

Razvoj sustava za monitoring građevinskih projekata primjenom digitalnih alata

Vekić, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:915553>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Matija Vekić

**Razvoj sustava za monitoring građevinskih projekata primjenom
digitalnih alata**

Završni rad

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Stručni prijediplomski studij
Organizacija građenja**

**Matija Vekić
JMBAG: 0336026506**

**Razvoj sustava za monitoring građevinskih projekata primjenom
digitalnih alata**

Završni rad

Rijeka, rujan 2024.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Vekić

Matija Vekić

U Rijeci, 09.09.2024.

ZAHVALA

Ovim putem želio bih se zahvaliti svojim roditeljima koji su mi pružili mogućnost studiranja te svim ostalim bliskim ljudima koji su mi pružili potporu tokom studiranja.

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Maroviću, dipl. ing. građ. na svim savjetima i strpljenju tokom izrade ovog rada.

Također bih se želio zahvaliti firmi Vectrino d.o.o. na ustupljenoj projektnoj dokumentaciji, a posebno direktoru Josipu Rukavini, dipl. ing. građ. na pruženom znanju, vremenu i savjetima te voditelju odjela razvoja i inovacija Mateu Viškaniću, mag. ing. mech. na pruženoj pomoći u svim tehničkim pitanjima.

SAŽETAK

Ovim završnim radom razvijen je sustav monitoringa građevinskih projekata korištenjem digitalnih alata kao što su bespilotne letjelice, fotogrametrija i BIM. Na primjeru projekta u Rovinju prikazana je upotreba razvijenog sustava monitoringa. Upotreba sustava prikazana je vizualnom usporedbom planiranog stanja prikazanog BIM modelom sa stvarnim stanjem projekta prikazanog podacima prikupljenima na terenu upotrebom sustava monitoringa.

Ključne riječi: monitoring, bespilotne letjelice, fotogrametrija, BIM

ABSTRACT

This undergraduate thesis developed a construction project monitoring system using digital tools such as drones, photogrammetry and BIM. The use of the developed monitoring system is shown on the example of the project in Rovinj. The use of the system is shown by visual comparison of the planned state shown by the BIM model with the actual state of the project shown by data collected in the field using the monitoring system.

Key words: monitoring, drones, photogrammetry, BIM

Sadržaj

1. UVOD	7
1.1. DEFINIRANJE PROBLEMA	7
1.2. CILJ RADA	8
2. MONITORING GRAĐEVINSKIH PROJEKATA	9
2.1. PREGLED TRADICIONALNIH METODA MONITORINGA	9
2.2. MONITORING U OKVIRU ZAKONSKE REGULATIVE REPUBLIKE HRVATSKE	11
2.3. NOVI PRISTUPI MONITORINGA GRAĐEVINSKIH PROJEKATA KORIŠTENJEM DIGITALNIH ALATA	14
3. RAZVOJ SUSTAVA MONITORINGA GRAĐEVINSKIH PROJEKATA	17
3.1. DIGITALNI ALATI	17
3.2. PLANIRANJE I PRIPREMA	23
3.3. PRIKUPLJANJE PODATAKA	27
3.4. OBRADA PODATAKA	29
3.5. ANALIZA PODATAKA	32
3.6. NEDOSTATCI BESPILOTNIH LETJELICA U PROCESU MONITORINGA	34
4. KORIŠTENJE SUSTAVA MONITORINGA NA PRIMJERU PROJEKTA „UPOV CUVI“	36
4.1. UVODNO O PROJEKTU UPOV CUVI	36
4.1.1. UGOVORENI DINAMIČKI PLAN	37
4.2. MONITORING NA PROJEKTU UPOV CUVI	38
4.3. USPOREDBA UGOVORENOG (PLANIRANOG) DINAMIČKOG PLANA S IZVEDBENIM STANJEM RADOVA NA PRIMJERU UPOV CUVI	40
5. ZAKLJUČAK	57
6. POPIS SLIKA	58
7. LITERATURA	59

Popis kratica

U ovom radu korištene su engleske verzije sljedećih kratica:

BIM – (*eng. Building Information Modeling*) modeliranje informacija o građevinama

IoT – (*eng. Internet of Things*) internet stvari

VR – (*eng. Virtual Reality*) virtualna stvarnost

AR – (*eng. Augmented Reality*) proširena stvarnost

AI – (*eng. Artificial Intelligence*) umjetna inteligencija

ML - (*eng. Machine Learning*) strojno učenje

WBS – (*eng. Work Breakdown Structure*) strukturna rasčlamba poslova

MEP – (*eng. Mechanical, Electrical and Plumbing*) sistem mehaničkih, električnih i vodovodnih instalacija

GNSS – (*eng. Global Navigation Satellite System*) globalni navigacijski satelitski sustavi

GPS – (*eng. Global Positioning System*) globalni sustav za pozicioniranje

RTK – (*eng. Real-Time Kinematic*) kinematika u stvarnom vremenu

Popis slika

Slika 1 Dijagram toka procesa monitoringa	22
Slika 2 Dijagram toka planiranja i pripreme	25
Slika 3 Grafika prikaza kuteva pogleda kamere i visina	26
Slika 4 Dijagram toka prikupljanja podataka	27
Slika 5 Dijagram toka koraka obrade podataka	29
Slika 6 Dijagram toka obrade podataka u softveru za fotogrametriju	30
Slika 7 Dijagram toka analize podataka	33
Slika 8 BIM situacija UPOV Cuvi	37
Slika 9 Gantogram Građevine 1	41
Slika 10 Pogled s prednje strane na Građevinu 1	43
Slika 11 Pogled s prednje strane BIM modela Građevine 1	43
Slika 12 Pogled sa stražnje strane Građevine 1	44
Slika 13 Pogled sa stražnje strane BIM modela Građevine 1	44
Slika 14 Gantogram Građevine 2	46
Slika 15 Pogled s prednje strane na Građevinu 2	47
Slika 16 Pogled s prednje strane na BIM model Građevine 2	47
Slika 17 Pogled sa stražnje strane na Građevinu 2	48
Slika 18 Pogled sa stražnje strane na BIM model Građevine 2	48
Slika 19 Gantogram Građevine 3	50
Slika 20 Pogled na Građevinu 3 sa prednje strane	51
Slika 21 Pogled na prednju stranu BIM modela Građevine 3	51
Slika 22 Pogled na Građevinu 3 sa stražnje strane	52
Slika 23 Pogled na stražnju stranu BIM modela Građevine 3	52
Slika 24 Pogled s prednje strane na oblak točaka Građevine 1	53
Slika 25 Pogled s prednje strane na BIM model Građevine 1	54
Slika 26 Preklapanje oblaka točaka i BIM modela Građevine 1	54
Slika 27 Pogled sa stražnje strane na oblak točaka Građevine 1	55
Slika 28 Pogled sa stražnje strane na BIM model Građevine 1	55
Slika 29 Preklapanje oblaka točaka i BIM modela Građevine 1	56

1. Uvod

1.1. Definiranje problema

U radu će se prikazati pristup razvoju sustava monitoringa građevinskog projekta korištenjem digitalnih alata, a njegova primjena biti će prikazana na primjeru projekta Uređaja za pročišćavanje otpadne vode (UPOV) u Rovinju. Investitor (Odvodnja Rovinj) je postavio zahtjev za redovitim praćenjem razvoja građevinskog projekta. Redovita snimanja investitoru omogućuju praćenje trendova izgradnje, osiguravajući da sve faze projekta budu dokumentirane i analizirane. Snimanja je moguće djelomično automatizirati te ona omogućuju pravovremenu identifikaciju potencijalnih problema, čime se povećava učinkovitost upravljanja projektom [1].

U okviru ovog rada, posebna pažnja biti će posvećena korištenju digitalnih alata i bespilotnih letjelica (dronova) kao ključnih elemenata na kojima se bazira sustav monitoringa razrađen ovim radom. Ovi podaci koristiti će se za izradu detaljnih 3D modela gradilišta, što će omogućiti analizu i usporedbu stvarnog stanja s planiranim dinamičkim planom gradnje. Digitalni alat od kojeg započinje cijeli proces monitoringa je BIM. BIM predstavlja temeljnu komponentu u cjelokupnom procesu upravljanja projektom. Kao digitalni prikaz fizičkih i funkcionalnih karakteristika objekta, BIM model će služiti kao podloga za učinkovit monitoring projekta. Povezat će sve faze projekta, od inicijalnog planiranja pa do monitoringa projekta. Korištenje BIM modela omogućuje integraciju svih aspekata i informacija projekta u jedinstvenu, preglednu strukturu koja olakšava koordinaciju i komunikaciju između svih sudionika u projektu. Na taj način, BIM model postaje ne samo alat za vizualizaciju i analizu, već i središnja točka za donošenje informiranih odluka i optimizaciju procesa izgradnje.

Monitoring projekta u građevinskoj industriji kritičan je proces koji uključuje kontinuirano praćenje i analizu različitih parametara projekta kako bi se osiguralo da građevinske aktivnosti budu u skladu s planiranim rasporedom, proračunom, standardima kvalitete i sigurnosnim propisima. Na nepostojanje monitoringa kao neovisne projektne funkcije ukazao je Orešković u svom radu [2] gdje je pritom naglasio da u hrvatskoj graditeljskoj

praksi monitoring nije ni prepoznat niti uveden i korišten kao temeljna komponenta uspješnog upravljanja graditeljskim i građevinskim projektom.

1.2. Cilj rada

Cilj ovog rada je definirati sustav za monitoring građevinskih projekata koji se zasniva na upotrebi digitalnih tehnologija sa fokusom na bespilotnim letjelicama, fotogrametriji te upotrebi BIM-a. Bespilotnim letjelicama i fotogrametrijom se obavlja funkcija monitoringa građevinskog projekta, a BIM nam služi za povezivanje monitoringa sa projektnim planiranjem. Kroz usporedbu podataka prikupljenih monitoringom sa podacima iz BIM-a vršimo kontrolu projekta. Upotreba ovog sustava biti će prikazana na realnom projektu Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Rovinju. Na primjeru projekta u Rovinju prikazati će se mogućnosti razvijenog sustava monitoringa te će se napraviti usporedba planiranog stanja prikazana BIM modelom sa stvarnim stanjem aktivnosti prikupljenim sustavom monitoringa definiranog ovim radom.

2. Monitoring građevinskih projekata

2.1. Pregled tradicionalnih metoda monitoringa

Tradicionalne metode monitoringa građevinskih projekata već dugo vremena predstavljaju osnovu upravljanja projektima u građevinskoj industriji. Ove metode pružale su pouzdan okvir za praćenje napretka, osiguranje kvalitete i održavanje sigurnosti na gradilištu. Ove metode oslanjaju se na ljudski nadzor i iskustvo. Premda tradicionalne metode mogu osigurati ispravno upravljanje projektima i donošenje odluka, one su sklone pogreškama, mogu biti vremenski zahtjevne i manje učinkovite zbog oslanjanja na ručne operacije. Ovi nedostaci tradicionalnih metoda identificirani su kao glavni problemi koji uzrokuju kašnjenje projekta i prekoračenja troškova [3]. Sporom integracijom modernih digitalnih tehnologija, pogotovo na manjim građevinskih projektima, tradicionalne metode monitoringa i dalje igraju ključnu ulogu u uspješnoj realizaciji projekata posebice u kombinaciji s modernim tehnologijama.

U ovom poglavlju predstaviti ću neke od tradicionalnih metoda monitoringa koje se koriste na građevinskim projektima. Jedna od metoda koju ću predstaviti je vizualna inspekcija i ručno fotografsko dokumentiranje na licu mjesta. Ovaj oblik monitoringa građevinskog projekta zahtjeva fizičku prisutnost dionika koji obavljaju poslove monitoringa. Tijekom vizualnih inspekcija dionici provode redovite obilaske gradilišta te bilježe zapažanja aktivnosti koje se obavljaju te ispituju usklađenost istih sa projektnim planovima, specifikacijama projekte te sigurnosnim standardima. Ova vrsta inspekcije omogućuje trenutnu identifikaciju i ispravljanje problema osiguravajući da se problemi riješe na vrijeme prije nego što dođe do većih problema. Fotografskim dokumentiranjem nadopunjuje se vizualna inspekcija snimanjem fotografskih zapisa aktivnosti u različitim fazama. Redovito snimljene fotografije pružaju jasan, kronološki pregled razvoja projekta, pomažu u praćenju napretka, utvrđivanju dovršenosti aktivnosti i dokumentiranju svih problema koji se pojave. Ovaj vizualni dokaz bitan je za komunikaciju sa dionicima projekta, rješavanje sporova i održavanje evidencije povijest projekta. Kombinacijom vizualne inspekcije i ručne fotografske dokumentacije na gradilištu, stvoren je pristup praćenju projekta koji kombinira detaljne uvide u aktivnosti u stvarnom vremenu s trajnim dokazima koje pružaju fotografije.

Još jedan pristup koji omogućava uvid u aktivnosti koje se obavljaju na projektu, osobito u građevinskoj industriji, jest održavanje redovitih sastanaka s dionicima projekta. Sastanci dionika projekta služe kao redovite provjere na kojima dionici projekta, kao što su voditelji projekta, inženjeri, izvođači i arhitekti, okupljaju kako bi se pregledao status projekta. Obično se održavaju jednom ili dva puta tjedno, ovi sastanci pružaju priliku za raspravu o napretku tekućih aktivnosti, utvrđivanje kašnjenja ili prepreka i rješavanje pitanja koja bi mogla utjecati na vremenski raspored, proračun ili kvalitetu projekta. Dionici projekta dijele ažuriranja o svojim područjima, osiguravajući da su svi usklađeni s trenutnim stanjem projekta i svjesni svih promjena u rasporedu ili opsegu. Sastanci o napretku također olakšavaju suradničko rješavanje problema, omogućujući timu da razvije rješenja za izazove kako se pojave i prilagodi planove prema potrebi kako bi projekt bio na pravom putu. Poticanjem otvorene komunikacije i koordinacije među svim uključenim stranama, sastanci o napretku pomažu održati zamah projekta, osigurati odgovornost i smanjiti rizik od nesporazuma ili neusklađenosti, što u konačnici pridonosi uspješnoj izvedbi građevinskog projekta.

Početkom dvadesetog stoljeća razvijen je vizualni alat za upravljanje projektima koji je u širokoj upotrebi i danas. Gantogram kao vizualni alat prepoznat je po svojoj učinkovitosti u vizualnom predstavljanju rasporeda projekta u upravljanju projektata [4]. Koristeći gantograme kao vizualni alat rasporeda projekta, voditelji projekta imaju mogućnost praćenja napretka projekta, raspoređivanje resursa te identificiranje potencijalnih kašnjenja aktivnosti. Ovaj način praćenja projekta omogućuje pregled aktivnosti koje se odvijaju na vrijeme, uvid u aktivnosti koje su odgođene i njihov utjecaj na sljedeće aktivnosti te cjelokupni vremenski okvir projekta. Uvidom u kritični put aktivnosti koje direktno utječu na pravovremeni završetak projekta, gantogram omogućuje voditeljima projekta određivanje prioriteta ključnih aktivnosti i učinkovitiji raspored resursa. Redovito ažuriranje gantograma sa točnim podacima o napretku daje jasnu sliku statusa projekta osiguravajući na taj način da su rokovi projekta ispunjeni. Ova metoda monitoringa nudi jednostavnost i učinkovitost u održavanju kontrole nad složenim građevinskim projektima osiguravajući da su svi članovi projektnog tima usklađeni. Nedostatak gantograma je u tome što zahtijeva česta ažuriranja kašnjenja ili trajanja aktivnosti. Ovime se može oduzeti

puno vremena te rezultirati netočnim informacijama ukoliko se gantogram ne održava dosljedno.

2.2. Monitoring u okviru zakonske regulative Republike Hrvatske

U građevinskoj industriji praćenje i dokumentiranje procesa građenja postaje sve važniji aspekt osiguravanja kvalitete i usklađenosti sa zakonskim propisima. U ovom pod poglavlju, predstavljena je zakonska regulativa koja se odnosi na monitoring građevinskih projekata. Fokus je bio na ključnim zakonskim okvirima i propisima, posebno Zakon o gradnji [5], s naglaskom na poglavlje 9., koje se bavi nadzorom, te na Pravilnik o načinu provedbe stručnog nadzora građenja, uvjetima i načinu vođenja građevinskog dnevnika te o sadržaju završnog izvješća nadzornog inženjera [6]. Analiziran je Zakon o gradnji [5], koji postavlja temeljne pravne okvire za nadzor građevinskih projekata. U poglavlju 9., koje se bavi nadzorom, definirane su obveze i odgovornosti svih sudionika u procesu građenja, uključujući investitore, izvođače radova i nadzorne inženjere. Ovaj zakon jasno propisuje procedure i standarde koje je potrebno slijediti kako bi se osiguralo da su svi aspekti građevinskog projekta u skladu s važećim propisima i standardima kvalitete.

U Zakonu o gradnji [5] nema specifičnih odredbi koje direktno pokrivaju praćenje građenja pomoću fotografiranja i dokumentiranja kroz vizualne zapise kao obaveznu proceduru. Dokumentacija koja se spominje u vezi sa praćenjem gradnje odnosi se uglavnom na tehničku i projektantsku dokumentaciju, građevinske dnevnike, izvještaje, iskolčenje građevine i druge tehničke zapise koji su potrebni za dokazivanje sukladnosti i kvalitete građenja.

Ovi zapisi su ključni za osiguravanje da su svi radovi izvedeni u skladu s građevinskom dozvolom i relevantnim propisima, ali ne obuhvaćaju vizualnu dokumentaciju kao standardnu praksu. Iako zakon ne propisuje obavezu fotografskog dokumentiranja kao dio nadzora građenja, ova praksa može pružiti prednosti koje se mogu pokazati kao ključne tokom i nakon procesa građenja. Fotogrametrija u nadzoru nudi mogućnost dokumentiranja stanja gradilišta u različitim fazama gradnje. U slučaju da tokom gradnje ili kasnije dođe do sporova, promjena ili oštećenja, fotogrametrija nam može pružiti jasne dokaze o tome kako je gradnja napredovala i u kojem je stanju bila u određenom trenutku kao i pružiti

detaljniji podatak o problemu kroz fotografije. Fotografije koje služe izradi fotogrametrijskom modela mogu poslužiti kao dopuna građevinskim dnevnicima i izvještajima. Oni daju vizualni kontekst podacima unesenim u te dokumente, što može olakšati razumijevanje situacije svim stranama uključenim u projekt. Ukoliko dođe do neslaganja oko izvedenih radova ili kvalitete gradnje, fotografije mogu pomoći u rješavanju sporova pružajući objektivne dokaze. Ovakvi vizualni dokazi omogućavaju detaljan uvid u stvarno stanje radova u određenom trenutku, što može biti presudno prilikom utvrđivanja odgovornosti i donošenja odluka. Fotografije mogu jasno prikazati eventualna odstupanja od projektne dokumentacije, nepravilnosti u izvođenju radova, ili kvalitetu materijala korištenih tijekom gradnje. Također fotografskim dokumentiranjem omogućuje se brže i efikasnije rješavanje sporova smanjenjem potrebe za dodatnim inspekcijama. U slučaju zahtjeva za naknadnim popravcima ili dodatnim radovima, koristeći fotogrametriju osiguravamo dokumentiranje početnog stanja građevine.

Pravilnikom o načinu provedbe stručnog nadzora građenja, uvjetima i načinu vođenja građevinskog dnevnika te o sadržaju završnog izvješća nadzornog inženjera [6] nije izričito definirana upotreba fotografija ili fotogrametrije kao metode monitoringa građenja. Međutim, moguće je povezati ove tehnologije s odredbama koje se odnose na vođenje građevinskog dnevnika i završnog izvješća nadzornog inženjera. Prema pravilniku [6] Građevinski dnevnik je ključni dokument koji se vodi kao elektronički zapis i u kojem se bilježe sve važne informacije o izvođenju radova. Elektronički sustavi vođenja dnevnika omogućuju integraciju fotografija i drugih digitalnih zapisa koji mogu služiti kao dokaz stanja na gradilištu u određenim fazama radova. Završno izvješće nadzornog inženjera također se izrađuje kao elektronički zapis, a uključuje podatke o nadziranim radovima i usklađenosti izvedenog stanja sa glavnim projektom. Iako pravilnik [6] direktno ne spominje upotrebu fotogrametrije ili fotografija, one mogu služiti kao prilog u završnom izvješću što dovodi do povećanja transparentnosti i vjerodostojnosti izvješća. Fotogrametrija može pružiti dodatnu razinu sigurnosti u dokumentiranju stvarnog stanja građevine u različitim fazama gradnje, čime se omogućava detaljna analiza i dokazivanje kvalitete radova.

Iako se izričito ne spominje upotreba fotogrametrije i fotografija u Pravilniku o održavanju građevina [7], postoje odredbe koje mogu biti povezane s korištenjem fotogrametrije za dokumentiranje i praćenje stanja građevine, a to u konačnici može biti od velike koristi kako za izgradnju građevine tako i za njezino buduće održavanje. Pravilnik o održavanju [7] naglašava važnost redovitog i izvanrednog pregleda građevina radi očuvanja njihovih tehničkih svojstava i funkcionalnosti. Metoda fotogrametrija može biti ključan alat u ovom procesu jer omogućuje precizno mjerenje i dokumentiranje stanja građevine u svim fazama njenog vijeka trajanja. Ova metoda može pomoći u otkrivanju i praćenju geometrijskih odstupanja, deformacija, pukotina i drugih oštećenja koja se mogu pojaviti tijekom uporabe građevine kao što je i predviđeno člankom 9. navedenog pravilnika [7]. Fotogrametrijsko snimanje može pridonesti značajnom unaprijeđenju procesa redovitih i izvanrednih pregleda zbog mogućnosti održavanja točnih i ponovljivih podataka. S time olakšavamo dokumentiranje podataka za buduće potrebe održavanja i upravljanja građevinama. Člankom 16. Pravilnika [7] naglašena je važnost vođenja evidencije o održavanju građevine uključujući izvješća o pregledima i zapise o radovima održavanja. Ovakva evidencija može znatno olakšati buduće preglede i intervencije, osiguravajući da su sve promjene na građevini pravilno zabilježene i analizirane.

Premda zakonski akti ne obavezuju dionike građevinskih projekata na korištenje fotogrametrijske metode ili fotografskog dokumentiranja procesa građenja, ove metode pružaju značajne prednosti u praćenju, nadzoru i održavanju građevina. One omogućuju detaljno i precizno dokumentiranje stanja građevine, što može olakšati rješavanje sporova, osigurati visoku razinu usklađenosti s projektom i dugoročno pomoći u održavanju građevine u uporabnom stanju.

S obzirom da se u ovom radu obrađuje tema povezana sa uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, neophodno je analizirati Pravilnik vezan za građevine otpadnih voda te identificirati slučajeve u kojima se može koristiti fotogrametrija u svrhu održavanja ovakvih građevina. Stoga su na temelju Pravilnika o tehničkim zahtjevima za građevine odvodnje otpadnih voda, kao i rokovima obvezne kontrole ispravnosti građevina odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda [8] identificirani slučajevi u kojima se metoda fotogrametrija

može koristiti u svrhu održavanja. Pravilnik [8] propisuje da se građevine za odvodnju otpadnih voda moraju podvrgnuti kontroli strukturalne stabilnosti i funkcionalnosti. Metodu fotogrametrije u ovom slučaju možemo koristiti za dokumentiranje stanja cjevovoda, crpnih stanica, uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i drugih građevina, posebno pri identifikaciji deformacija ili oštećenja. Ova tehnologija omogućuje stvaranje 3D modela koji pružaju detaljan uvid u stanje građevina i pomažu u planiranju potrebnih popravaka. Pravilnikom [8] se također zahtijevaju vizualni pregledi za utvrđivanje stanja i vodonepropusnosti različitih građevina. Koristeći fotogrametrijske modele, imamo mogućnost dokumentiranja vizualnih pregleda koje možemo koristiti za buduće preglede i identificiranja potencijalnih problema u ranim fazama. Ovime također ostvarujemo mogućnost usporedbe građevina tijekom vremena. Dokumentiranje stanja fotogrametrijom pruža značajnu prednost u održavanju građevina za odvodnju otpadnih voda, posebice u kontekstu kontrole strukturalne stabilnosti, funkcionalnosti i vodonepropusnosti. Upotreba ove metode može značajno poboljšati kvalitetu održavanja, omogućiti precizno praćenje stanja građevina i olakšati planiranje potrebnih intervencija, čime se osigurava dugoročna funkcionalnost i sigurnost ovih kritičnih infrastrukturnih objekata.

2.3. Novi pristupi monitoringa građevinskih projekata korištenjem digitalnih alata

Nove digitalne tehnologije u građevinskom sektoru donose revoluciju u monitoringu građevinskih projekata uvodeći nove pristupe koji imaju za cilj poboljšavanje efikasnosti, preciznosti i sigurnosti. Digitalni alati i nove tehnologije omogućuju inženjerima, arhitektima i drugim stručnjacima da prate napredak gradnje na načine koji su do sada bili nezamislivi. Nekoliko ključnih novih pristupa koji koriste digitalne tehnologije predstavljeno je u ovom poglavlju. Te tehnologije su: BIM, bespilotne letjelice, IoT senzori, VR i AR, AI i ML, softveri za upravljanje projektima te digitalizacija građevinskih dnevnika.

BIM predstavlja digitalnu reprezentaciju fizičkih i funkcionalnih karakteristika građevine. Korištenjem BIM-a, projektni tim može izraditi detaljan 3D model građevine koji

omogućuje simulacije, analize i optimizaciju prije nego što gradnja uopće započne. BIM integrira sve faze projekta, od dizajna do izgradnje i održavanja, omogućujući nadzornim inženjerima i ostalim dionicima da vizualiziraju svaki aspekt građevine, identificiraju potencijalne probleme i planiraju njihovo rješavanje. Ova metoda biti će bolje pokrivena u sljedećem poglavlju razvoja sustava kao jedan od njezinih glavnih dijelova.

Dronovi opremljeni kamerama visoke rezolucije i fotogrametrijskim alatima postali su nezamjenjiv alat za praćenje napretka na gradilištu. Oni omogućuju snimanje detaljnih zračnih snimaka gradilišta, izradu 3D modela i provođenje inspekcija na teško dostupnim mjestima. Dronovi omogućuju brzu procjenu stanja gradilišta, praćenje napretka u stvarnom vremenu i dokumentiranje stanja na svakom koraku gradnje. Ovi podaci mogu se koristiti za usporedbu sa projektnom dokumentacijom i za planiranje budućih aktivnosti. S obzirom da je razvoj sustava monitoringa baziran na upotrebi dronova i fotogrametrije, ovaj pristup će biti detaljnije predstavljen u sljedećem poglavlju.

Internet stvari (IoT) donosi u građevinsku industriju mrežu povezanih senzora koji mogu kontinuirano prikupljati podatke o različitim parametrima kao što su temperatura, vlažnost, vibracije i pokreti tla. Ovi senzori omogućuju nadzor u stvarnom vremenu, što je posebno korisno za praćenje stanja ključnih građevinskih elemenata i za ranu detekciju potencijalnih problema. Podaci prikupljeni putem IoT senzora mogu se integrirati u BIM modele, omogućujući timovima da bolje razumiju kako se građevina ponaša u stvarnim uvjetima.

VR i AR omogućuju projektantima i nadzornicima da "prošetaju" kroz građevinski projekt prije nego što je on fizički izgrađen. Korištenjem VR-a, korisnici mogu pregledavati 3D modele građevina u virtualnom okruženju, dok AR omogućuje da se digitalni elementi projiciraju na stvarno gradilište. Ovi alati poboljšavaju komunikaciju među timovima, omogućuju bolju vizualizaciju konačnog izgleda projekta i pomažu u prepoznavanju potencijalnih problema na vrijeme.

AI i ML postaju sve važniji u analizi podataka prikupljenih tijekom gradnje. Ovi alati mogu analizirati ogromne količine podataka u kratkom vremenu, identificirati obrasce i predviđati potencijalne rizike. Na primjer, AI može analizirati podatke o prošlim projektima kako bi predvidio gdje bi moglo doći do kašnjenja ili prekoračenja troškova. Također, AI može pomoći u optimizaciji rasporeda radova i resursa, što značajno povećava efikasnost projekta.

Napredni softveri za upravljanje projektima omogućuju timovima da koordiniraju sve aspekte projekta iz jednog centralnog sustava. Ovi alati integriraju planiranje, proračun, raspoređivanje, upravljanje dokumentima i komunikaciju među članovima tima. Omogućuju dionicima praćenje napretka projekta u stvarnom vremenu, identificiranje odstupanja od planiranog rasporeda aktivnosti i poduzimanje korektivnih mjera za sprječavanje problema.

Digitalni alati i tehnologije transformiraju način na koji se građevinski projekti nadziru i upravljaju. Ovi novi pristupi ne samo da poboljšavaju efikasnost i preciznost, već i smanjuju troškove, povećavaju sigurnost na gradilištu i omogućuju bolju komunikaciju i suradnju među svim sudionicima u projektu. Kao rezultat toga, kompleksni građevinski projekti postaju bolje kontrolirani, što dovodi do većeg uspjeha i dugoročnog zadovoljstva svih uključenih strana.

3. Razvoj sustava monitoringa građevinskih projekata

3.1. Digitalni alati

Građevinska industrija povijesno je karakterizirana tradicionalnim metodama i praksama koje se čvrsto odupiru velikim promjenama. Ova industrija, karakterizirana sporim prihvaćanjem tehnološke revolucije, nalazi se na njezinom rubu te doživljava velike promjene potaknute napretkom digitalizacije, automatizacije i inovacija. Ove nove tehnologije nude nove mogućnosti za povećanje učinkovitosti, produktivnosti, sigurnosti i održivosti tijekom životnog ciklusa izgradnje. Od digitalnih tehnologija i bespilotnih letjelica do robotike i AR-a, novi alati spremni su promijeniti način na koji se građevinski projekti planiraju, izvode, upravljaju i kontroliraju. Upravo su digitalne tehnologije u obliku BIM-a, fotogrametrije i bespilotnih letjelica glavni akteri u razvoju ovog sustava za monitoring građevinskih projekata. Razvijanjem ovog sustava cilj je bio iskoristiti puni potencijal ovih alata kako bi definirali sustav monitoringa građevinskih projekata koji se temelji na novim tehnologijama te time otvarajući novo poglavlje upravljanja projektima. Prvo je pravilo u osmišljavanju postupaka monitoringa „napraviti sustav koji je učinkovit, ali nije preskup. Nikad nećemo utrošiti tisuće da bismo ustanovili gdje smo izgubili stotine [9]. Funkcija monitoringa građevinskog projekta u ovom sustavu zasniva se upotrebi bespilotnih letjelica, BIM pristupa i fotogrametrije. Bespilotne letjelice pridonose u revoluciji načina praćenja projekata nudeći prednosti u učinkovitosti, točnosti i preciznosti. Ovaj sustav koristi mogućnosti koje pružaju bespilotne letjelice u svrhu prikupljanja podataka iz različitih kutova i visina te stvaranja point clouda (oblak točaka) fotogrametrijskom metodom. Point cloud nam zatim pruža mogućnost preciznog mjerenja, volumetrijskih analiza i 3D mapiranja gradilišta. Više o svim ovim tehnologijama koje se koriste biti će objašnjeno u sljedećim tekstovima. Važno je prvo definirati sve tehnologije koje će biti korištene za sustav monitoringa, a zatim ćemo definirati i sami sustav monitoringa.

Kako je navedeno u uvodnom dijelu poglavlja, fokus razvoja sustava bio je na BIM-u, bespilotnim letjelicama te fotogrametriji. Izraz BIM se često definira i tumači na razne načine, to dovodi do čestog krivog shvaćanja BIM-a kao alata za izradu 3D modela

građevine. Izrada 3D modela građevine samo je jedna od komponenti BIM-a. ADEB-VBA (Udruga izvođača radova u Belgiji) BIM je definirala na dvije različite razine, kao metodologiju (proces) i tehnologiju [10]:

- PROCES u kojem različiti sudionici rade zajedno, učinkovito razmjenjuju informacije te surađuju na stvaranju učinkovitijeg procesa gradnje (npr. procesi s manje pogreška, brža gradnja i sl.), ali i učinkovitijih građevina (npr. građevina koje proizvode manje otpada). Pri tome ključni faktor BIM-a nije samo trodimenzionalno modeliranje, nego također razvijanje, upravljanje i dijeljenje informacija, u prilog boljoj projektnoj suradnji.
- TEHNOLOGIJU koja omogućuje koordinaciju ili kombiniranje rada različitih interesnih skupina u BIM model. BIM model je trodimenzionalan (3D), objektno usmjeren model unutar kojeg su integrirane informacije. To je trodimenzionalan prikaz građevine u kojem se svi dijelovi koji sačinjavaju građevinu smatraju BIM elementima te su međusobno povezani. Svaki od tih elemenata jedinstven je i sadrži informacije o svojoj geometriji i svojstvima. Takav pristup omogućuje organizaciju virtualnog modela te pohranu informacija o elementima. Dakle, svaki virtualni element s ugrađenim informacijama može se lako iskoristiti za definiranje i prepoznavanje pravog elementa na mjestu u građevini.

Iz ovih definicija možemo vidjeti da je BIM pristup zamišljen za praćenje građevinskog projekta tokom njegovog cijelog životnog vijeka. BIM pristup primjenjuje se u svim fazama projekta od projektiranja i planiranja pa do upravljanja i održavanja. Kroz BIM, dionici mogu zajednički dizajnirati, vizualizirati i simulirati projekte, potičući poboljšanu komunikaciju, učinkovitost i donošenje odluka tijekom cijelog životnog ciklusa građevine. Korištenje BIM pristupa u građevinskoj industriji donosi revolucionarnu promjenu u obuhvaćanju projektnih informacija. Planiranje u građevinskim projektima kritičan je segment za učinkovito upravljanje i izvođenje projekta. Dobro izrađen plan projekta kamen

je temeljac njegovog uspješnog dovršavanja unutar proračuna i vremenskih ograničenja uz održavanje visokih standarda kvalitete.

Prije započinjanja radova na građevinskom projektu neophodno je uspostaviti smjernice kojima ćemo se voditi za vrijeme izvođenja projekta. Ove smjernice postavljaju se u fazi planiranja i uključuju proces definiranja, organiziranja i izradu rasporeda zadataka potrebnih za uspješan završetak građevinskog projekta na siguran i učinkovit način te unutar zadanog proračuna. Ključni koraci pri planiranju projekta [11,12]:

- Definiranje opsega projekta,
- Izrada 3D BIM modela,
- Izrada WBS-a,
- Izrada rasporeda aktivnosti,
- Raspodjela resursa,
- Identificiranje potencijalnih problema.

Koraci planiranja projekta u ovom sustavu s fokusom na BIM:

- Prikupljanje informacija o projektu,
- Stvaranje detaljnog 3D BIM modela,
- Definiranje aktivnosti i njihovog rasporeda u projektu i izrada dinamičkog plana,
- Povezivanje 3D BIM modela i dinamičkog plana u 4D BIM model,
- Pregled i optimizacija 4D modela i rasporeda ,
- Kontinuirano ažuriranje 4D BIM modela kroz cijeli ciklus projekta.

Prikupljanje podataka o projektu prije planiranja korak je koji postavlja temelje za uspješnu izvedbu projekta. Prikupljanje podataka pruža uvid u zahtjeve, ograničenja i ciljeve građevinskog projekta. Informacije kao što su uvjeti gradilišta, zakonski okviri, zahtjevi klijenata, proračunska ograničenja i rokovi projekta, omogućuju projektnim timovima razvijanje ostvarivih planova koji su u skladu s ciljevima projekta.

Izrada detaljnog 3D BIM modela za građevinske projekte omogućuje precizno planiranje i koordinaciju među različitim disciplinama uključenima u izgradnju. Proces počinje odabirom odgovarajućeg BIM softvera i uključuje modeliranje arhitektonskih, strukturalnih, te MEP sustava[12].

Izrada strukture plana primjenom WBS-a sljedeći je korak u organizaciji i planiranju projekata, pruža nam jasan i sistematičan prikaz svih aktivnosti koje su potrebne za njegovo uspješno izvršenje. WBS predstavlja rastavljanje projekta na manje, lako upravljive dijelove, što omogućuje bolje razumijevanje opsega rada i potrebnih resursa. Proces počinje jasnim definiranjem glavnog cilja projekta, koji služi kao temelj za daljnju podjelu na glavne faze ili komponente. Ove faze mogu obuhvaćati planiranje, izvođenje, kontrolu i završetak, i svaka od njih ima ulogu u ostvarivanju krajnjeg cilja. Nakon određivanja faza, svaka od njih se dalje razbija na manje grupe zadataka. Unutar svake grupe zadataka, definiraju se konkretne aktivnosti koje su potrebne za njegovo izvršenje. Slijedi uspostavljanje veza među aktivnostima što pomaže u razumijevanju kako se različite aktivnosti odnose jedna na drugu i koje moraju biti završene prije nego što druge mogu započeti. Također, važno je procijeniti trajanje svake aktivnosti, uzimajući u obzir potrebne resurse i radne sate, kako bi se stvorio realističan vremenski raspored za projekt. Završni korak u procesu je integracija definiranog WBS-a u softver za upravljanje projektima, što omogućava kontinuirano praćenje napretka, resursa i troškova.

Prethodno izrađeni raspored aktivnosti s vezama i trajanjem povezuje se s 3D BIM modelom u 4D BIM model. Na ovaj način našem 3D modelu dodajemo komponentu vremena i time dobivamo 4D model projekta. 3D BIM model se s dinamičkim planom povezuje kroz neki od 4D BIM softvera.

Identificiranje potencijalnih problema upotrebom 4D BIM modela važan je aspekt u upravljanju projektom. Kombinirajući prostorne informacije 3D BIM modela s vremenskim podacima planiranja projekta, 4D BIM model omogućuje sudionicima vizualizaciju procesa izgradnje tijekom vremena. Ova tehnologija omogućava ranu detekciju sukoba između različitih instalacija i komponenti, optimizaciju resursa te poboljšava komunikaciju i efikasnost na gradilištu [11]. Do potencijalnih problema dolazi prilikom postojanja sukoba („clashes“) između različitih elemenata građevinskog projekta, kao što su strukturne komponente, MEP sustavi ili građevinske aktivnosti. Integracijom informacija o rasporedu izvođenja aktivnosti u 3D model, sukobi vezani uz redosljed izvođenja aktivnosti, prostornu koordinaciju i dodjelu resursa mogu se identificirati i riješiti na vrijeme. To omogućuje projektnim timovima da ublaže rizike, optimiziraju tijekove rada i minimiziraju skupe prerade tijekom faze izgradnje.

Kako projekti napreduju, događaju se brojne promjene, od revizija dizajna do nepredviđenih uvjeta na lokaciji i prilagodbi rasporeda. Ažuriranje 4D BIM modela osigurava da svi sudionici imaju pristup najnovijim i točnim informacijama o statusu projekta, napretku i potencijalnim izazovima. Uključivanjem ovih ažuriranja u model, građevinski timovi mogu održati usklađenost s ciljevima projekta, ublažiti rizike i optimizirati tijek rada. Ažurirani 4D BIM modeli omogućuju sudionicima analiziranje razvoja procesa izgradnje u stvarnom vremenu, olakšavajući bolje donošenje odluka, poboljšanu komunikaciju i poboljšanu suradnju između projektnih timova. Održavanjem BIM modela ažurnim, projektni timovi mogu učinkovitije identificirati i riješiti moguće sukobe i odstupanja od planiranog rasporeda. Ažurnost modela nam u konačnici omogućuje lakše izvođenje projekta, smanjenje kašnjenja radova i u konačnici uspješno završavanje projekta.

Ovaj se rad ne dotiče detaljnog pristupa projektiranja BIM načinom, već ga objašnjava kroz korake koji predstavljaju metodologiju izrade modela koji će se koristiti za potrebe monitoringa. Hrvatska gospodarska komora izdala je Opće smjernice za BIM pristup graditeljstvu 2017. godine [13]. Ove smjernice pružaju detaljan uvid u BIM okruženje i metodologiju rada u BIM-u. Iako postoji već duže vrijeme, BIM je kao metoda rada i dalje u manjoj upotrebi u Hrvatskoj. To su u svom radu [14] zaključili Sonja Kolarić i suradnici pritom ukazavši na nedostatak zakonske regulative. Zaključno, hrvatsko tržište još uvijek nije spremno za zakonsku regulaciju BIM-a ni u kojoj fazi projekta jer bi uzrokovala krivu primjenu BIM-a (uglavnom samo kao računalni alat bez razumijevanja BIM procesa) te nezadovoljstvo poslovnih subjekata. Kada se promatraju koraci za lakšu primjenu BIM-a, Hrvatska je još uvijek na prvom koraku, a to je podizanje svijesti o važnosti BIM-a. Tek kad se podigne svijest i primjena bude na većoj razini zrelosti te postotku primjene, može se krenuti na izradu propisa, a onda i na zakonsku regulaciju.

Sljedeća digitalna tehnologija koja će biti korištena u metodi monitoringa objašnjenom u ovom radu jest fotogrametrija. Fotogrametrija je znanost i tehnika određivanja oblika, veličine ili položaja nekog objekta snimanjem, mjerenjem i interpretacijom fotografskih snimaka. Zasniva se na činjenici da snimka nastaje prema određenim geometrijskim i

optičkim zakonitostima, pa je njihovim poznavanjem moguće na osnovi snimke djelomično ili u potpunosti rekonstruirati snimljeni objekt [15]. Fotogrametrija je tehnika koja se koristi za stvaranje trodimenzionalnih modela objekata ili prostora pomoću niza preklapajućih fotografija. Uključuje snimanje slika koje međusobno imaju određeni preklop, zatim korištenjem fotogrametrijskog softvera poravnavanje tih slika radi identificiranja zajedničkih točaka i izradu gustog oblaka točaka. Softver zatim taj gusti oblak točaka koristi za stvaranje 3D mesh-a sa teksturama napravljenim od izvornih fotografija. Konačni model se georeferencira ukoliko za to postoji potreba te izvozi u nekom od brojnih podržanih 3D formata. Detaljniji proces izrade fotogrametrijskog modela biti će objašnjen kroz korake u podpoglavlju Obrada podataka.

Definiranjem digitalnih tehnologija koje su temelj sustava za monitoring građevinskih projekata definirane ovim radom, prelazimo na postavljanje samog sustava monitoringa. Sustav je prikazan dijagramom toka na slici 1, podijeljen je na četiri koraka koji su potrebni za uspješno obavljanje monitoringa. Monitoring započinje prikupljanjem podataka na terenu, prikupljeni podatci se zatim obrađuju u uredu, nakon toga slijedi analiza obrađenih podataka te izrada završnog izvješća. Svaki od ovih koraka biti će detaljnije obrađen u daljnjem tekstu. Svaki korak sustava objašnjen je kroz vlastito podpoglavlje.



Slika 1 Dijagram toka procesa monitoringa

3.2. Planiranje i priprema

Prvi korak u ovom sustavu monitoringa građevinskog projekta jest planiranje i priprema, a sve započinje jasnim definiranjem ciljeva monitoringa. To podrazumijeva utvrđivanje što točno želimo postići monitoringom, koje informacije su nam najvažnije i kako ćemo koristiti te informacije za donošenje odluka u procesu kontrole projekta. Nakon postavljanja ciljeva, važno je izraditi najjednostavniji mogući sustav koji će zadovoljiti potrebe monitoringa te time neće izlaziti iz granica budžeta predviđenog za monitoring. Koristeći projektnu dokumentaciju dobivamo uvid u opseg projekta i možemo jasno definirati što želimo obuhvatiti monitoringom, odnosno što ćemo točno koristiti kao pokazatelje kojima ćemo pratiti napredak projekta. U ovoj fazi koristimo BIM model koji nam pruža uvid u sve informacije o projektu te na temelju njega planiramo izvođenje procesa monitoringa. Također, za korištenje bespilotnih letjelica, neophodno je prikupiti sve potrebne informacije o propisima i dopuštenjima za letove u području gradilišta. To uključuje poznavanje lokalnih zakona i regulativa, kao i dobivanje svih potrebnih dozvola od nadležnih tijela. Pridržavajući se ovih propisa osiguravamo sigurno izvođenje operacije letenja te smanjujemo rizike od mogućih sigurnosnih i pravnih problema. Zakonska regulativa za bespilotne letjelice utjecati će na donošenje odluka o odabiru opreme kojom će se prikupljanje podataka obavljati stoga je potrebno biti upoznat sa svim zakonima prije prelaska na odabir opreme.

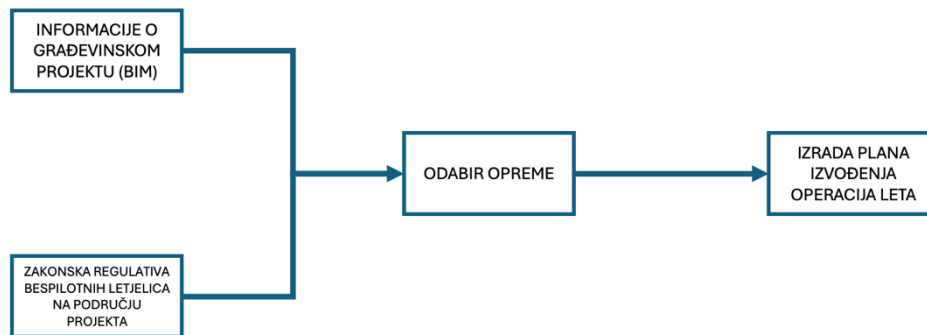
Odabir prave opreme za izvođenje operacija monitoringa predstavlja bitan korak u osiguravanju točnosti i kvalitete podataka koji se prikupljaju. Oprema se odnosi na izbor bespilotnih letjelica i tehnologija kojima one raspolažu. Posebno je važno pažljivo odabrati bespilotnu letjelicu, jer njezina učinkovitost ovisi o nekoliko ključnih čimbenika. Prvi i najvažniji čimbenik je kvaliteta kamere koja se koristi na bespilotnoj letjelici. Visokokvalitetna kamera omogućava precizno snimanje i detaljnu analizu prikupljenih podataka, što je od presudne važnosti za točnost fotogrametrijskih modela i drugih oblika dokumentacije. Drugi važan čimbenik je trajanje baterije. Dulje trajanje baterije omogućava duže letove i pokrivanje većih područja bez potrebe za čestim prekidima radi punjenja, čime se povećava efikasnost monitoringa. Navigacijske tehnologije koje koristi bespilotna letjelicu također igraju ključnu ulogu. Napredni navigacijski sustavi za

pozicioniranje omogućuju precizno planiranje ruta, pouzdano izvođenje automatskih letova i prikupljanje podataka, čime se osigurava konzistentnost i sljedivost podataka. Cijena opreme također je značajan čimbenik koji se mora uzeti u obzir. Iako visoka cijena može značiti bolju kvalitetu i naprednije tehnologije, važno je pronaći ravnotežu između cijene i kvalitete kako bi cijeli sustav monitoringa bio isplativ. Ukoliko je cijena opreme previsoka ili kvaliteta prikupljenih podataka ne zadovoljava standarde potrebne za analizu, cijeli sustav monitoringa postaje neisplativ. Stoga je nužno pažljivo procijeniti sve ove čimbenike prilikom odabira opreme, kako bi se osigurala visoka kvaliteta i učinkovitost monitoringa, čime se doprinosi uspješnom upravljanju građevinskim projektima.

Koristeći navigacijske tehnologije i senzore, bespilotne letjelice mogu pružiti centimetarsku preciznost prilikom izrade 3D modela gradilišta. Svaka fotografija bespilotnom letjelicom u sebi sadrži zapis o zemljopisnoj širini, dužini i visini koju dobije iz svog GPS sustava i senzora ugrađenih u samoj letjelici. U zapisu fotografije također se nalaze svi podatci iz senzora kamere te oni uz zemljopisne podatke pozicije drona omogućuju centimetarsku preciznost 3D modela. Kako bi bespilotna letjelica mogla imati precizan podatak o poziciji, odabir prave navigacijske tehnologije kojom letjelica raspolaže je neophodan korak.

Navigacija u bespilotnim letjelicama uključuje kombinaciju različitih tehnologija i sustava koji rade zajedno kako bi se bespilotna letjelica mogla precizno pozicionirati u prostoru. Bespilotne letjelice koriste Globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) za određivanje svog položaja na Zemlji. Ovaj sustav pruža veliku pokrivenost i omogućuje bespilotnoj letjelici primanje signala s više satelita iz različitih sustava (GPS, GLONASS, Galileo) koje koristi za izračunavanje vlastite pozicije u obliku zemljopisne širine, dužine i nadmorske visine. GNSS bespilotnim letjelicama pruža metarsku preciznost te samostalno nije dovoljan za izradu preciznih modela. Stoga je uz GNSS potrebno koristiti real-time (RTK) metodu mjerenja koja pruža korekcije GNSS podataka u stvarnom vremenu. Koristeći RTK mjerenja, zemljopisni podatci o lokaciji bespilotne letjelice te samim time i fotografija postaju centimetarski precizni. Za uspješan i precizan monitoring neophodna je upotreba bespilotne letjelice koja koristi navigacijske tehnologije i sustave GNSS i RTK.

Na slici 3 prikazan je dijagram toga koraka planiranja i pripreme. Tek kad smo prikupili informacije o projektu i zakonskoj regulativi te na temelju toga odabrali opremu koja će biti korištena, možemo započeti sa izradom plana izvođenja operacija leta.

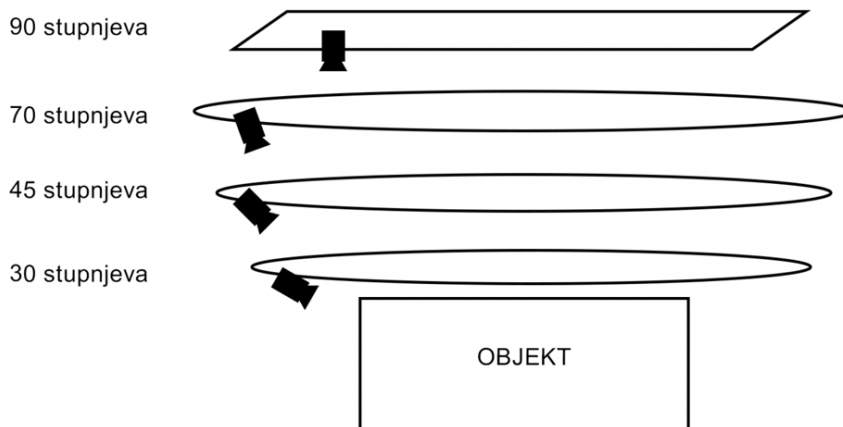


Slika 2 Dijagram toka planiranja i pripreme

Odabirom opreme koja će se koristiti za prikupljanje podataka ostvareni su svi preduvjeti za izradu plana izvođenja operacija leta. Korak planiranja leta obuhvaća izradu automatiziranih putanja leta bespilotnom letjelicom. Za postizanje najboljih rezultata pri izradi 3D modela bespilotnom letjelicom, bitno je odabrati pravilan omjer preklopa fotografija. Prednje preklapanje, također poznato kao longitudinalno preklapanje, u fotogrametriji odnosi se na preklapanje uzastopnih slika snimljenih duž putanje leta bespilotnih letjelica. Preporuča se da prednje preklapanje ne bude manje od 95 posto. Ovakvo značajno preklapanje osigurava pravilnu rekonstrukciju modela [16]. Bočno preklapanje odnosi se na preklap fotografija između putanji bespilotne letjelice. Optimalan bočni preklap fotografija za pravilnu rekonstrukciju modela je između 50 i 70 posto [16]. Ovakva količina preklopa olakšava proces triangulacije, koji je odgovoran za točno praćenje i podudaranje istih točaka na više slika. Kada postoji dovoljno preklapanja, softver

može učinkovitije identificirati zajedničke značajke na fotografijama, što dovodi do preciznije i detaljnije 3D rekonstrukcije.

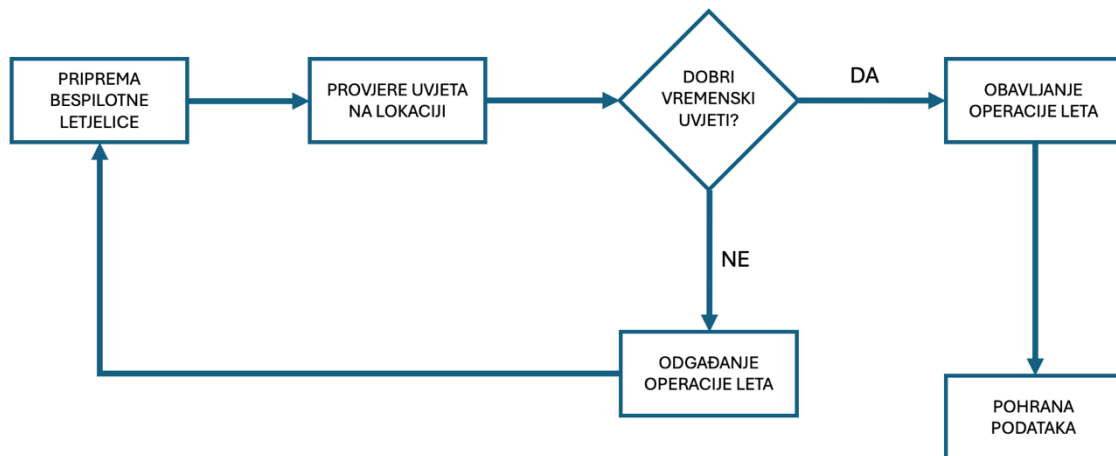
Uz osiguravanje dovoljno velikog preklopa fotografija za izradu 3D modela gradilišta, također je bitno i objekte fotografirati iz što više perspektiva. Stoga je bitno da se fotografijama obuhvati gradilište iz četiri različita kuta pogleda kamere i visine. Preporuča se prvom putanjom leta obuhvatiti s najviše visine objekt ravno prema dolje pod kutom od 90 stupnjeva. Zatim slijede putanje kruženja oko objekta s velike visine pod kutom od 70 stupnjeva, sa srednje visine s kutom kamere od oko 45 stupnjeva i niža visina s kutom od 30 stupnjeva. Ovaj pristup s više kutova i visina omogućuje softveru za fotogrametriju snimanje sveobuhvatnijih podataka, stvarajući realističniji i detaljniji 3D model subjekta. Grafički prikaz perspektiva iz kojih je potrebno prikupiti podatke prikazan je na slici 4.



Slika 3 Grafika prikaza kuteva pogleda kamere i visina

3.3. Prikupljanje podataka

Završetkom koraka planiranja i pripreme prelazimo na sljedeći korak, to je terensko prikupljanje podataka. Ovaj korak opisan je dijagramom toka na slici 5. Započinjemo provjerama prije samog leta, ove provjere obuhvaćaju provjeru bespilotne letjelice te provjeru vremenskih uvjeta na terenu odnosno lokaciji na kojoj se odvijaju operacije leta. Tek nakon obavljenih provjera i utvrđivanja pogodnih vremenskih uvjeta na terenu možemo započeti sa obavljanjem operacije leta u kojoj ćemo prikupljati podatke.



Slika 4 Dijagram toka prikupljanja podataka

Provjere prije leta bitan su korak u osiguravanju sigurnih i uspješnih letova bespilotnim letjelicama. Ove provjere uključuju sveobuhvatan pregled i provjeru letjelice te našeg radnog okruženja u kojem planiramo izvoditi operacije letova. Provjere započinjemo ispitivanjem fizičkog stanja letjelice osiguravajući da su sve komponente (propeleri, motori, kamera) bez znakova oštećenja. Zatim provjeravamo stanje baterija i njihovu napunjenost. Nakon pregleda fizičkog stanja drona, slijedi pregled funkcionalnosti svih senzora i GPS sustava letjelice. Uz sve to, potrebno je letjelicu održavati ažuriranu na posljednje verzije softvera.

Pregledom svih segmenata letjelice prelazimo na pregled vremenskih uvjeta te njihove prikladnosti za obavljanje operacija leta. Kod procjene vremenskih uvjeta potrebno je obratiti pozornost na brzinu vjetra, oborine i vidljivost. Posebnu pozornost treba posvetiti pregledu područja na kojem planiramo obavljati operacije leta kako bismo identificirali sve moguće prepreke i opasnosti.

Zadnji korak je osiguravanje da su ispunjeni svi zakonski uvjeti i pribavljene sve potrebne dozvole za obavljanje operacija leta bespilotnom letjelicom. Provođenjem detaljnih provjera prije operacija leta značajno smanjujemo rizike tehničkih problema i nesreća prilikom leta te to dovodi do sigurnijeg i učinkovitijeg rada bespilotnom letjelicom.

Završetkom svih provjera i priprema te osiguravanjem uvjeta pogodnih za obavljanje operacije leta možemo započeti sa procesom prikupljanja podataka. Proces započinje jasnim definiranjem područja prikupljanja podataka, ovaj korak radimo unutar softvera za planiranje leta proizvođača bespilotnih letjelica. Novije bespilotne letjelice imaju mogućnost autonomnih letova na definiranom području te automatskog prikupljanja podataka (fotografija) iz svih kutova na način opisan u pod poglavlju „Planiranje leta“.

Po završetku procesa prikupljanja podataka, podatke je potrebno prebaciti sa bespilotne letjelice u odgovarajuću pohranu podataka za daljnju upotrebu.

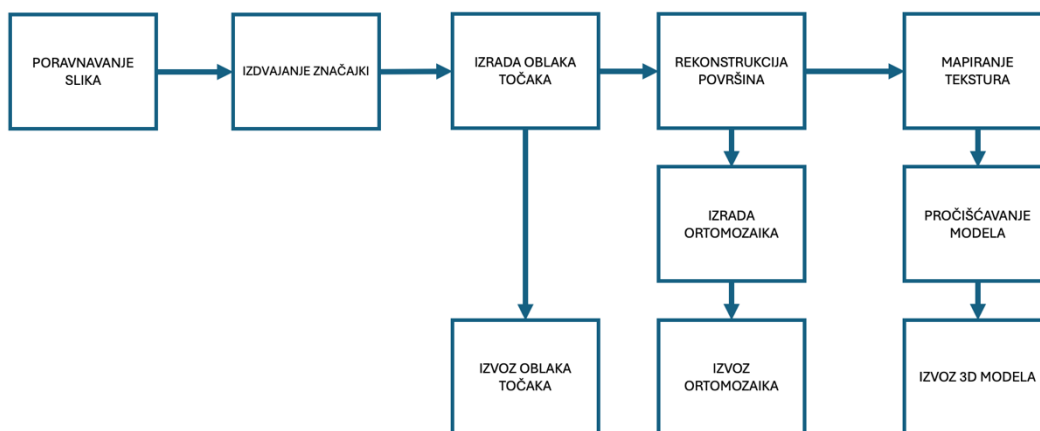
3.4. Obrada podataka

Prikupljene podatke potrebno je obraditi pomoću računalnih softvera kako bismo stvorili uvjete za njihovu analizu. Na slici 5 prikazan je dijagram toka obrade podataka, podatci prikupljeni na terenu ubacuju se u fotogrametrijski softver u kojem se izvodi korak obrade podataka, a rezultat obrade su izvezeni podatci u obliku oblaka točaka, ortomozaika i 3D modela. Svaki korak obrade podataka biti će objašnjen u ovom podpoglavlju.



Slika 5 Dijagram toka koraka obrade podataka

Obrada podataka započinje procesom organiziranja podataka. Podatke je sa bespilotne letjelice potrebno prenesti na računalo i organizirati na dosljedan način prema datumima obavljenih operacija leta te projektima. Prenesene fotografije je potrebno pregledati te izbaciti sve fotografije koje su mutne ili loše eksponirane, na taj način smanjujemo mogućnosti pogreške u 3D modelu. Dodatno, podatci iz fotografija kao što su GPS koordinate i postavke kamere provjeravaju se te po potrebi ispravljaju. Visokokvalitetne fotografije pojednostavljaju sljedeće korake poravnavanja slike te generiranja oblaka točaka (point cloud). Organizirane podatke ubacujemo u neki od softvera za fotogrametriju i započinjemo sa procesom obrade unutar softvera. Na slici 6 prikazan je dijagram toka koji prikazuje sve korake potrebne za izradu oblaka točaka, ortomozaika i 3D modela područja na kojem su operacije leta bile izvođene u svrhu monitoringa.



Slika 6 Dijagram toka obrade podataka u softveru za fotogrametriju

Poravnavanje slika korak je u procesu izrade fotogrametrijskog modela u kojem fotogrametrijski softver identificira i spaja zajedničke točke na slikama koje se preklapaju kako bi se model precizno rekonstruirao. Pomoću softvera za fotogrametriju kao što je Agisoft Metashape¹, Pix4D Mapper² ili RealityCapture³, uvezene slike se analiziraju kako bi se otkrile karakteristike koje se pojavljuju na više fotografija. Ove se značajke ili vezne točke koriste za generiranje prorijeđenog oblaka točaka koji predstavlja strukturu snimljenog područja. Tijekom ove faze softver izračunava položaje i orijentacije svake kamere u trenutku snimanja fotografija, stvarajući prostorni odnos između slika. Ovaj korak je bitan kako bi se osiguralo da je sljedeći 3D model geometrijski točan. Kvaliteta poravnanja slike izravno utječe na točnost konačnog modela, stoga je važno imati slike visoke kvalitete sa značajnim preklapanjem. Točnost poravnavanja fotografija se provjerava inspekcijom prorijeđenog oblaka točaka. Sve neusklađene fotografije ispravljaju se podešavanjem parametara ili ručnim dodavanjem kontrolnih točaka. Ovim

¹ Agisoft Metashape, URL: <https://www.agisoft.com> [7.9.2024.]

² Pix4D Mapper, URL: <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software> [7.9.2024.]

³ RealityCapture, URL: <https://www.capturingreality.com> [7.9.2024.]

putem osiguravamo točnu prezentaciju podataka koja je bitna za stvaranje gustog oblaka točaka (dense point cloud) i kasnijeg 3D modela.

Izradom prorijeđenog oblaka točaka stvoreni su preduvjeti za prelazak na sljedeći korak koji se također obavlja u softveru za fotogrametriju. Taj korak je izrada gustog oblaka točaka za detaljan 3D prikaz. Fotogrametrijski softver analizira preklapajuće fotografije i stvara gusti oblak točaka koji prikazuje sve detalje rekonstruiranog modela. Ovaj proces rezultira milijunima točaka s prostornim koordinatama i informacijama o boji, bitnim za precizne primjene poput topografskog mapiranja i arhitektonskog modeliranja. Sva odstupanja u modelu zatim se filtriraju kako bi se povećala točnost konačnog modela. Ovim korakom stvorili smo preduvjete za izradu 3D mesh-a i tekstura visoke rezolucije.

Koristeći gusti oblak točaka, fotogrametrijski softver izrađuje 3D mesh. Izrada 3D mesh-a uključuje međusobno povezivanje poligona u trokute koji tvore površine modela. Mesh predstavlja geometriju područja obuhvaćenog snimanjem. U ovom koraku optimizacija je često potrebna kako bi se postigla optimalna ravnoteža između detalja i veličine modela, smanjujući broj poligona uz zadržavanje potrebne kvalitete modela. Nakon što je mesh generiran, sljedeći korak je mapiranje tekstura. Ovaj proces uključuje primjenu informacija o boji i teksturi s izvornih slika na mesh, stvarajući realističan izgled. Softver za fotogrametriju projicira slike na površine mesh-a osiguravajući da su teksture ispravno usklađene s geometrijom modela. Teksture visokih rezolucija utječu na vizualni izgled završnog modela.

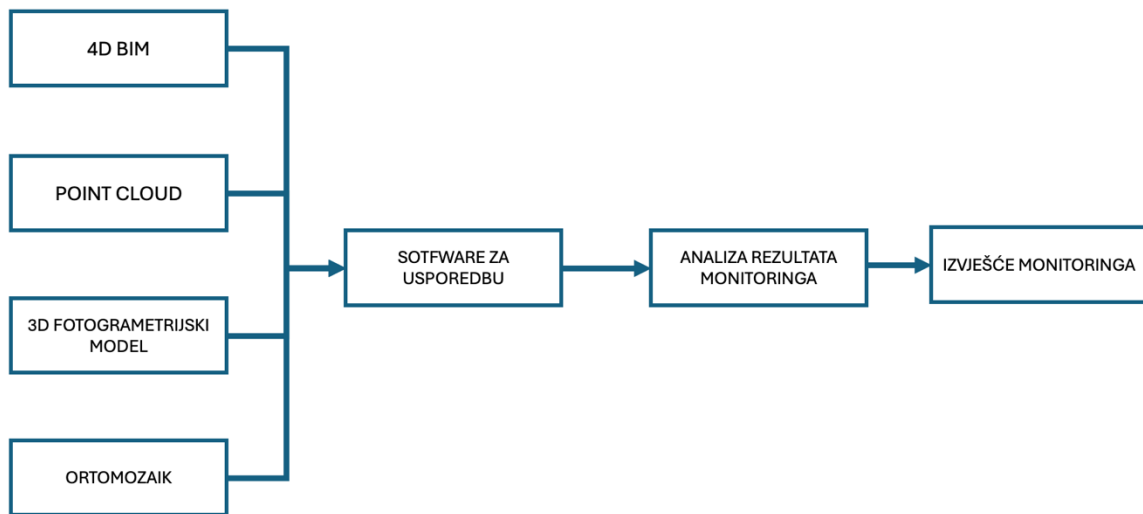
Nakon izrade 3D mesh-a i mapiranja tekstura model često zahtijeva završno usavršavanje koje obuhvaća uređivanje i čišćenje, georeferenciranje i završnu provjeru kvalitete. Uređivanjem i čišćenjem modela osiguravamo da su sve pogreške u modelu ispravljene. Zahvaljujući korištenju RTK sustava na bespilotnoj letjelici za vrijeme prikupljanja podataka 3D model se može precizno smjestiti u prostor i u sebi sadržavati koordinate iz stvarnog svijeta. Ovo je važna osobina 3D modela za primjenu u mapiranju, geodetskim mjerenjima i analizama koje koriste precizne lokacijske podatke. Za kraj usavršavanja modela preostaje završna provjera kvalitete koja se može odraditi usporedbom 3D modela sa poznatim mjerama sa lokacije.

Izvozom modela završava se proces obrade podataka. Jedan od podataka koji se izvozi je oblak točaka. Oblak točaka sastoji se od velikog broja točaka, svaka sa svojim skupom

koordinata te često i podataka o boji koji predstavljaju površinu fotografiranih objekata. Također jedan od rezultata obrade podataka može biti i ortomozaik, ortomozaik je slika velike rezolucije napravljena kombiniranjem preklapajućih fotografija koje su računalno ispravljene kako bi se eliminirala izobličenost i krivi podatci. Ortomozaici su korisni alat u mjerenju zemljanih radova. Krajnji rezultat fotogrametrijskog softvera je 3D model. Pročišćeni 3D model se izvozi u unaprijed dogovorenom formatu. Neki od odgovarajućih formata su OBJ, FBX, PLY, LAS ili STL. Odabir 3D formata ovisi o namjeni korištenja modela i platformi za dijeljenje i pregled modela.

3.5. Analiza podataka

Po završetku obrade svih prikupljenih podataka slijedi nam analiza istih. Korak analize podataka opisan je dijagramom toka na slici 7. Ovaj korak uključuje pregled 3D fotogrametrijskog modela kako bismo identificirali bilo kakve moguće nepravilnosti ili promjene te zabilježili napredak građevinskih radova. U ovom koraku imamo mogućnost korištenja raznih metoda za analizu podataka, kao što su mjerenja i usporedbe. Mjerenjima je moguće iskazati volumene iskopa i nasipa materijala, a metodu usporedbe možemo koristiti za usporedbu postojećeg stanja sa stanjem predviđenim prvotnim planom gradnje. Analizom podataka također možemo identificirati moguća odstupanja od planiranih radova. Ključni aspekt analize podataka je usporedba stvarnog stanja gradilišta, prikazanog u 3D modelu, s ugovorenim dinamičkim planom (gantogramom) i projektiranim nacrtima. Ova usporedba omogućava praćenje napretka u odnosu na planirane vremenske okvire i zadane ciljeve. Svaka razlika između stvarnog i planiranog stanja može ukazivati na potencijalne probleme ili kašnjenja, te omogućava pravovremenu intervenciju i korektivne mjere.



Slika 7 Dijagram toka analize podataka

Kako bismo BIM modele mogli usporediti s podacima prikupljenima na terenu, potreban nam je softver koji ima mogućnost prikazivanja obje vrste podataka. Različiti specijalizirani softverski alati koriste se za uspoređivanje ovih podataka omogućujući preklapajući prikaz podataka za obavljanje inspekcije konstrukcije. Među njima se ističu Autodesk Navisworks⁴, Bentley Systems SYNCHRO⁵, Trimble RealWorks⁶, Autodesk ReCap⁷ i Nira⁸. Ovi alati služe otkrivanju odstupanja, osiguravanju usklađenosti izvedenog stanja sa projektiranim, te u konačnici osiguravanju uspješnog ishoda projekta. Njihove sposobnosti omogućuju dionicima projekta donošenje informiranih odluka, izvođenje detaljnih analiza i provođenje potrebnih prilagodbi, osiguravajući da se građevinski projekti izvode uspješno i sigurno.

Nakon izvršene analize podataka, rezultati se sažimaju u izvješća koji se dostavlja svim dionicima projekta. Izvješća moraju biti lako razumljiva svim dionicima projekta te

⁴ Autodesk Navisworks, URL: <https://www.autodesk.com/products/navisworks> [7.rujna 2024.]

⁵ Bentley Systems SYNCHRO, URL: <https://www.bentley.com/software/synchro> [7.rujna 2024.]

⁶ Trimble RealWorks, URL: <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks> [7.rujna 2024.]

⁷ Autodesk ReCap, URL: <https://www.autodesk.com/products/recap> [7.rujna 2024.]

⁸ Nira, URL: <https://nira.app> [7.rujna 2024.]

sadržavati sve bitne informacije dobivene monitoringom. Ova izvješća mogu sadržavati vizualne prikaze, usporedbe s planovima te analizu ključnih pokazatelja. Vizualni prikazi omogućuju nam uvid u stvarno stanje gradilišta i olakšavaju dionicima razumijevanje podataka prikupljenih monitoringom. U vizualne prikaze spadaju 3D prikazi gradilišta, fotografije sa gradilišta ili ortofoto karte gradilišta. Usporedbom stanja s planiranom dinamikom projekta možemo prikazati odstupanja u projektu. Analizom ključnih pokazatelja izvršenosti dobivamo uvid u napredak radova. Ključni pokazatelji izvršenosti su definirani prilikom planiranja projekta te mogu uključivati pokazatelje kao što su količine upotrebljenih materijala, volumeni iskopa i napredak građenja u postotcima. Na temelju svih podataka moguće je identificirati postojeće i moguće buduće probleme i rizike koji mogu utjecati na daljnji tok radova. Uz identificirane probleme i rizike moguće je navesti i preporučene mjere za sprječavanje ili korekciju tih istih problema i rizika. Pripremljeno izvješće potrebno je dostaviti svih dionicima projekta. Ključno je osigurati svim dionicima pravovremeni pristup najnovijim informacijama prikupljenih monitoringom projekta. Izvješća predstavljaju osnovu za donošenje informiranih odluka i na taj način omogućuju dionicima bolje planiranje i prilagodbu resursa što pospješuje pravovremenu realizaciju radova.

3.6. Nedostatci bespilotnih letjelica u procesu monitoringa

Iako bespilotne letjelice nude brojne prednosti za nadzor gradilišta, postoje i neki nedostaci koje treba uzeti u obzir. Jedan značajan nedostatak su moguća zakonska ograničenja. Usklađenost sa zakonskim propisima može predstavljati ozbiljan izazov zbog stroge regulative operacija letenja bespilotnim letjelicama. Ovisno o lokaciji i propisima o zračnom prostoru, dobivanje dozvola za letove dronova može biti kompliciran proces. Propisi često mogu zahtijevati posebne dozvole, certifikate pilota i ograničenja zona operacija leta.

Osim toga, vremenski uvjeti kao što su jaki vjetrovi, kiša ili magla mogu ograničiti rad dronova, što može utjecati na prikupljanje podataka i nadzor gradilišta te odgodu prikupljanja podataka za neki drugi termin. Bespilotne letjelice koje su trenutno u upotrebi

osjetljivi su na nepovoljne vremenske uvjete, ali je to nešto što bi se moglo značajno promijeniti u sljedećih par godina sa novim i naprednijim bespilotnim letjelicama.

Složenost tehnologije bespilotnih letjelica i obrade podataka može zahtijevati specijaliziranu obuku ili stručnost, povećavajući početne troškove i zahtjeve za resursima. Operativna ograničenja, poput trajanja baterije, ograničavaju dronove na relativno kratko vrijeme leta koje je često u rasponu od 20 do 30 minuta. Ovo ograničenje može biti problematično za velika ili složena gradilišta, koja zahtijevaju više letova i česte izmjene baterija, što smanjuje učinkovitost.

Također, problemi vezani uz privatnost mogu nastati zbog upotrebe bespilotnih letjelica za nadzor lokacije, posebice u urbanim područjima ili osjetljivim lokacijama. Unatoč ovim nedostacima, uz pažljivo planiranje, bespilotne letjelice ostaju vrijedan alat za nadzor gradilišta, nudeći neusporediv uvid u napredak projekta i uvjete na gradilištu.

4. Korištenje sustava monitoringa na primjeru projekta „UPOV Cuvi“

4.1. Uvodno o projektu UPOV Cuvi

U Rovinju, kao i u mnogim drugim gradovima diljem svijeta, očuvanje okoliša i zaštita vodnih resursa igraju ključnu ulogu u održivom razvoju. U skladu s tim, implementacija modernog sustava za pročišćavanje otpadnih voda predstavlja važan korak u očuvanju okoliša i održivom upravljanju vodnim resursima. Novi sustav za pročišćavanje otpadnih voda u Rovinju obuhvaća niz tehnoloških procesa i infrastrukturnih mjera koje imaju za cilj uklanjanje štetnih tvari iz otpadnih voda prije nego što se te vode ispuste u okoliš. Tlocrtni prikaz 3D BIM modela UPOV (Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda) Cuvi prikazan je na slici 8. Glavni elementi ovog sustava uključuju:

Primarna obrada:

Ovaj korak uključuje uklanjanje krupnih čestica i čestica koje se lako talože iz otpadnih voda. To se obično postiže mehaničkim procesima kao što je filtriranje kroz rešetke i taloženje, gdje se čestice talože na dno bazena ili se filtriraju kroz rešetke.

Sekundarna obrada:

Nakon primarne obrade, otpadne vode prolaze kroz proces biološke obrade, gdje mikroorganizmi razgrađuju organske tvari u otpadnim vodama. Ovaj proces može uključivati aktivno muljenje ili proces aeracije, gdje se kisik ubrizgava u vodu kako bi se potaknuo rast korisnih bakterija.

Tercijarna obrada:

Ovaj korak je dodatni postupak pročišćavanja koji se koristi za uklanjanje preostalih nečistoća i onečišćenja iz otpadnih voda. To može uključivati procese poput filtracije, dezinfekcije ili kemijske precipitacije kako bi se postigla visoka razina čistoće vode prije njenog ispuštanja u okoliš.



Slika 8 BIM situacija UPOV Cuvri

4.1.1. Ugovoreni dinamički plan

Ugovorenim dinamičkim planom projekt UPOV-a Rovinj započeo je 24.08.2020., a planirani završetak radova bio je datum 30.11.2023. Dinamički plan je podijeljen na 3 cjeline: Izrada detaljnog programa projekta, projektiranje, Izgradnja. Ovaj rad obuhvaća praćenje i kontrolu zadnje cjeline projekta, a to je izgradnja. Sama cjelina izgradnje podijeljena je na dva glavna segmenta: „Garaža i povratni tlačni cjevovod“ i „UPOV“. Garaža služi Odvodnji Rovinj za servisiranje teretnih vozila, a izrada povratnog tlačnog cjevovoda zahtjeva građevinske zahvate na području grada Rovinja u ukupnoj duljini 6,6 kilometara. Povratni tlačni cjevovod služi za distribuciju pročišćene vode natrag prema Rovinju u svrhu zalijevanja zelenih površina na području grada. Segment „UPOV“ obuhvaća izgradnju preostalih 5 zgrada postrojenja, izradu novih cjevovoda na području uređaja za pročišćivanje otpadnih voda te uređenje internih prometnica i okoliša parcele postrojenja. Nadalje, dinamički plan izgradnje svake od zgrada podijeljen je po vrstama građevinskih radova.

U svrhu ovog rada, dinamički plan je pojednostavljen na građevinske radove koji su se mogli pratiti upotrebom bespilotnih letjelica. To su svi radovi koji se ne odnose na završne

unutarnje radove, strojarske i elektro radove. U nastavku su navedene sve vrste radova koje obuhvaća praćenje i kontrola u ovom radu:

- Pripremni i zemljani radovi
- Betonski i armiranobetonski radovi
- Izolaterski radovi
- Fasaderski radovi
- Limarski radovi
- Bravarski radovi

4.2. Monitoring na projektu UPOV Cuvi

Praćenje građevinskog projekta u Rovinju za investitora obavljala je tvrtka Vectrino d.o.o.⁹ iz Rijeke. Tvrtka je koristila napredne metode za praćenje napretka građenja, a to je značilo periodična snimanja gradilišta pomoću bespilotne letjelice, što je rezultiralo stvaranjem visokokvalitetnog fotogrametrijskog 3D modela. Ova su snimanja izvođena u redovitim razmacima od dva tjedna, omogućujući kontinuirani nadzor i detaljno praćenje razvoja gradilišta. Zahvaljujući ovoj inovativnoj tehnologiji, investitor je imao precizan i sveobuhvatan uvid u napredak radova, čime su se mogli osigurati visoki standardi kvalitete i učinkovitosti na projektu.

Proces periodičnog praćenja uvijek se provodio na isti način, slijedeći točno definiranu proceduru koja je teorijski postavljena u prethodnom poglavlju metodologije praćenja gradilišta. Ovaj pristup osigurao je dosljednost, sljedivost i visoku kvalitetu fotogrametrijskog 3D modela. Postupak je uključivao nekoliko ključnih faza: prikupljanje podataka na terenu bespilotnom letjelicom, njihovu detaljnu obradu u uredu te konačno dostavljanje obrađenih podataka investitoru. Svaka faza bila je pažljivo planirana i izvedena, čime se jamčila preciznost i pouzdanost podataka. Korištenjem ovakve metodologije, investitor je mogao računati na visoku razinu informiranosti i kontrolu nad napretkom gradilišta. U sljedećem dijelu teksta detaljnije ću objasniti proces jednog takvog snimanja stanja gradilišta i hodogram aktivnosti koje su bile potrebne da se praćenje gradilišta uspješno izvrši.

⁹ Vectrino d.o.o., URL: <https://www.vectrino.hr> [7.9.2024.]

Proces monitoringa započinje prikupljanjem podataka. Ovaj korak zahtijeva odlazak operatera na lokaciju gradilišta kako bi se izvela operacija leta bespilotnom letjelicom. Let se izvodi automatizirano prema unaprijed dogovorenim putanjama letenja, pod stalnim i pažljivim nadzorom operatera. Ovakvo automatizirano obavljanje letova omogućava dosljednost, sljedivost i jednako visoku kvalitetu tijekom periodičnih praćenja napretka gradilišta. Korištenjem bespilotne letjelice, podaci o gradilištu prikupljaju se stvaranjem fotografija visoke kvalitete. Zahvaljujući naprednim sustavima pozicioniranja na bespilotnim letjelicama, ove se fotografije snimaju s centimetarskom preciznošću, što omogućuje kasnije stvaranje izuzetno preciznog i kvalitetnog 3D modela gradilišta. Takva razina preciznosti i kvalitete ključna je za detaljan nadzor i analizu napretka građevinskih radova, osiguravajući da investitor ima pouzdane i točne informacije u svakom trenutku.

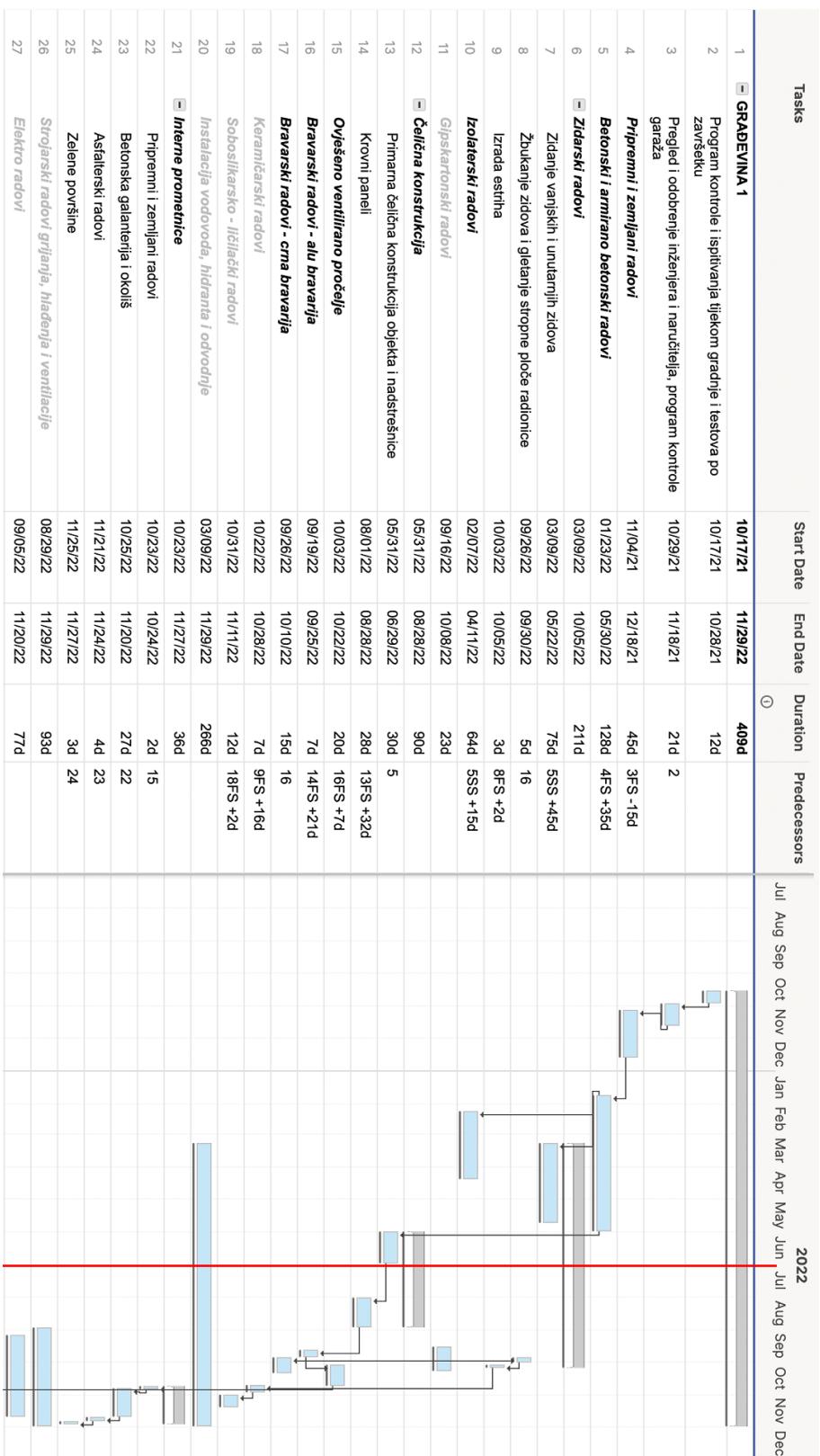
Po završetku prikupljanja podataka bitno je podatke prenesti sa drona na računalo te organizirati podatke na jasan i sljediv način. Nakon što su podaci organizirani, pristupa se njihovoj obradi korištenjem jednog od dostupnih fotogrametrijskih softverskih alata. Ovi programi koriste fotografije visoke rezolucije za generiranje trodimenzionalnog modela gradilišta. Proces obrade uključuje nekoliko ključnih faza: poravnanje fotografija, generiranje oblaka točkica, izradu 3D modela i izradu tekstura tog istog modela. Svaka od ovih faza pridonosi stvaranju detaljnog i preciznog 3D modela koji vjerno prikazuje stanje na terenu. Korištenjem ovih tehnika, osiguravamo da konačni model bude visoke kvalitete i točnosti, čime se omogućuje precizna analiza i praćenje napretka građevinskog projekta.

Nakon što je 3D model obrađen, potrebno je provesti temeljitu provjeru njegove kvalitete i točnosti prije nego što se podaci dostave investitoru. Svaki fotogrametrijski model pažljivo se pregledava kako bi se identificirali i otklonili eventualni problemi ili nedostaci. Ova faza uključuje detaljnu analizu modela kako bi se osiguralo da sve dimenzije i proporcije odgovaraju stvarnom stanju na gradilištu. Mogući problemi, poput pogrešaka u podacima ili neskladnosti u modelu, otklanjaju se prije finalne isporuke rezultata praćenja. Ovaj proces kontrole kvalitete ključan je za osiguravanje da investitor dobije točne, pouzdane i visokokvalitetne informacije koje su neophodne za donošenje informiranih odluka i praćenje napretka građevinskog projekta.

4.3. Usporedba ugovorenog (planiranog) dinamičkog plana s izvedbenim stanjem radova na primjeru UPOV Cuvi

U ovom poglavlju, usporediti ću ugovoreni dinamički plan gradilišta sa stvarnim izvedenim stanjima na jedan od datuma snimanja projekta u Rovinju. Cilj ove usporedbe je pružiti vizualan pregled stanja građevinskog projekta na datum snimanja i prikazati mogućnosti sustava monitoringa definiranog ovim radom kao alata za vizualni pregled stanja građevinskog projekta. Ova snimanja omogućila su stvaranje detaljnih fotogrametrijskih 3D modela, koji će biti korišteni za vizualnu analizu napretka u odnosu na ugovoreni dinamički plan. Ugovoreni dinamički plana bit će uspoređen sa stvarnim stanjem projekta kako bi se utvrdile eventualne razlike. BIM model građevinskog projekta izradila je tvrtka Vectrino d.o.o. BIM modeli svih građevina podijeljeni su prema fazama gradnje te odgovaraju ugovorenom dinamičkom planu. Zbog usklađenosti BIM modela i ugovorenog dinamičkog plana, moguće je prikazati ugovoreno stanje 3D modelom na datum obavljanja snimanja u svrhu monitoringa građevinskog projekta.

U analizi fotogrametrijskog modela koji obuhvaća radove napravljene do 3.7.2022. fokusirati ću se na radove koji se obavljaju na tri građevine. Za svaku građevinu biti će prikazan gantogram ugovorenog dinamičkog plana, pogled na BIM model koji prikazuje ugovoreno stanje na datum snimanja te 3D fotogrametrijski model stvarnog stanja na datum snimanja. Radi jednostavnijeg prikaza, građevine su numerirane brojevima od jedan do tri. Na slici ispod prikazan je gantogram Građevine 1, na gantogramu crvena linija označava datum snimanja.

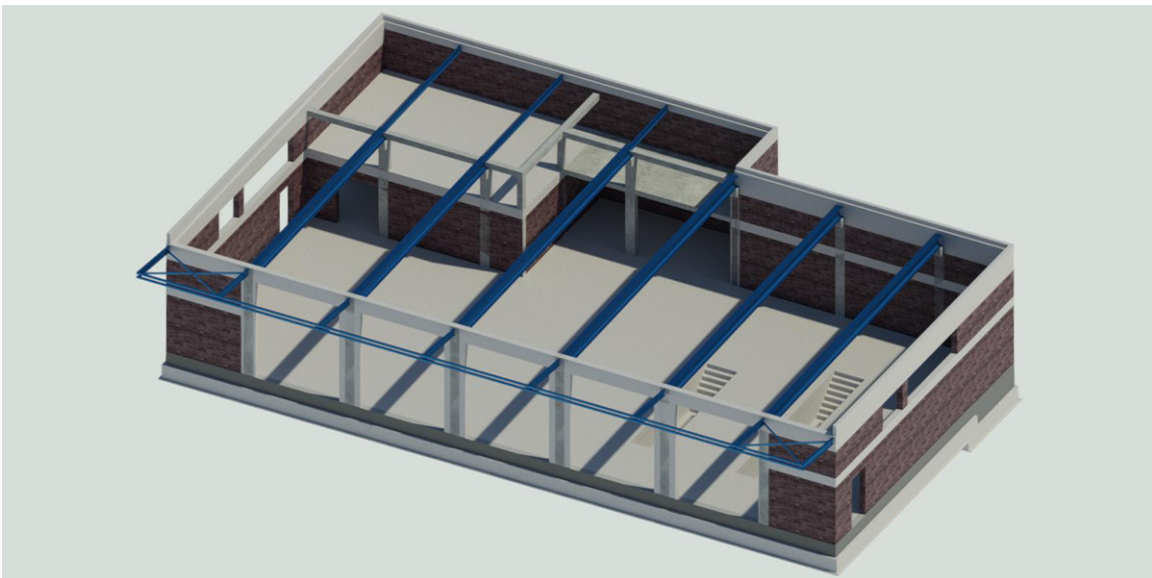


Slika 9 Gantogram Građevine 1

Analizirajući gantogram Građevine 1, može se primjetiti da je do datuma snimanja predviđen završetak sljedećih radova: betonski i armirano betonski, radovi zidanja vanjskih i unutarnjih zidova, izolaterski radovi te primarna čelična konstrukcija objekta i nadstrešnice. Ovo su radovi na koje će se fokusirati u usporedbi planiranog stanja sa stvarnim stanjem sa gradilišta. Stanje planirano gantogramom prikazano je BIM modelom, a stvarno stanje fotografijama koje su korištene za fotogrametrijski model. Slike ispod prikazuju stanje radova na Građevini 1 na promatrani datum, uz svaku sliku prikaza stvarnog stanja, prikazano je i planirano stanje slikom BIM modela.



Slika 10 Pogled s prednje strane na Građevinu 1



Slika 11 Pogled s prednje strane BIM modela Građevine 1



Slika 12 Pogled sa stražnje strane Građevine 1



Slika 13 Pogled sa stražnje strane BIM modela Građevine 1

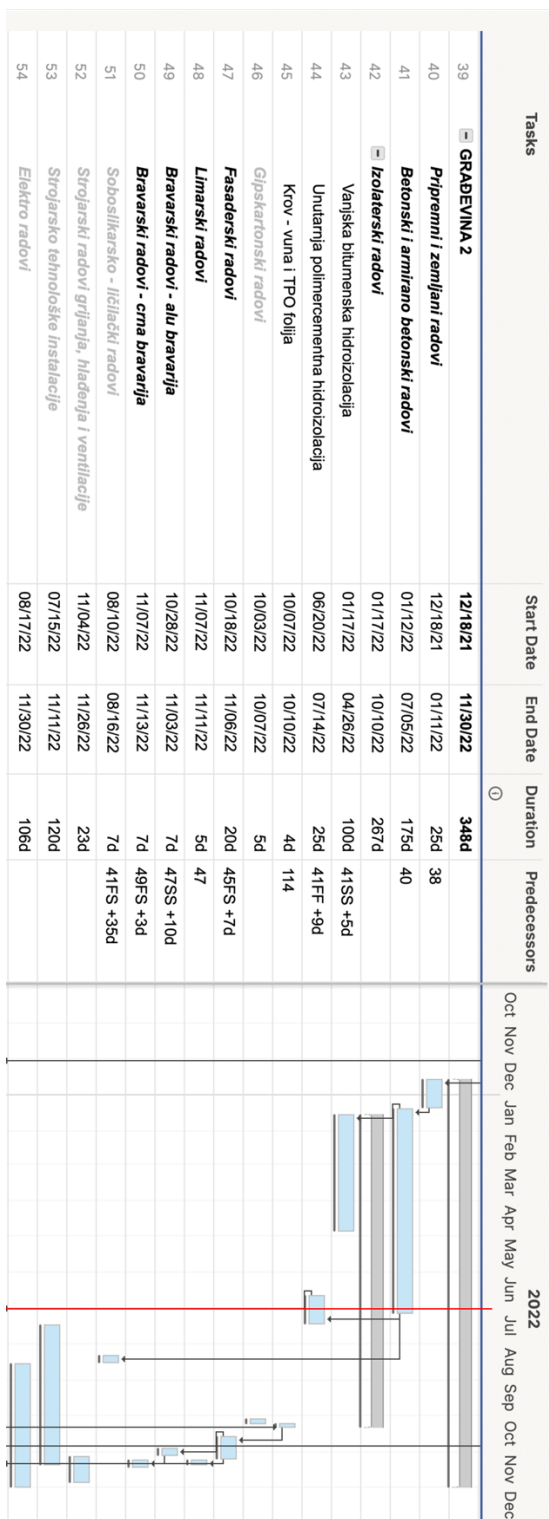
Uspoređujući planirani i stvarni napredak na gradilištu, može se steći uvid u dinamiku građenja i trenutno stanje provedenih radova. Analiza fotogrametrijskog modela pokazuje da su betonski i armirano betonski radovi uspješno dovršeni prema zadnjem snimljenom stanju na datum 3. srpnja 2022. Ovi radovi obuhvaćaju temelje i strukturalne elemente koji su ključni za stabilnost objekta. Paralelno s tim, završeni su i radovi na zidanju vanjskih i unutarnjih zidova, čime je objekt dobio svoj osnovni oblik i podjelu prostora. Dodatno,

izolaterski radovi, koji su od važnosti za zaštitu zgrade od proboja vode, također su završeni.

U međuvremenu, radovi na primarnoj čeličnoj konstrukciji, koji su prema ugovorenom gantogramu započeli završetkom betonskih i armirano betonskih radova, i dalje su u tijeku. Prema najnovijim fotografijama s terena, većina čelične konstrukcije je postavljena, ali još uvijek preostaju neki segmenti, posebno nadstrešnica koja zahtijeva dodatne radove na montaži. Nadstrešnica, koja je dizajnirana da pruži zaštitu od vremenskih uvjeta, element je koji će biti dovršen u nadolazećim fazama.

Ovi podaci pružaju informacije neophodne za daljnje planiranje i prilagodbu vremenskih rokova, a isto tako i za optimizaciju resursa kako bi se osiguralo da se projekt dovrši unutar zadanih financijskih i vremenskih okvira.

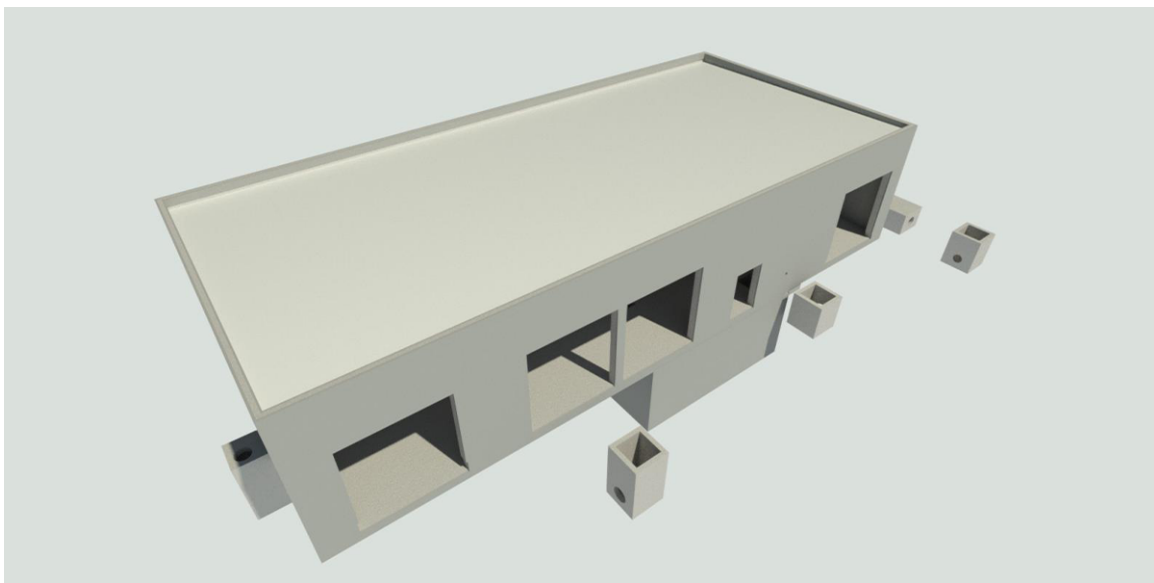
Slijedi nam analiza stanja radova na Građevini 2. Na slici 14 prikazan je gantogram Građevine 2 sa vertikalnom crvenom linijom koja prikazuje trenutak snimanja. Iz njega možemo iščitati da su aktivnosti betonskih i armirano betonskih radova u trenutku snimanja stanja gradilišta bili su u završnim fazama te im je predviđeni rok za završetak 5. srpanj 2022. Ovi radovi uključuju izradu temelja, svih vanjskih i unutarnjih zidova te krovne ploče. Usporedno s njima, odvijali su se radovi vanjske bitumenske hidroizolacije koja štiti temelje i donju etažu zgrade od prodora vode i vlage te je njihov predviđeni rok završetka bio 26. travanj 2022. Aktivnost unutarnje polimer cementne hidroizolacije nije moguće pratiti ovom tehnikom monitoringa s obzirom da se radi o unutarnjim radovima, te tu vidimo nedostatke ovog sustava monitoringa radova.



Slika 14 Gantogram Građevine 2



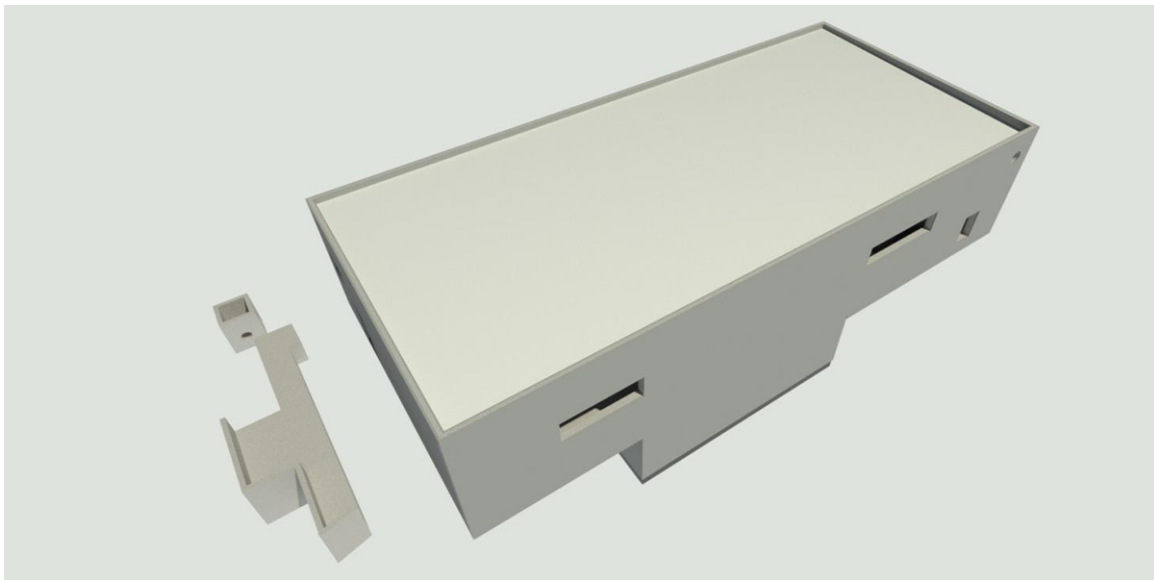
Slika 15 Pogled s prednje strane na Građevinu 2



Slika 16 Pogled s prednje strane na BIM model Građevine 2



Slika 17 Pogled sa stražnje strane na Građevinu 2

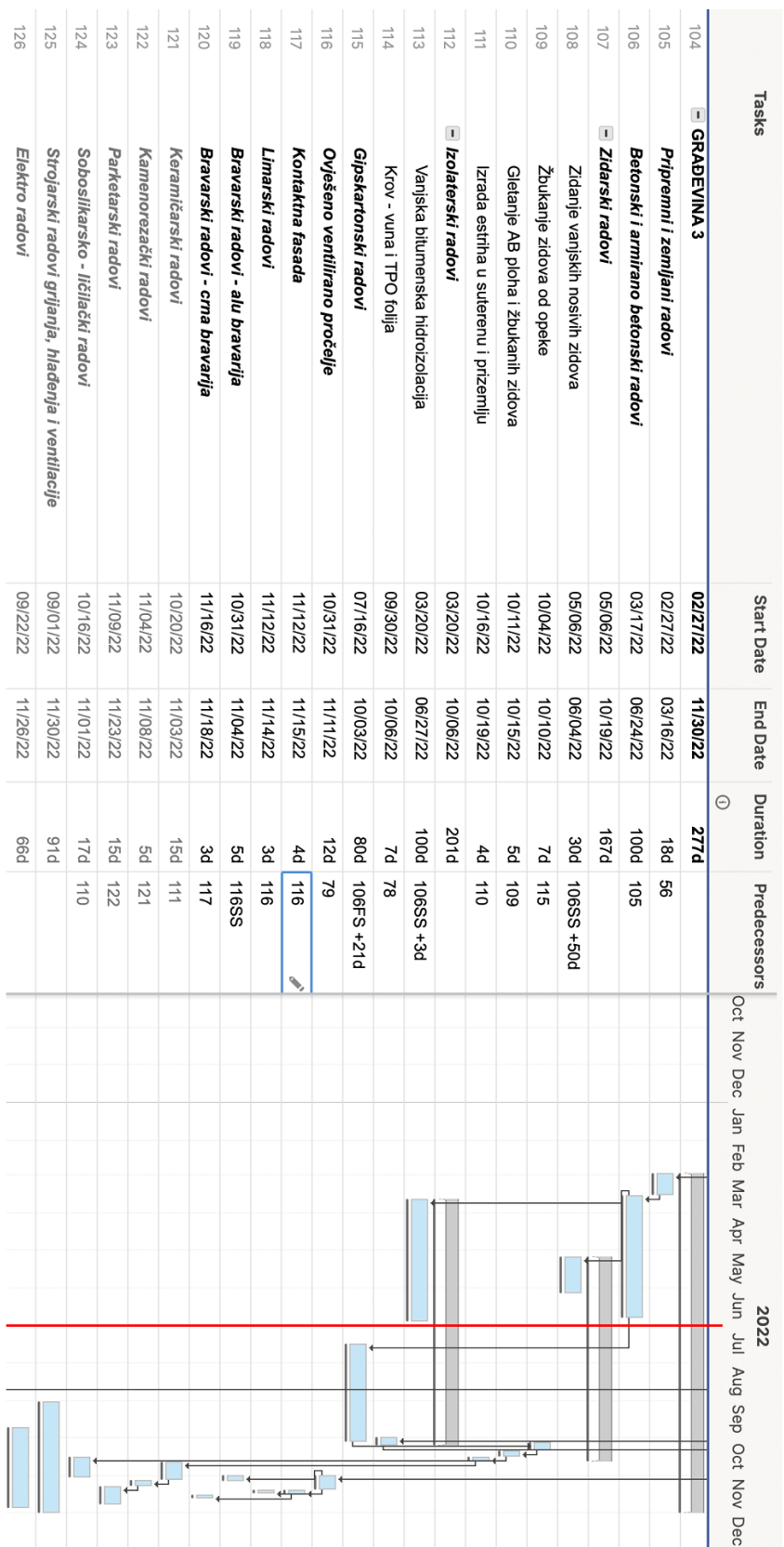


Slika 18 Pogled sa stražnje strane na BIM model Građevine 2

Analizom fotogrametrijskog modela Građevine 2 u odnosu na planirano stanje prikazano BIM modelom, možemo procijeniti napredak i trenutno stanje gradilišta. Iz dostupnih podataka vidljivo je da su betonski i armirano betonski radovi uspješno dovršeni. Aktivnost koja se trenutno odvija je skidanje oplata, što je ključan korak nakon lijevanja betona. Oplata je uklonjena sa većine zgrade, osim manjeg dijela krovne atike. Postoji mogućnost da je oplata bila uklonjena kasnije istog dana snimanja ili u narednim danima, ovisno o

planu rada i stvrđivanju betona. Fotografije također pokazuju da je sušenje betona u tijeku, proces koji je važan za postizanje optimalne čvrstoće betona i njegovu dugotrajnost. Važno je redovito komunicirati s izvođačem radova kako bi se potvrdilo da proces sušenja ide prema planiranom rasporedu.

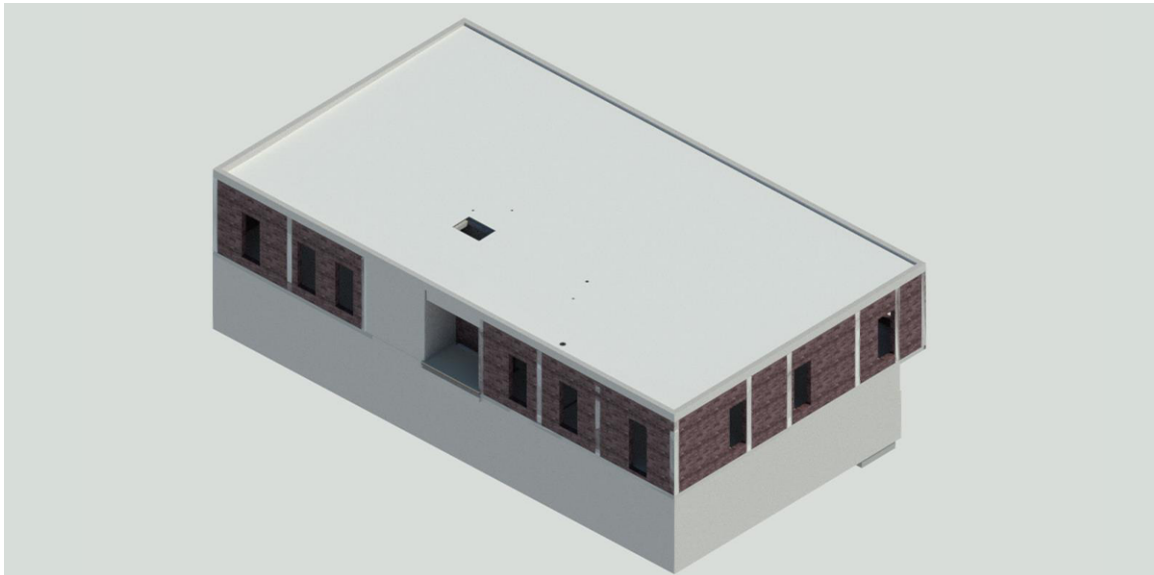
Nakon analize stanja na građevini 2 pažnju prebacujemo na posljednju, Građevinu 3. Na ovoj građevini primjećujemo usporedno odvijanje nekoliko aktivnosti, a to su betonski i armirano betonski radovi, zidanje vanjskih nosivih zidova te vanjska bitumenska hidroizolacija. Svim ovim aktivnostima predviđeni kraj radova bio je prije snimanja stanja na datum 3. srpnja 2022. Pregledom gantograma građevine možemo vidjeti planiranu usklađenost aktivnosti projekte. Ove informacije možemo iščitati iz gantograma upravne zgrade na slici 19 ispod.



Slika 19 Gantogram Građevine 3



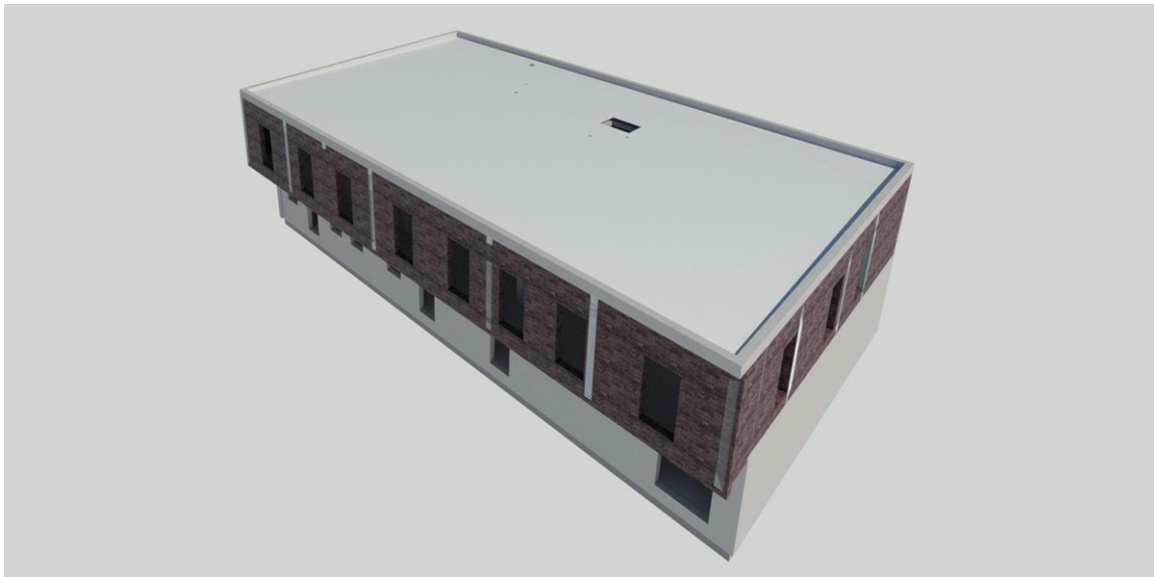
Slika 20 Pogled na Građevinu 3 sa prednje strane



Slika 21 Pogled na prednju stranu BIM modela Građevine 3



Slika 22 Pogled na Građevinu 3 sa stražnje strane



Slika 23 Pogled na stražnju stranu BIM modela Građevine 3

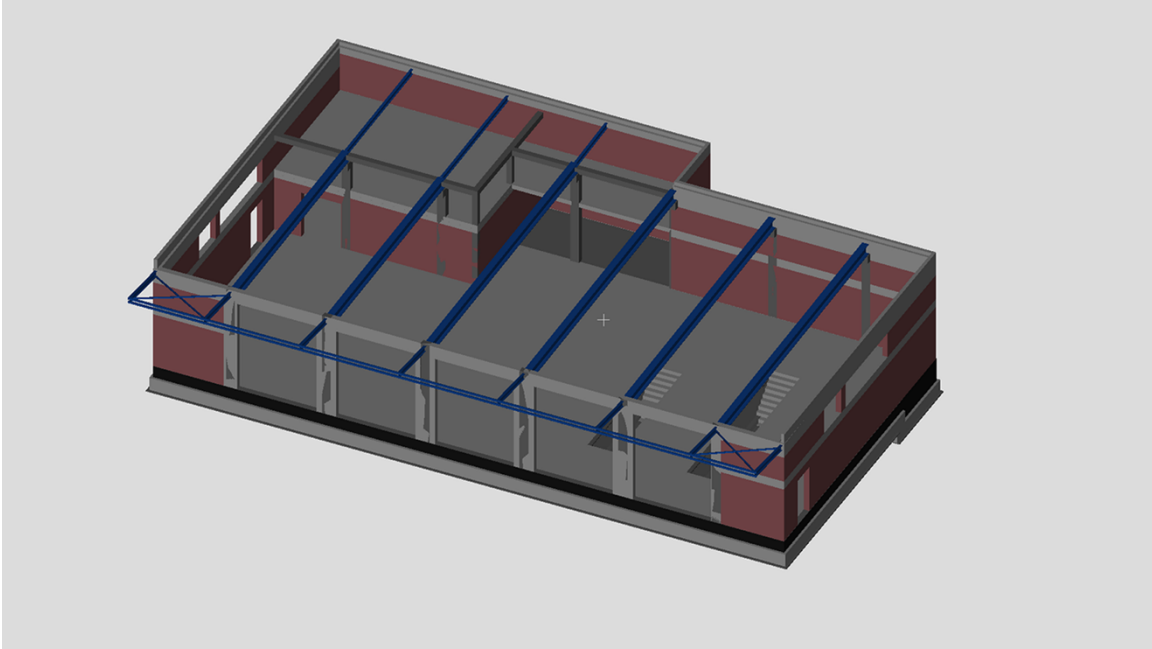
Usporedbom fotogrametrijskog i BIM modela moguće je izvući zaključke o aktivnostima na Građevini 3. Vidljivo je da su betonski i armirano betonski radovi privedeni kraju te da je preostalo skidanje oplata i proces sušenja betona. Ovdje vrijedi isto kao i za Građevinu 2, gdje je potrebno u komunikaciji sa izvođačem radova utvrditi točno stanje aktivnosti skidanja oplata i sušenja betona. Paralelno s radovima na betonu, odvijala se i aktivnost zidanja vanjskih nosivih zidova. Usporedbom trenutnog stanja s planiranim, uočljivo je da

su ti radovi također privedeni kraju. Završetak zidanja vanjskih zidova znači da je građevina sada spremna za daljnje faze gradnje, kao što su unutarnje instalacije i završni radovi. Dodatno, radovi na vanjskoj bitumenskoj hidroizolaciji, koji su ključni za zaštitu zgrade od prodora vode i vlage, također su završeni. Ovi radovi su izuzetno važni jer štite temelje i donje dijelove zgrade od potencijalnih oštećenja uzrokovanih vodenim utjecajima. Usporedbom fotogrametrijskog i BIM modela, možemo zaključiti da su radovi na hidroizolaciji privedeni kraju.

Sve ove podatke koje koristimo za analizu stanja možemo preklopiti te dobiti prikaz planiranih i stvarno izvedenih radova. Georeferencirane BIM podatke možemo s lakoćom preklopiti sa georeferenciranim oblakom točaka te takav preklop podataka koristiti za analizu. Na slikama ispod prikazan je preklop BIM modela Građevine 1 i oblaka točaka dobivenog obradom podataka prikupljenih na terenu 3. srpnja 2022.



Slika 24 Pogled s prednje strane na oblak točaka Građevine 1



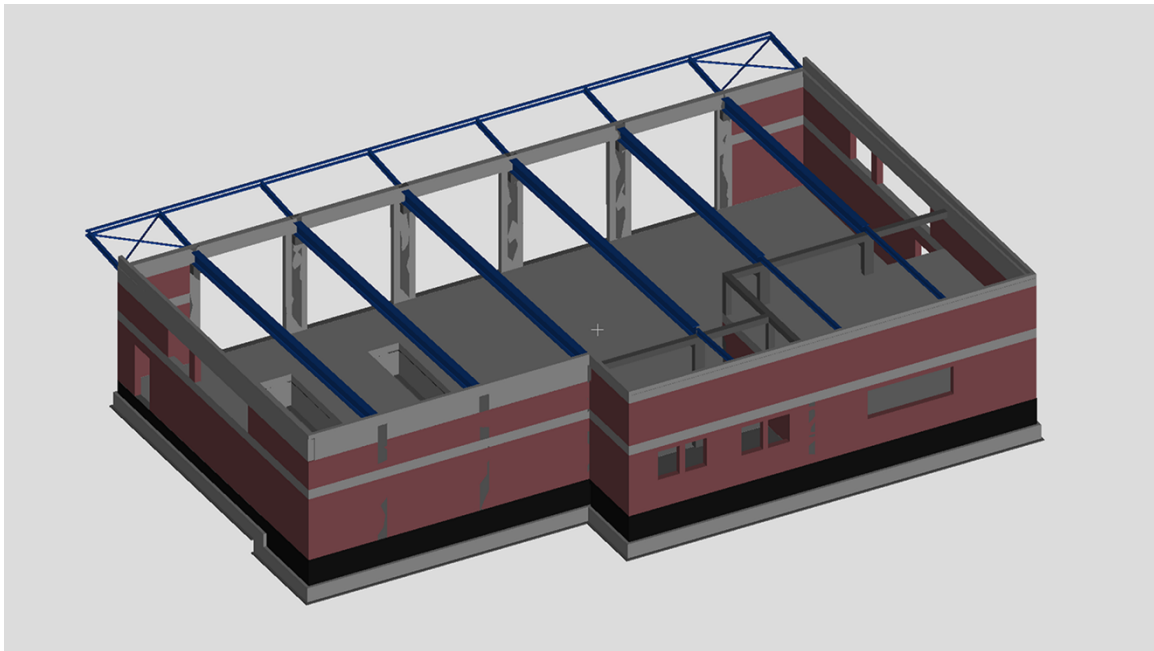
Slika 25 Pogled s prednje strane na BIM model Građevine 1



Slika 26 Preklapanje oblaka točaka i BIM modela Građevine 1



Slika 27 Pogled sa stražnje strane na oblak točaka Građevine 1



Slika 28 Pogled sa stražnje strane na BIM model Građevine 1



Slika 29 Preklapanje oblaka točaka i BIM modela Građevine 1

Preklapanjem BIM modela s oblakom točaka omogućuje nam uvid u građevinski projekt koji kombinira planirano stanje i stvarno izvedeno stanje. Ovim podacima imamo mogućnost vizualno provjeriti točnost vremenskog plana i njegova odstupanja. Ova usporedba pomaže identificirati odstupanja između izvedenog stanja i projektnog modela, olakšavajući rano otkrivanje pogrešaka ili odstupanja koja bi možda trebala biti ispravljena. Također ovime dobivamo detaljan digitalni zapis zgrade koji će se moći koristiti u daljnjim održavanjima i upravljanjima. Svi strukturni elementi imaju precizan zapis lokacije, a to uz kontrolu može doprinesti lakšem renoviranju i popravljanju u budućnosti.

5. Zaključak

Ovim radom razvijen je sustav za monitoring građevinskih projekata koji koristi digitalne alate, a može biti univerzalno primjenjiv na građevinske projekte. Njegova univerzalna primjenjivost može dovesti do unaprijeđenja građevinskih procesa. Upotreba ovog sustava predstavljena je na primjeru projekta u Rovinju. Radom je prikazana mogućnost integracije digitalnih alata, poput bespilotnih letjelica, fotogrametrije i BIM-a, u sustav monitoringa građevinskih projekata. Bespilotne letjelice pružaju mogućnost prikupljanja preciznih podataka s gradilišta koje se zatim obrađuju pomoću fotogrametrijskih softvera u oblake točaka i detaljne 3D modele gradilišta. Ovakvi modeli pružaju mogućnost vizualnih usporedbi sa planiranim stanjem gradilišta prikazanog BIM modelom. Vizualnom usporedbom planiranog i stvarno izvedenog stanja dionici projekta imaju mogućnost jasnijeg razumijevanja stanja aktivnosti koje se izvode na gradilištu te mogućnost pravovremenog otkrivanja potencijalnih problema. Praktična primjena razvijenog sustava monitoringa prikazana je na projektu UPOV Cuvi u Rovinju gdje je ugovoreni dinamički plan uspoređen sa stvarnim stanjem na gradilištu. Oblak točaka izrađen od podataka prikupljenih na terenu prikazuje stvarno stanje projekta, a uspoređen je sa BIM modelom koji prikazuje planirano stanje u vremenskom trenutku u kojem su prikupljeni podatci na terenu. Razvijeni sustav monitoringa građevinskih projekata nudi mogućnost monitoringa projekta kroz njegov životni vijek. Stoga imamo mogućnost pratiti moguće promjene ili oštećenja na građevini koje se pojave tokom životnog vijeka projekta. Također nam ovi podatci mogu biti od velike koristi za eventualne popravke i buduće renovacije. Zbog načina na koji se podatci prikupljaju ovim sustavom, njihovo prikupljanje je moguće djelomično automatizirati. Djelomična automatizacija procesa prikupljanja podataka dodatno povećava učinkovitost ovog sustava.

Usvajanje novih digitalnih alata, kao što su bespilotne letjelice, fotogrametrija i BIM, pokazuje značajne prednosti u poboljšanju nadzora građevinskih projekata. Unatoč tome, postoje i određeni izazovi, poput visokih početnih ulaganja u opremu i obuku kadrova, koji predstavljaju prepreku široj primjeni ovakvih sustava. No, unatoč tim izazovima, prednosti u smislu točnosti podataka i njihovoj širokoj mogućnosti primjene tokom životnog vijeka građevina jasno ukazuju na potrebu za daljnjim razvojem i implementacijom digitalnih alata u građevinskoj industriji.

6. Literatura

- [1] Gamil, Y., Alhajlah, H., Kassem, M.A. (2023). Automated Project Progress Monitoring in Construction Projects: A Review of Current Applications and Trends. In: Al-Sharafi, M.A., Al-Emran, M., Al-Kabi, M.N., Shaalan, K. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Emerging Technologies and Intelligent Systems. ICETIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 584. Springer
- [2] Orešković, M.: Construction project monitoring, GRAĐEVINAR, 71 (2019) 11, pp. 965-973
- [3] Nakanishi Yutaro, A Review of Monitoring Construction Equipment in Support of Construction Project Management, Frontiers in Built Environment, 7, 2022
- [4] Geraldi, J. and Lechter, T. (2012), "Gantt charts revisited: A critical analysis of its roots and implications to the management of projects today", International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 5 No. 4, pp. 578-594.
- [5] Zakon o gradnji (Narodne novine, br. 153/13, 20/17, 39/19 i 125/19)
- [6] Pravilnik o načinu provedbe stručnog nadzora građenja, uvjetima i načinu vođenja građevinskog dnevnika te o sadržaju završnog izvješća nadzornog inženjera (Narodne novine, br. 131/2021-2204)
- [7] Pravilnik o održavanju građevina (Narodne novine, br. 122/14 i 98/19)
- [8] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za građevine odvodnje otpadnih voda, kao i rokovima obvezne kontrole ispravnosti građevina odvodnje i i pročišćavanja otpadnih voda (Narodne novine, br. 3/2011-53)

- [9] Radujković, Mladen ; Car-Pušić, Diana ; Ostojić Škomrlj, Nives ; Vukomanović, Mladen ; Burcar Dunović, Ivana ; Delić, Davor ; Meštrović, Hrvoje
Planiranje i kontrola projekata / Radujković, Mladen (ur.). Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012. 400.
- [10] Building Information Modeling – Belgian Guide for the construction Industry (2015), ADEB-VBA, Avenue Grandchamp/Grootveldlaan 148 – 1150 Brussel.
- [11] Hemanth Kumar, N., Sreenivas Padala, S.P. (2024). BIM-Based Integrated Approach for Design and Construction Planning of Building Projects. In: Kolathayar, S., Sreekeshava, K.S., Vinod Chandra Menon, N. (eds) Recent Advances in Building Materials and Technologies. IACESD 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 456. Springer, Singapore
- [12] Aziz, R.M., Nasreldin, T.I. & Hashem, O.M. The role of BIM as a lean tool in design phase. J. Eng. Appl. Sci. 71, 23 (2024)
- [13] Jurčević, M., Pavlović, M., Šolman, H.: Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Zagreb, 2017.
- [14] Kolarić, S., Vukomanović, M., Bogdan, A.: Analysis of the use of BIM in Croatian construction industry, GRAĐEVINAR, 72 (2020) 3, pp. 205-214
- [15] fotogrametrija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 3.9.2024.
- [16] Seifert E, Seifert S, Vogt H, Drew D, van Aardt J, Kunneke A, Seifert T. Influence of Drone Altitude, Image Overlap, and Optical Sensor Resolution on Multi-View Reconstruction of Forest Images. Remote Sensing. 2019; 11(10):1252.