fraunhofer Society-ja radi na rješavanju ovog problema kroz istraživanja strojnog učenja uz manji broj podataka (Nast, 2021). Ovo istraživanje može imati značajan utjecaj na budućnost implementacije umjetne inteligencije.

3.2.4 Stvaranje sigurnog digitalnog okruženja

Pri implementaciji umjetne inteligencije i BIM-a jedan od glavnih problema je strah od uništenja privatnosti i sigurnosti podataka, koji može dovesti do zlouporabe projektnih informacija, što dionicima u građevinskoj industriji predstavlja veliku kočnicu za korištenje ovakvih alata. Kako bi se riješio ovaj problem, građevinska poduzeća trebala bi ulagati u sigurnosni sustav kako bi sve digitalno pohranjene informacije bile zaštićene. Osim ulaganja od strane građevinskih poduzeća, bitno je i da se ulaže u kibernetičku sigurnost BIM i AI alata kako bi se povećala njihova zaštita zbog čega bi predstavljali mnogo sigurnije mjesto za digitalnu pohranu podataka. Ulaganjem u sigurnost, smanjio bi se strah od implementacije ovih alata zbog čega bi se automatski povećao broj korisnika.

Također, trebalo bi se pozabaviti pravnim pitanjem vezanim za odgovornost u slučaju pogrešaka i krivih odluka nastalih na temelju umjetne inteligencije. Kako bi se ublažila zabrinutost i nepovjerenje pri integraciji umjetne inteligencije i BIM-a u građevinske projekte, bitno je odrediti jasne propise i standarde kojima bi se regulirali etički i pravni aspekti (Rane, 2023).

3.2.5 Edukacija dionika građevinske industrije

Jedan od načina kojim bi se ubrzao proces implementacije AI i BIM tehnologija je zahtijevanje stručnije radne snage u građevinskoj industriji, konkretno u digitalnim tehnologijama. To se može omogućiti kroz provođenje sveobuhvatnih programa obuke, ali i kroz bolju edukaciju studenata za vrijeme njihova obrazovanja, zbog koje bi svakom novom generacijom bilo sve više dionika u građevinarstvu koji su informatički pismeniji i upoznati s radom određenih BIM i AI alata.

Kako bi se ostvario pun potencijal AI i BIM alata, predlaže se sveobuhvatan okvir za obuku kojim bi se proširilo usvajanje i implementacija BIM alata integriranih s umjetnom inteligencijom. Na ovaj način, moguće je stvaranje radne snage koja je stručna u upravljanju i korištenju BIM i AI alata zbog čega može iskoristiti sve mogućnosti koje ovaj alat nudi za upravljanje projektom.

3.2.6 Jasno prikazivanje isplativosti ulaganja u BIM i AI alate

Opće je poznato da je pri implementaciji alata umjetne inteligencije i BIM-a potrebno izdvojiti veće količine novca kako bi se započelo sa njihovim korištenjem. Zbog većeg ulaganja, građevinska poduzeća trebaju odvojiti vrijeme kako bi proučile koristi alata i vjerojatnost povrata ulaganja što predstavlja izazov na kojem bi se trebalo poraditi u budućnosti. Prijedlog

za smanjenje troškova bio bi uključivanje obuke u cijenu licence kako bi poduzeća odmah mogla započeti s radom koristeći sve benefite ovih alata. Također, od velike bi pomoći za ubrzanje implementacije imalo jasno predstavljanje svih prednosti koje ovi alati nude poput smanjenja vremena i troškova izgradnje, zajedno s poboljšanjem kvalitete i sigurnosti. Na taj način poduzeća bi imala opravdanje za početnu investiciju te bi manje vremena potrošila na izračun isplativosti ulaganja zbog čega bi se ubrzao proces implementacije umjetne inteligencije i BIM-a.

3.2.7 Više istraživanja praktične primjene

Razna istraživanja pokazala su da se integracijom alata umjetne inteligencije i BIM-a omogućuje obrada podataka zbog koje se može analizirati projektiranje i planiranje projekta, predviđati opasnosti, ali i pratiti oprema (npr. zaštitni prsluci). Međutim, iako mnogi stručnjaci zagovaraju korištenje sustava temeljenih na umjetnoj inteligenciji, zapravo ne postoji mnogo studija koje prikazuju praktičnu primjenu ovih metoda u građevinskoj industriji (Nast, 2021). Postoje studije koje su opisivale neke od najčešće korištenih metoda umjetne inteligencije u građevini, ali velika većina tih studija je teoretska, a ne praktična.

Nadovezujući se na ovaj problem, zadnjih godina je popularno istraživanje robotike i njezine prednosti u automatizaciji procesa gradnje, no ta istraživanja su napravljena u laboratorijima. Laboratorijska okruženja mogu se znatno razlikovati od prakse i uvjeta na stvarnim gradilištima zbog čega je potrebno napraviti istraživanja i na stvarnim gradilištima.

Zbog svega navedenog, može se doći do zaključka da je praktična integracija ovih alata u neko od građevinskih poduzeća još uvijek nedovoljno istražena. Zajedno s tim, nejasno je definiran i utjecaj korištenja ovakvih sustava na stvaran građevinski projekt (Nast, 2021). Iz tog razloga, trebao bi se detaljnije proučiti utjecaj ovih alata na građevinsku industriju kroz proučavanje praktične primjene. Prijedlog za buduća istraživanja je fokusiranje na proučavanje praktične primjene integriranih AI i BIM alata. Navedeno je moguće kroz ubacivanje različitih studija slučaja u kojima će se opisati primjena određenih alata na vremensko planiranje stvarnih projekata, nakon čega se mogu opisati utjecaji te primjene na projekt (npr. utjecaj na smanjenje trajanja i troškova, na povećanje sigurnosti gradilišta).

3.2.8 Prihvaćanje novih tehnologija i nastavak istraživanja

Kako bi se došlo do napretka u mogućnostima BIM i AI tehnologija, bilo bi korisno prihvatiti neke od novijih tehnologija poput Interneta stvari (eng. *Internet of Things - IoT*) te proširene stvarnosti (eng. *Augmented Reality - AR*) (Rane, 2023).

Zbog činjenice da građevinski projekti, a time i njihovi modeli, stalno napreduju i mijenjaju se, alati umjetne inteligencije i BIM-a se trebaju unapređivati kako bi ostali u toku te kako bi se uspjeli prilagoditi novonastalim projektima pritom zadržavajući svoju učinkovitost.

Zaključno, kako bi se nastavio razvoj umjetne inteligencije i BIM-a, jako je bitno nastaviti sa zajedničkim istraživanjima. Na taj način moguće je ostvariti napredak algoritama umjetne inteligencije, ali i BIM softvera, kojima će se doći do sofisticiranih prediktivnih modela i sustava za podršku odlučivanju koji će biti prilagođeni potrebama izgradnje (Rane, 2023). Čitavo vrijeme potrebno je poticati suradnju između dionika građevinske industrije jer je ono ključno za ubrzanje usvajanja ovih tehnologija na što više građevinskih poduzeća i projekata. Sve navedeno je ključno za postizanje inovativnosti, ali i poboljšanje održivosti gradnje i efikasnosti ove industrije.

3.3 Predviđeni budući smjerovi i razvoj u području AI-a, BIM-a i graditeljstva

Integracija umjetne inteligencije i BIM-a prepoznata je od strane mnogih stručnjaka kao pokretač inovacija u građevinskoj industriji. Zahvaljujući nedavnim tehnološkim poboljšanjima, upravljanje bazama podataka značajno se promijenilo čime se omogućio daljnji razvoj sustava temeljenih na umjetnoj inteligenciji. Posljednjih 20 godina, obujam istraživanja u području umjetne inteligencije značajno je narastao te mnoge države ulažu u istraživanja umjetne inteligencije s obzirom da ona može utjecati čak i na nacionalnu konkurentnost. Tako je Kina, sa svojim planom razvoja umjetne inteligencije, postavila cilj da postane svjetski vođa u teoriji, tehnologiji i primjeni umjetne inteligencije. U Europi i SAD-u umjetna inteligencija je također postala jedna od glavnih tema istraživanja i inovacija (Nast, 2021).

Iako korištenje AI i BIM metoda za vremensko planiranje i generalno upravljanje građevinskim projektima pridonosi konkurentskoj prednosti nekog poduzeća, istraživanja instituta Fraunhofer IAO su pokazala da samo 22% dionika građevinske industrije uvijek ili često koristi BIM (i to za izradu 3D modela građenja). Čak 41% dionika nikada nije koristilo BIM, a 5D BIM model, koji uključuje vrijeme i troškove kao dodatne dimenzije planiranja, koristi jako mali postotak građevinskih tvrtki. Također, analizirajući implementaciju posebno za projektantska i izvođačka poduzeća, primijetilo se da više izvođačkih poduzeća vide prednosti u 5D BIM-u od projektantskih poduzeća (Nast, 2021).

Nakon što su se u prijašnjim poglavljima navele prednosti i mogućnosti koje umjetna inteligencija nudi u pogledu vremenskog planiranja građevinskih projekata, jasno je zbog čega bi trebao postojati interes za njezinim napretkom i sve češćim korištenjem u budućnosti. Daljnji razvoj umjetne inteligencije bitan je zbog potencijala koje ona ima za skraćivanje trajanja faze izvođenja, ali i za smanjenje troškova i resursa. Također, umjetna inteligencija može imati velik utjecaj na omogućavanje održivog razvoja.

S druge strane, postoje različiti nedostaci koji otežavaju primjenu umjetne inteligencije u građevinarstvu. Zbog toga su započela različita istraživanja koja uzimaju u obzir probleme poput nedostupnosti podataka. U takvim istraživanjima razvijaju se algoritmi umjetne inteligencije koji bi mogli raditi s malim skupovima podataka pritom i dalje pružajući točna predviđanja. Kako bi se povećao broj dostupnih podataka, trenutno se istražuju i različiti izvori

podataka pod koje spadaju i podaci pohranjeni u BIM modelima/alatima ili Internet of Things-u (IoT) (Obinnaya Chikezie Victor, 2023).

Njemačka vlada radi na simuliranju dijeljenja podataka između sudionika građevinske industrije s modelima upravljanja. Zahvaljujući takvim modelima, sudionici mogu razmjenjivati podatke i informacije u znanstvene i ekonomske svrhe bez razmišljanja o zaštiti podataka ili mogućnosti kontrole procesa. Na ovaj način radi se na prevladavanju problema raznolikosti građevinskih tvrtki (Nast, 2021).

Jedan od novijih trendova je planiranje građevinskih projekata pomoću objašnjive umjetne inteligencije (eng. *Explainable artificial intelligence - XAI*). XAI označava podskup umjetne inteligencije koji služi za razumijevanje načina na koji su algoritmi umjetne inteligencije došli do određenih odluka. Zbog toga korištenje XAI-a pomaže u povećavanju transparentnosti čime se povećava povjerenje u AI sustave što je ključno za njihovu primjenu u građevinskim projektima (Liu, et al., 2021).

Također, očekuje se da će tehnologije orijentirane na računalni vid doživjeti porast usvajanja u građevinskoj industriji zbog sve dostupnijih isplativih i kompetentnih uređaja poput digitalnih kamera. To je posebno značajno u fazi izvođenja koju karakteriziraju različite rizične djelatnosti poput rada na visini ili rukovanja potencijalno opasnim materijalima i opremom. Zasad su veliku popularnost stekle metode otkrivanja pukotina temeljene na viziji koje su se pokazale kao pouzdan pristup u provođenju praćenja i procjena stanja objekta i građevinskih procesa (Datta, et al., 2024). Sve češće korištenje kamera na gradilištu može utjecati na vremensko planiranje s obzirom da ono daje mogućnost pregleda stanja radova na gradilištu i na taj način lakšeg i točnijeg ažuriranja vremenskih planova.

Konačno, iako su posljednjih godina umjetna inteligencija i BIM aktualne teme te je napravljen velik broj istraživanja njihovih primjena, potrebno je i dalje nastaviti s istraživanjima kako bi se ostvarili potpuni potencijali ovih tehnologija u građevinarstvu, konkretno u vremenskom planiranju građevinskih projekata.

4 ZAKLJUČAK

Integracija umjetne inteligencije i BIM-a predstavlja priliku za poboljšanje, a moguće i optimizaciju, procesa vremenskog planiranja. Napredak u području vremenskog planiranja predstavlja napredak u cjelokupnom upravljanju građevinskim projektima s obzirom da ono utječe na troškove projekta, njegovu kvalitetu i sigurnost.

Ovim radom istražene su primjena i mogućnosti integracije umjetne inteligencije i BIM-a za poboljšanje vremenskog planiranja. Primijećeno je da se korištenjem novijih tehnologija, poput umjetne inteligencije i BIM-a, proces vremenskog planiranja može značajno olakšati i poboljšati. Zahvaljujući algoritmima umjetne inteligencije moguće je poboljšati preciznost vremenskog plana i skratiti vrijeme planiranja. Također, moguće je predvidjeti rizike u fazi izvođenja što smanjuje mogućnost nastajanja zastoja ili ozljeda na gradilištu zbog čega se povećava sigurnost cjelokupnog projekta. Prilikom izrade vremenskog plana moguće je brzo analizirati različite vremenske planove mijenjajući ulazne parametre i tako pronaći optimalan vremenski plan. Optimizirati se mogu i resursi čime se smanjuju vrijeme i troškovi projekta, a time i povećava konkurentnost projekta u fazi natječaja. BIM, kroz izradu digitalnog modela građevine, daje mogućnost detaljne vizualizacije te analize i kontrole projektnih podataka tijekom svih faza projekta.

Iz svega navedenog, vidljivo je da primjena ovih tehnologija nudi razne prednosti u usporedbi s tradicionalnim metodama vremenskog planiranja. Međutim, istraživanjem se pokazalo da se implementacija umjetne inteligencije i BIM-a na stvarnim projektima građevinskih poduzeća kreće poprilično sporo. Razlog tomu su različiti izazovi s kojima se susreću dionici građevinske industrije pri pokušaju implementacije BIM i AI alata. Neki od primijećenih najčešćih izazova su interoperabilnost i integracija podataka, veliki početni troškovi te potrebnost edukacije za korištenje alata. Kako bi se ubrzao proces primjene umjetne inteligencije i BIM-a bitno je raditi na rješavanju ovih izazova kroz uspostavljanje standardiziranih formata podataka, stvaranje sigurnog digitalnog okruženja i ulaganja u edukaciju dionika građevinske industrije.

Zaključno, iako postoje izazovi pri implementaciji umjetne inteligencije i BIM-a u vremensko planiranje projekata, ne smiju se zanemariti prednosti koje ova integracija nudi za poboljšanje upravljanja građevinskim projektima. Daljnjim razvojem tehnologija umjetne inteligencije i BIM-a mogla bi se ostvariti automatizacija sustava za vremensko planiranje koja bi povećala preciznost i učinkovitost, a smanjila troškove i trajanje građevinskih projekata. Zbog svega navedenog, ovim radom se želi naglasiti važnost istraživanja ovih tehnologija i rada na razvoju istih kako bi se olakšala primjena umjetne inteligencije i BIM-a na stvarne građevinske projekte i time poboljšala uspješnost cijele građevinske industrije.

5 REFERENCE

AEC Magazine, 2023. SmartPM integrates with Autodesk Construction Cloud. *AEC Magazine*, 20 studenog 2023.

Alice Technologies, (2024) *About us*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.alicetechnologies.com/about>
[Pristupljeno: 18. kolovoza 2024.].

Alice Technologies, (2024) *Alice Pro*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.alicetechnologies.com/alice-pro>
[Pristupljeno: 19. kolovoza 2024.].

Alice Technologies, (2024) *Alice Technologies: Home*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.alicetechnologies.com/home>
[Pristupljeno: 19. kolovoza 2024.].

Alice Technologies, (2024) *Pricing*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.alicetechnologies.com/pricing>
[Pristupljeno: 19. kolovoza 2024.].

Al-Janabi, S. (2024) *What are the most important artificial intelligence algorithms?*

Assistance, T. U., (2024) *4D Concrete Model Template - India Environment*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://support.tekla.com/article/4d-concrete-model-template-india-environment>
[Pristupljeno: 9. kolovoza 2024.].

Autodesk, (2024) *Navisworks: 3D model review, coordination, and clash detection..* [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
[Pristupljeno: 31. srpnja 2024.].

Automated Data Driven Design, (2023) *Did you know that Alice Technologies is an AI-powered construction simulation platform?.* [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=NqPvOdxzaDs>
[Pristupljeno: 20 kolovoza 2024.].

Bexel Consulting, (2024) *BEXEL Expert Tools*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://bexelmanager.com/plans-pricing/bexel-expert-tools/>
[Pristupljeno: 14. kolovoza 2024.].

Bexel Consulting, (2024) *BEXEL TeamWorks*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://bexelmanager.com/bexel-teamworks/>
[Pristupljeno: 14. kolovoza 2024.].

Bexel Manager, (2024) *Scheduling*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://bexelmanager.com/bexel-manager/scheduling/>
[Pristupljeno: 13. kolovoza 2024.].

Brioso, X., Humero, A. & Calampa, S. (2016) Comparing Point-to-point Precedence Relations and Location-Based Management System in Last Planner System: A housing project of highly repetitive processes case study. *Procedia Engineering* 164, srpanj, str. 12-19.

Brioso, X., Murguia, D. & Urbina Sanches, A. (2017) Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. *Organization, Technology and Management in Construction*, prosinac, str. 1604-1614.

Brioso, X., Murguia, D. & Urbina Sanchez, A. (2017) Teaching Takt-Time, Flowline, and Point-to-point Precedence Relations: A Peruvian Case Study. *Procedia Engineering* 196, 25. kolovoza, str. 666-673.

Build Group, (2024) *5M-M2 – The George*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.buildgc.com/project/5m-m2/>
[Pristupljeno: 19. kolovoza 2024.].

Datta, S. D. i dr. (2024) Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review. *Heliyon*, 24. veljače.

Doxel, (2024) *Integrations*. *Doxel*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://doxel.ai/integrations/>
[Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.].

Doxel, (2024) *Product*. *Doxel*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://doxel.ai/product/>
[Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.].

Doxel, (2024) *Home*. *Doxel*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://doxel.ai/>
[Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.].

Fleisher, G., (2023) *AI-Powered 360-Degree Cameras Transform Construction Projects – with video*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://modularhomesource.com/ai-powered-360-degree-cameras-transform-construction-projects-with-video/>
[Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.].

Gonzalez, R., (2021) *What is SYNCHRO 4D?*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://blog.bentley.com/software/what-is-synchro-4d/>
[Pristupljeno: 5. kolovoza 2024.].

Issa, P. C. S. a. R. R. A (2009) Evaluating industry perceptions of building information modelling (BIM) impact on construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, kolovoz, str. 574-594.

Khatimi, K. F. P. i. H. (2022) Implementation of 4D Building Information Modeling (BIM) using Tekla Structures. *CERUCUK*, srpanj, str.111-122.

Liu, Y., Zhang, C. & Shou, W. (2021) Predicting construction project duration using machine learning: A comparative study.. *Automation in Construction*, str. 122, 103447.

Meadati, J. D. G. a. P. (2008) Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling. *Journal of Construction Engineering and Management*, srpanj, str. 509-516.

Mostafa, A. L., Mohamed, M. A., Ahmed, S. & Youssef, W. M. M. A. (2023) Application of Artificial Intelligence Tools with BIM Technology in Construction Management: Literature Review. *International Journal of BIM and Engineering Science (IJBES)*, 17. ožujka, Vol. 06, No. 02, str. 39-54.

Nast, A. (2021) *Analysis of the influencing factors for the practical application of BIM in combination with AI in Germany*. Stuttgart

nPlan, (2024) *Our Story*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.nplan.io/our-story>

[Pristupljeno: 20. kolovoza 2024.].

nPlan, (2024) *Home*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.nplan.io/#start>

[Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.].

Obinnaya Chikezie Victor, N. (2023) *The application of artificial intelligence for construction project planning*, University Of Johannesburg.

OpenSpace, (2024) *OpenSpace BIM+*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.openspace.ai/products/bimplus/>

[Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.].

OpenSpace, (2024) *OpenSpace Capture*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.openspace.ai/products/capture/>

[Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.].

OpenSpace, (2024) *OpenSpace Track*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.openspace.ai/products/track/>

[Pristupljeno: 25. kolovoza 2024.].

OpenSpace, (2024) *OpenSpace: Reality Capture for Construction*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.openspace.ai/>

[Pristupljeno: 24. kolovoza 2024.].

Prior, (2024) *Autodesk Navisworks*. [Mrežno]

Dostupno na: <https://www.prior.hr/programi/autodesk-navisworks/>

[Pristupljeno: 29. srpnja 2024.].

Project Controls Online, (2024) *Vico Control - BIM-based software*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://projectcontrolsonline.com/vico-control-bim-based-software>
[Pristupljeno: 12. kolovoza 2024.].

Rane, N. L. (2023) Integrating Building Information modelling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) for smart construction schedule, cost, quality, and safety management: challenges and opportunities. *SSRN Electronic Journal*, siječanj.

Rane, N. L., Choudhary, S. P. & Rane, J. (2023) Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) - based sensors for monitoring and controlling in architecture, engineering, and construction: applications, challenges, and opportunities. *SSRN Electronic Journal*, siječanj.

Guoshen, S., Tianying, D. & Jun, L. (2020) *Artificial intelligence and big data simplify the operation and maintenance of intelligent building control systems*.

Shouxin, Z. (2022) *Research on the application of artificial intelligence technology in housing construction*.

Singh, A., Singh, G. & Chakraborty, S. (2020) A predictive model for cost overruns in construction projects using machine learning. *Journal of Civil Engineering and Management*, str. 733–742.

SmartPM Technologies, (2024) *Schedule Controls - Construction Schedule Controls*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://smartpm.com/schedule-controls/>
[Pristupljeno: 22. kolovoza 2024.].

Software Advice, (2024) *SmartPM Software Review*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://www.softwareadvice.com/construction/smartpm-profile/>
[Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.].

Nguyen, T. A., Nguyen, T. A. & Tran, V. T. (2024) *Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review*.

Vico Office, (2024) *Modules*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://vicooffice.dk/en/modules/>
[Pristupljeno: 11. kolovoza 2024.].

Vico Office, (2024) *Schedule Planner*. [Mrežno]
Dostupno na: <https://vicooffice.dk/en/modules/schedule-planner/>
[Pristupljeno: 11. kolovoza 2024.].

Wang, W. C., Weng, S. W., Wang, S. H. & Chen, C. Y. (2014) Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, siječanj, str. 68-80.

Wu, R. (2023) *Application of AI in construction*. Ningbo.

Youguo, Z. (2022) *Application and thinking of edge AI in intelligent buildings*.

Zhang, H., Chen, H. & Chen, Z. (2020) An AI-based automatic scheduling method for construction projects. *Automation in Construction*, str. 113, 103139.

POPIS SLIKA

Slika 1: Godišnji broj publikacija o umjetnoj inteligenciji u građevinskoj industriji (Izvor: (Datta, et al., 2024)).....	4
Slika 2: Područja umjetne inteligencije (Izvor: (Al-Janabi, 2024)).....	7
Slika 3: Struktura duboke neuronske mreže (Izvor: (Nast, 2021)).....	9
Slika 4: Vremensko planiranje u Navisworks-u (Izvor: (Prior, 2024)).....	19
Slika 5: Usporedba mogućih rasporeda u SYNCHRO 4D Pro (Izvor: (Gonzalez, 2021)).....	22
Slika 6: Različite mogućnosti Vico Schedule Planner-a.....	24
Slika 7: Flowline metoda u Vico Office-u (Izvor: (Brioso, et al., 2017)).....	25
Slika 8: Vremensko planiranje u BEXEL Manager-u (Izvor: (Bexel Manager, 2024)).....	27
Slika 9: 4D modeliranje u Tekla Structures-u (Izvor: (Assistance, 2024)).....	29
Slika 10: Primjena ALICE platforme za pronalazak optimalnog rješenja (Izvor: (Alice Technologies, 2024)).....	32
Slika 11: Definiranje parametara (radnika) u ALICE Pro (Izvor: (Alice Technologies, 2024)).....	33
Slika 12: Istraživanje različitih scenarija u ALICE Pro (Izvor: (Automated Data Driven Design, 2023)).....	34
Slika 13: Praćenje napretka u OpenSpace Track-u (Izvor: (OpenSpace, 2024)).....	36
Slika 14: Usporedba stvarnih uvjeta na lokaciji s BIM modelom (Izvor: (OpenSpace, 2024)).....	39
Slika 15: Različite mogućnosti SmartPM izvještaja (Izvor: (Software Advice, 2024)).....	40
Slika 16: Kamere od 360 stupnjeva za praćenje napretka radova (Izvor: (Fleisher, 2023)).....	43
Slika 17: Izvršni izvještaj napretka radova na gradilištu (Izvor: (Doxel, 2024)).....	44

POPIS TABLICA

Tablica 1: Integracija BIM-a i AI-a za upravljanje vremenskim planom, troškovima, kvalitetom i sigurnošću (Izvor: (Rane, 2023)).....17