

Izrada 5D BIM modela na projektu izgradnje dionice Lekenik - čvor Sisak na autocesti A11 Zagreb - Sisak

Meštrović, Perica

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:237:775991>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
Zavoda za organizaciju, tehnologiju i menadžment

Izrada 5D BIM modela na projektu izgradnje dionice
Lekenik – čvor Sisak na autocesti A11 Zagreb – Sisak

Student: Perica Meštrović

Mentor: prof.dr.sc. Mladen Vukomanović

Komentorica: dr.sc. Sonja Kolarić

Zagreb, 2023

Sadržaj

| | |
|---|-----------|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Pregled literature | 2 |
| 2.1. Općenito o BIM pristupu..... | 2 |
| 2.1.1. Razvoj BIM koncepta | 2 |
| 2.1.2. Razine zrelosti korištenja BIM-a..... | 4 |
| 2.1.3. BIM dimenzije i BIM sustavi..... | 5 |
| 2.1.4. BIM standardi..... | 8 |
| 2.1.5. Razine razvijenosti BIM modela | 15 |
| 2.1.6. Prepoznavanje važnosti BIM-a na razini Europske unije | 18 |
| 2.1.7. Pregled stanja u Hrvatskoj | 19 |
| 2.2. Primjena BIM-a u niskogradnji..... | 20 |
| 2.2.1. BIM postupci i specifičnosti kod projekata niskogradnje..... | 21 |
| 2.2.2. BIM softveri za infrastrukturne projekte u području niskogradnje | 24 |
| 2.2.3. IFC shema za projekte niskogradnje | 26 |
| 2.2.4. Primjeri projekata niskogradnje modeliranih u BIM okruženju..... | 27 |
| 3. Analiza studije slučaja | 35 |
| 3.1. Općenite informacije o autocesti A11 | 35 |
| 3.2. Opis dionice Lekenik - Sisak | 36 |
| 3.3. Tehnički opis trase autoceste | 39 |
| 3.4. Tehnički opis čvora Sisak..... | 41 |
| 3.5. Planirana dinamika i tehnologija izvođenja građevinskih radova..... | 42 |
| 3.7. Analiza strukture ugovornog troškovnika..... | 45 |
| 3.8. Pregled stvarno izvedenih radova do svibnja 2023. god | 47 |
| 4. Rezultati | 54 |
| 4.1. Izrada 3D modela dionice Lekenik – čvor Sisak..... | 54 |
| 4.2. Izrada 4D modela dionice Lekenik – čvor Sisak..... | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3. Izrada 5D modela dionice Lekenik – čvor Sisak..... | 69 |
| 5. Zaključak..... | 71 |
| Popis slika | 72 |
| Popis tablica | 74 |
| Literatura | 75 |
| Popis priloga | 79 |

Sažetak

Informacijsko modeliranje gradnje (BIM) postaje proces koji dobiva sve značajniju ulogu u građevinarstvu. Zbog složenosti građevinskih projekata javlja se potreba izrade 5D modela koji bi sadržavali informacije bitne za sve projektne sudionike. BIM pristup omogućuje precizno određivanje količina, poboljšanu kontrolu troškova i doprinosi kvalitetnijoj suradnji projektih sudionika. Projekti izgradnje cesta često premašuju planirane iznose, prisutna su brojna kašnjenja i neusklađenost projektne dokumentacije. Ovim diplomskim radom prikazan je proces izrade 5D BIM modela za dionicu Lekenik-čvor Sisak autoceste A11 Zagreb-Sisak. 3D model izrađen je u softveru Allplan roads 2023 na temelju postojeće projektne dokumentacije, a softver Bentley Synchro korišten je za izradu 4D i 5D BIM modela.

Ključne riječi: BIM, 4D BIM model, 5D BIM model, autocesta

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is becoming a process that is gaining increasingly significant role in construction. Due to complexity of construction projects, there is a need to create 5D models that would contain information essential for all project participants. The BIM approach enables precise determination of quantities, improved cost control and contributes to better collaboration between project participants. Road construction projects often exceed the planned amounts, there are numerous delays and inconsistencies in project documentation. This thesis presents the process of creating 5D BIM model for the section Lekenik-junction Sisak on the highway A11 Zagreb-Sisak. The 3D model was created in Allplan roads 2023 software based on existing project documentation, and Bentley Synchro was used to create 4D and 5D BIM models.

Keywords: BIM, 4D BIM model, 5D BIM model, highway

1. Uvod

Građevinski pothvati karakteriziraju se kao jedinstvena postignuća u kojima radi veliki broj sudionika i koji obiluju brojnim projektnim podacima. Zbog velikog opsega projektne dokumentacije i niske produktivnosti građevinskog sektora, potrebno je razvijati nove poslovne procese koji će projektну dokumentaciju učiniti kvalitetnijom i povećati produktivnost. Primjena informacijskog modeliranja gradnje (engl. *Building Information Modeling* – BIM) ima za cilj stvoriti jedinstveno mjesto prikupljanja, obrade i korištenja informacija o građevinskom projektu kroz suradnju različitih struka i dionika kako bi se stvorili BIM modeli koji će se moći ažurirati tijekom procesa gradnje.

U Republici Hrvatskoj u posljednjih 20 godina izgrađena je impozantna mreža autocesta. Velik je dio dokumentacije tih projekata izrađen tradicionalnim pristupom, dok se u novije vrijeme, potaknuti primarno vanjskim čimbenicima, i u područje niskogradnje uvodi BIM pristup. U ovom je radu obrađena tema izrade 5D modela za dionicu autoceste A11 Lekenik – čvor Sisak.

Nakon pregleda teorijskog koncepta BIM-a, prikazana je izrada i sam 3D model, dan je vremenski plan uspostavljen od strane izvođača za samu trasu uz prikaz financijskog plana. Uz određene prilagodbe, zbog prirode informacija i razvijenosti 3D modela, izrađen je 4D i 5D model. U zaključku je dan komentar na razvoj projekta i modela.

2. Pregled literature

U poglavlju su dane temeljne teorijske postavke BIM pristupa, primjena BIM-a u niskogradnji i konkretni projekti u kojima je primijenjen BIM pristup.

2.1. Općenito o BIM pristupu

Građevinarstvo se često opisuje kao konzervativna djelatnost. Procesi koji se obavljaju najčešće su iznimno normirani, provjereni na sličnim pothvatima, a eksterne i interne promjene kojima je djelatnost izložena uvode se sporo. U industriji 4.0. jaz između uvođenja suvremenih poslovnih rješenja u građevinarstvu i ostale industrije postaje još vidljiviji; kompleksnost projekata i pothvata, brojni interesni sudionici i iznimno široka područja djelovanja koja građevinarstvo obuhvaća, dodatno utječu da se zaostajanje u implementaciji suvremenih rješenja u odnosu na ostale industrije, povećava. BIM pristup uvodi svojevrsnu revoluciju u poslovanje građevinskih poslovnih sustava i samo građevinarstvo kao projektno orijentiranu djelatnost. BIM model postaje središnje mjesto rada svih dionika projekta. Suradnja, dijeljenje informacija, zajedničke analize, preveniranje pogrešaka i njihovo rano otkrivanje, tek su mali dio onog što BIM pristup donosi u struku.

Iako su brojne prednosti BIM pristupa očite, njegova primjena u građevinarstvu još nije zaživjela. Temeljni je problem fragmentiranost građevinske industrije. Velik broj dionika građevinskog pothvata još uvijek promatra određene cjeline separirano, umjesto da se projekt promatra kao integracija rezultata pojedinih struka koje rade na istom zadatku. O tome koliko je implementiran BIM u proces građenja uvelike ovisi koliko je snažno gospodarstvo neke države, kakav je pristup tržišnih lidera novim tehnologijama i kako su obrazovne ustanove prilagodile svoje obrazovne programe novim trendovima u industriji.

2.1.1. Razvoj BIM koncepta

Postojanje kvalitetne prometne infrastrukture ključ je gospodarskog, kulturnog i društvenog razvoja nekog područja. Optimalna prometna povezanost nekog područja postiže se integracijom različitih vrsta prometa – cestovnog, željezničkog, zračnog, pomorskog, kanalskog. Drevne su civilizacije koristile karavanske puteve za prijevoz dobara koja su prodavali u dalekim zemljama, a Rimljani su izgradili impresivnu mrežu prometnica koja je prema nekim izvorima iznosila 150 000 km. Mreža puteva iznimno je bitna i za ratna osvajanja – o tome svjedoče pohodi Aleksandra Velikog na Perziju

i osvajanje do tada poznatog svijeta. Upravljanje velikim prostorima nezamislivo je bez mreže komunikacija.

Rimljani su svoje ceste izvodili u 4 sloja – *statumen, ruderatio, nucleus i suma crusta*. Iako je ovo razdoblje prilično daleko od vremena kada je projektiranje dobilo na značaju, Rimljani su uspostavili pravila o slojevima u izvedbi cesta, a širina cesta u rimsko doba ovisila je o njenoj važnosti (Korlaet i Dragčević, 2018).

Prvi spomeni inženjerskog crtanja, projektiranja na papiru i arhitekture datiraju iz 16. i 17. stoljeća kada su se koristili ručni alati za crtanje i mjerenje. Krajem 18. stoljeća utemeljena je moderna tehnologija građenja cesta. Važnost odvodnje i održavanja kolnika uviđa Pierre – Marie – Jerome Tresaguet, a Thomas Telford u istom stoljeću ističe važnost dobre podloge kolničke konstrukcije. U 19. stoljeću John McAdam u cestogradnju uvodi novi materijal – tučenac (Korlaet i Dragčević, 2018).

Razvojem društva, razvijali su se i alati za crtanje objekata – od ploča za crtanje, krivuljara i trokuta – sve do prvog programa za računalno crtanje. Program je završen 1957. godine i nazvan je *Pronto*. Kraj sedamdesetih i početak osamdesetih označava prijelomnu točku u razvoju projektiranja pomoću računala - počeo je razvoj CAD softvera i dokumenti su se pohranjivali u formatu koji je omogućavao njihovo čuvanje, prijenos, pregled i tiskanje (Chon, 2010).

Kompanija Autodesk započela je 1981. godine stvaranje prvog softvera za projektiranje primjenom računala, a proizvod se pojavio 1983. godine – AutoCAD. Taj je program napravio revoluciju u projektiranju – ponudio je prostorno modeliranje i vizualizaciju, realistično prikazivanje površina i tijela, pristup vanjskim bazama podataka, asocijativno crtanje, uvoz i izvoz datoteka u drugim formatima (Chon, 2010). Autodesk 2011. godine izlazi s novim paketima koji pokrivaju i različite faze projektiranja. Ti se noviteti očituju u primjeni „cloud“ rješenja (Lošić i dr., 2018).

Građevinski pothvati realiziraju se u ograničenjima – vremena, novca i kvalitete. Proučavajući uspješnost izvršenja pothvata unutar zadanih okvira, dolazi se do podataka da 70 % projekata probija dinamiku, a 72 % projekata premaši planirana sredstva (Stojanović, 2022). Dodatno, zbog mnoštva projektne dokumentacije i brojnih sudionika, česta je pojava da se pojedini podaci o projektu pregledavaju više puta, krivo unesu ili izgube. U konačnici, da se spriječi rasipanje informacija, potrebno je organizirati metodologiju koja će reducirati broj nepotrebnih aktivnosti.

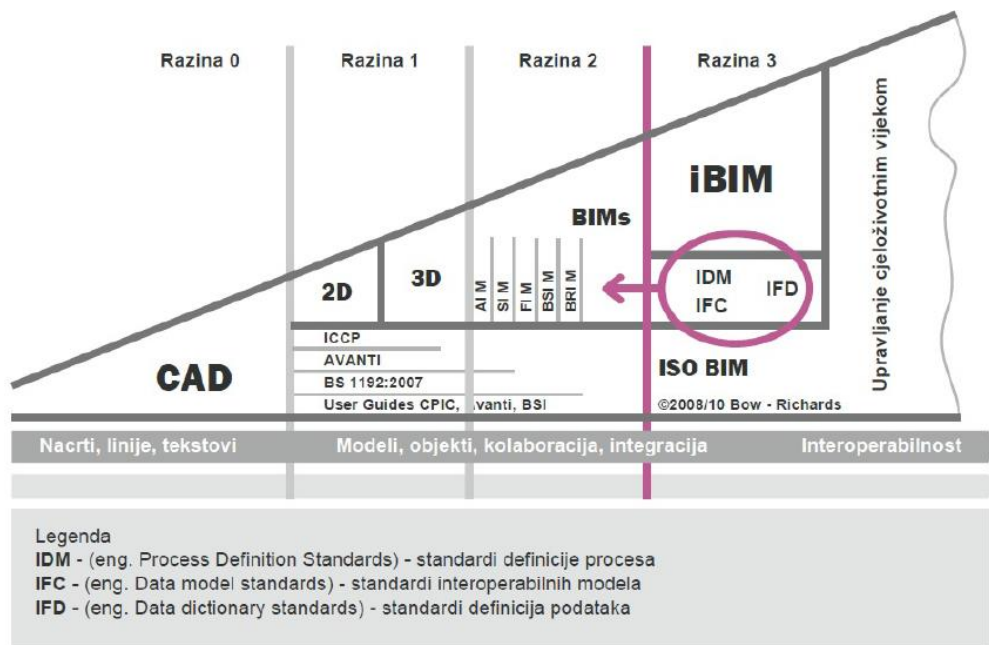
Charles Eastmann je 1975. godine pisao o ideji parametarskog projektiranja objekata i kreiranju jedinstvene baze podataka koja bi poslužila i za vizualne i za kvalitativne analize (Eastmann, 1975). Za ostvarivanje ove ideje nedostajala je informatička potpora.

Kraticu BIM na standardni jezik prevodi se kao *informatičko modeliranje gradnje*. Definicija BIM-a obuhvaća poslovni proces za generiranje i korištenje podataka o građevini koju treba projektirati, izgraditi i upravljati kroz čitav njezin životni vijek. Važna značajka ovog pristupa je omogućavanje interoperabilnosti platformskih tehnologija (Vukomanović, 2021).

BIM obuhvaća proces stvaranja i upravljanja podacima u toku razrade projekta. Drugim riječima, omogućeno je digitalno predstavljanje fizičkih i funkcionalnih karakteristika nekog objekta koji sadrži i zajednički izvor informacija o objektu kroz cijeli njegov životni vijek. Informacije donose pouzdani i digitalni prikazi objekata i mogu se koristiti za izradu i ispitivanje raznih varijantnih rješenja, kreiranje kvalitetne projektne dokumentacije, predviđanje karakteristika objekata u izgrađenom okruženju, informacije o materijalima, procjenu troškova, upravljanje i održavanje objekata i kao veliku bazu znanja (Lošić i dr., 2018).

2.1.2. Razine zrelosti korištenja BIM-a

Cilj BIM-a ostvarivanje je suradnje između projektnih sudionika. Brojna su ograničenja koja se javljaju na putu razvoja ovog pristupa pa vrijedi spomenuti Bew – Richardsov model zrelosti, prikazan na slici 1. Razina 0 obuhvaća linearne i nesinkronizirane procese koji se temelje na 2D dokumentaciji. Razina 1 koristi objektno bazirane alate kao što su Revit, Tekla i sl. Korisnici generiraju svoje modele unutar struka – generira se 2D dokumentacija i 3D vizualizacije uz izvoz podataka kao što su količine elemenata. Na ovoj je razini većina kompanija. Razina 2 podrazumijeva aktivnu suradnju sudionika različitih disciplina uz razmjenu podataka korištenjem IFC formata. Suradnja ne prati sve faze projekta. Razina 3 obuhvaća potpuno integrirane modele i naglasak je na radu u oblaku uz suradnju svih interesnih sudionika tijekom gradnje (Vukomanović, 2021).



Slika 1. Bew - Richardsov model zrelosti BIM modela (Vukomanović, 2021)

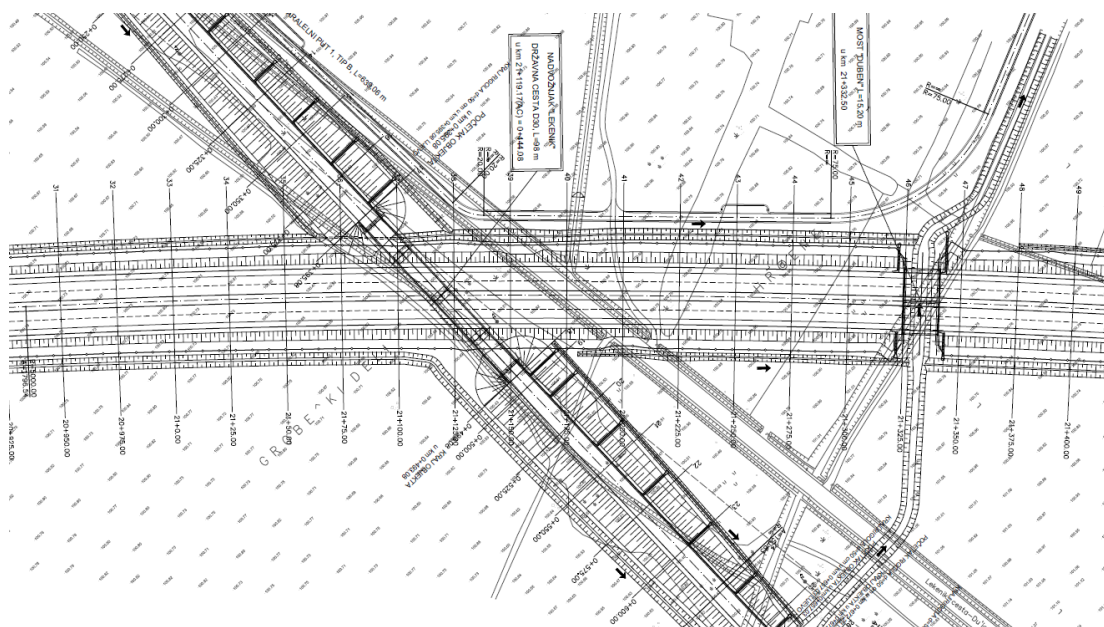
Kako bi se dostigle određene razine zrelosti BIM modela, nužna je primjena odgovarajućih BIM sustava. Razina 0 uključuje tradicionalne CAD alate i u njoj nema suradnje u digitalnom okruženju koju zahtjeva BIM pristup. Razina 1 uključuje primjenu BIM softvera poput Allplana i korištenje takvih alata na ovoj razini ograničeno je najčešće na fazu izrade projektne dokumentacije bez suradnje projektnih sudionika i detaljnijih analiza (izrada 3D modela). Modeli ostaju zatvoreni unutar struke, a alati koji se primjenjuju nisu iskorišteni sa svim funkcionalnostima. Sustavi na razini 2 omogućavaju suradnicima da primjenom odgovarajućih alata na projektu aktivno surađuju i razmjenjuju podatke između aplikacija različitih proizvođača korištenjem otvorenih BIM standarda. Sustavi na razini 3 naglašavaju rad u oblaku i neprestano ažuriranje modela (engl. *real time*), uključenost svih interesnih sudionika tijekom gradnje, a primijenjeni alati omogućuju izradu 6D interdisciplinarnih modela kojima se omogućuju složene analize u ranim fazama izrade projektne dokumentacije i izvođenja radova (Vukomanović, 2021).

2.1.3. BIM dimenzije i BIM sustavi

BIM pristup omogućava zainteresiranim stranama u građevinskom procesu prikaz projekta u više dimenzija. Taj prikaz nije samo lijepa slika planiranog ili izvedenog stanja, nego je velika baza

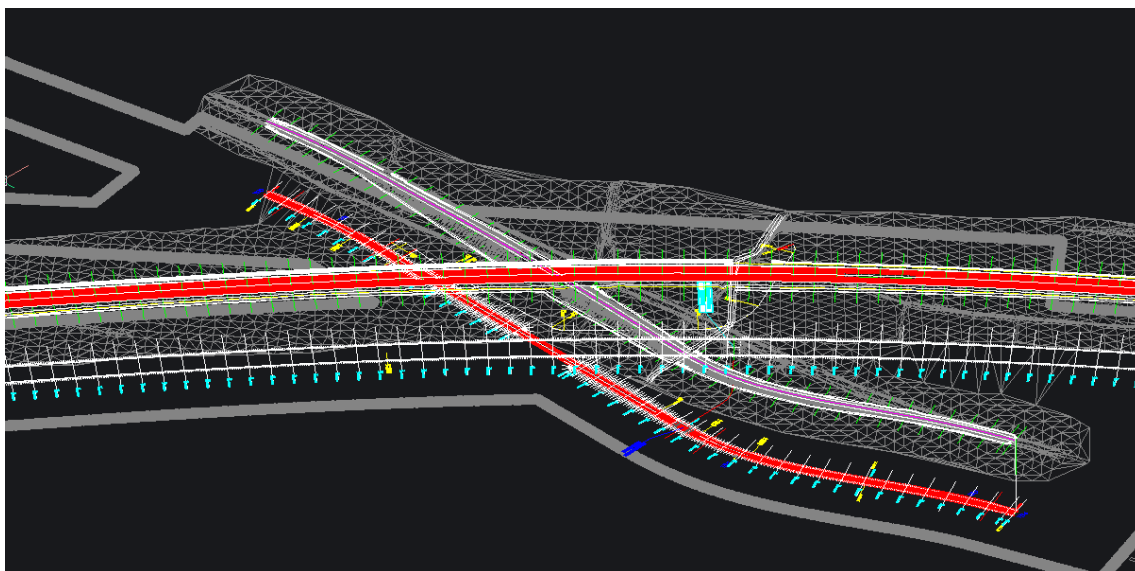
podataka i analiza koja može prikazati različite projektne aspekte. Svaka dimenzija koja se koristi može osigurati brojne pogodnosti u svim fazama građevinskog projekta.

2D modeli, u tradicionalnom pristupu, temelji su za izradu projekata svake pojedine struke. Radi se o crtanju u dvije dimenzije (X, Y) koje se može provoditi na papiru ili u CAD softverima. Često mogu sadržavati mnogo podataka pa znaju biti nepregledni, a to posljedično dovodi do pogrešaka pri interpretaciji, komunikaciji i izvedbi. Prikaz dijela 2D nacrt koji je dio Glavnog projekta trase autoceste A11 Zagreb – Sisak na dionici Lekenik – čvor Sisak u zoni nadvožnjaka Lekenik dan je slikom 2.



Slika 2. Nacrt trase i objekata na lokaciji Poljane Lekeničke, autocesta A11 Zagreb - Sisak (Inženjerski - projektni zavod d.o.o., 2022)

3D model predstavlja prostorni prikaz građevinskog objekta. Dvodimenzionalnom modelu dodaje se treća dimenzija koja obuhvaća visinski prikaz (X, Y, Z). Ulaskom u treću dimenziju dobije se prostorni model na kojemu je lakše uočiti određene neusklađenosti i obaviti kontrole, vizualnim putem. Prikaz 3D modela generiranog u AutoCAD-u za autocestu A11 Zagreb – Sisak, dionicu Lekenik – čvor Sisak u blizini nadvožnjaka Lekenik, dan je slikom 3.



Slika 3. Generiran 3D model na autocesti A11 u blizini Poljane Lekeničke (Inženjerski - projektni zavod d.o.o., 2022)

Model u četvrtoj dimenziji, uz prostorne značajke, obuhvaća i komponentu vremena. Ulazak u četvrtu dimenziju podrazumijeva definiranje razvijene strukture radova kojom se posao u projektu dijeli na određene pakete i definira tijek projekta. Na temelju postavljene tehnologije i organizacije definira se slijed izvedbe radova, vrši se reorganizacija 3D modela, preraspodjela aktivnosti i konačno povezivanje 3D modela i aktivnosti. Zadnji korak u izradi 4D modela obuhvaća pregled modela. Prednosti četvrte dimenzije ogledaju se u povećanoj pouzdanosti rasporeda aktivnosti, vizualiziranju zadataka i odgovornosti, simulaciji plana kako bi se u fazi izvođenja izbjegli propusti vezano uz slijed gradnje i gradilišnih procesa. Dodatno, modeli omogućavaju koordinaciju očekivanog vremena i protoka u prostoru dostave materijala i opreme na gradilištu. Zaključno, olakšana je komparativna analiza planirano / ostvareno i na taj se način dobiva podloga za upravljanje promjenama na projektu (Vukomanović, 2021).

5D modeli, uz prethodne četiri dimenzije, uključuju i dimenziju troška. S obzirom na način na koji se izvršila podjela projekta u troškovnom smislu, određenom elementu se dodaje informacija o troškovima i na taj je način moguće pružiti sveobuhvatne informacije o aspektima troškova, vremena, lokacije i utrošenih resursa u odabranom projektu. Također, omogućeno je modeliranje i praćenje troškova u stvarnom vremenu i dana je mogućnost izvoza količina kao podrška detaljnoj procjeni troškova (Vukomanović, 2021).

Razvoj BIM pristupa ne staje na ovim dimenzijama. Svaka nova dimenzija nadogradnja je na prethodnu i otvara nove mogućnosti upravljanja građevinskim projektom. 6D model donosi informacije o održivosti, a njegove su funkcionalnosti analiza djelovanja vjetra, energetska analiza projekta, klimatske analize, solarne analize, analize korištenja vode i analiza održivosti. 7D modeli temelj su za primjenu BIM-a u fazi održavanja. Oni omogućavaju da se prilikom izrade modela stvarno izvedenog stanja elementima pridružuju dodatne informacije i dokumentacija na temelju koje se izrađuju planovi održavanja i prateća dokumentacija. Modeli u osmoj dimenziji sadrže informacije o zaštiti na radu i tako daju podlogu za izradu planova zaštite na radu. Analizira se gradilište, identificiraju se opasne zone na gradilištu i odgovarajuće mjere zaštite na radu. 9D modeli integriraju u sebi principe vitke gradnje – praćenje korištenja sirovina, smanjenje troškova, minimiziranje količina otpada i slično. 10D modeli predstavljaju zajednički cilj svih dimenzija BIM-a. Oni centraliziraju podatke u smislu opće optimalizacije svih aktivnosti oslanjajući se na tehnologiju. Cilj čitavog koncepta je ujediniti financijske, zdravstvene, okolišne, sigurnosne, vremenske i druge aspekte projekta. Konačno, nD modeliranjem obuhvaćeno je beskonačno dodavanje potrebnih informacija kojima se služe sve struke u BIM projektu čime je omogućena kvalitetna isporuka projekta i stvaranje kvalitetne baze podataka (Vukomanović i Kolarić, 2023).

Ostvarenje određene dimenzije omogućava korištenje specijaliziranih BIM sustava koji imaju funkcionalnosti za izradu modela određene dimenzionalnosti. Hijerarhijska podjela BIM sustava je sljedeća (Vukomanović i Kolarić, 2023):

- BIM alati – aplikacije koje obavljaju specifičan zadatak, a kao rezultat javlja se specifičan produkt.
- BIM platforma – aplikacija koja generira podatke za višestruku uporabu i često podrazumijeva interoperabilnost aplikacija jednog proizvođača.
- BIM okruženje – sustav koji služi za upravljanje svim BIM alatima i BIM platformama unutar organizacije; najčešće su to baze podataka.

2.1.4. BIM standardi

Primjena BIM pristupa zasniva se na određenim normama i usvojenim procedurama. Zadaća je ostvarenje suradnje i učinkovita razmjena informacija. Česte promjene u projektu, ponovno

provjeravanje nekoć utvrđenih činjenica i brojne mogućnosti pogrešaka koji mogu značiti propast projekta, snažno su poticali na promjene u razmišljanju o dijeljenju informacija tijekom razvoja i razrade projekta. Prije same izrade modela, potrebno je utvrditi zahtjeve za informacijama koje je potrebno ugraditi u budući model. Informacija je u fokusu BIM pristupa, stoga je trebalo razviti određene standarde koji bi ostvarili ciljeve BIM pristupa i osigurali prednost ovom pristupu u odnosu na tradicionalni. Intencija u primjeni BIM standarda je omogućiti da se informacije koje prolaze kroz procese u određenoj fazi projekta mogu jednostavno koristiti. Ostvarivanje interoperabilnosti moguće je na tri načina:

- direktnom razmjenom informacija,
- razmjenom podatka standardiziranog formata,
- razmjenom putem poslužitelja – servera.

U nastavku je dan prikaz glavnih podatkovnih i procesnih ISO BIM standarda, međutim BIM standarda ima puno više te detaljni pregled svih standarda u sklopu ovog rada nije napravljen.

2.1.4.1. ISO 16739

Prvi standard je *Industry Foundation Classes* (IFC) koji je po definiciji, jedinstveni, softverski neutralan format za razmjenu podataka kojeg svi BIM softveri raspoznaju na određeni način (Vukomanović, 2021). Postoje četiri IFC formata – SPF, XML, ZIP, Turtle i RDF/XML.

Da bi se ostvarila softverska neutralnost, nije dovoljno samo definirati IFC format. Svaki softver raspoznaje podatke na svoj način. IFC shema predstavlja jedinstvenu standardizaciju podataka modela koji formiraju jedinstvenu hijerarhiju. Slijed standardizacije dan je od strane organizacije koja je usmjerena na razvoj otvorenih i međunarodnih standarda i rješenja – buildingSMART. IFC shema definira pozicioniranje pojedinog podatka unutar datoteke (Vukomanović i Kolarić, 2023).

IFC sheme podložne su promjenama. Nove verzije mogu se razvijati ili ukidati. Razlikuju se 4 oznake verzija (Vukomanović i Kolarić, 2023):

- Glavna: promjene u IFC shemama koje narušavaju kompatibilnost softvera.
- Niža: glavna shema je nepromijenjena, ali se promjene događaju u proširenju značajki i definicija sheme.

- Dodatak: proširuju se značajke sheme, ali je zajamčena kompatibilnost prema vrhu sheme.
- Ispravke: poboljšanja dokumentacije bez izmjena sheme.

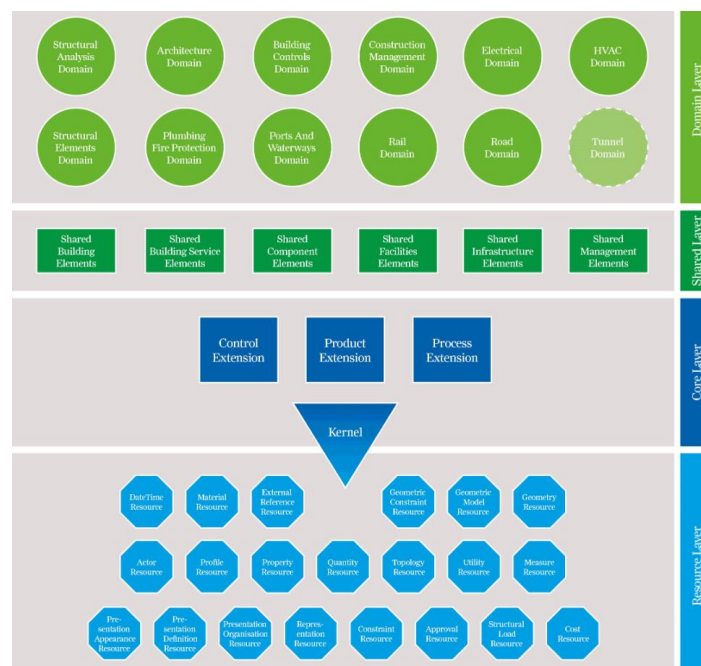
Ovisno o vrsti podataka u IFC shemi, postoje 4 osnovne skupine:

- Temeljne sheme podataka kojima je definiran osnovni sloj unutar arhitekture IFC-a te entiteti na koje se pozivaju ostale hijerarhije sheme.
- Sheme podataka zajedničkih elemenata gdje se entiteti specijaliziraju po domenama.
- Sheme podataka po specifičnim elementima omogućuju specijalizaciju entiteta u skladu s industrijskom disciplinom.
- Sheme podataka za definiranje resursa su podupiruće strukture koje se pozivaju na entitete (jedan ili više entiteta).

Tri su temeljne tematske skupine koje treba razlikovati u kontekstu IFC-a:

- objekti (entiteti) – opipljiva stvarnost, sudionici, troškovi, procesi,
- svojstva (atributi) – informacije karakteristične za objekt,
- veze – ovisnosti među objektima.

Prikaz ove podjele s pripadnim elementima je na slici 4.



Slika 4. Podjela IFC sheme 2X3 (Pszczolka, 2022)

2.1.4.2. ISO 29481

Za opis BIM procesa koristi se metodologija za prikupljanje i specifikaciju procesa i tijeka informacija tijekom životnog ciklusa projekta – *Information Delivery Manual (IDM)*. Modeli u projektima često postaju prezasićeni jer se često dopunjuju novim entitetima sa svojim atributima. Ako se BIM projekt zamisli kao jedna uređena baza podataka u programiranju, jako je bitno urediti njezinu strukturu jer se često događa da su atributi jednog entiteta povezani s atributima drugog entiteta, a da baza može ispravno raditi, bitno je definirati proces isporuke informacija.

IDM se izrađuje u 4 koraka (Vukomanović, 2021):

1. Procesna mapa definira proces za koji se razvija metodologija s pripadajućom notacijom.
2. Zahtjev za razmjenu definira informacije koje se razmjenjuju među softverima.
3. Model zahtjeva za razmjenu organizira informacije.
4. Generički BIM vodič definira upute krajnjim korisnicima za izradu i strukturiranje informacija u BIM modelu.

IDM nije čitljiv računalu, već je on metodologija koja primarno određuje kada će se i kome određena informacija o projektu dostaviti zbog čega se javlja potreba za definiranjem podskupa podataka iz IFC modela kojem će određeni sudionik moći pristupiti. Informacije definirane IDM-om izdvajaju se iz IFC sheme i određuju *Model View Definition (MVD)* koji predstavlja podskup IFC sheme podataka (Vukomanović, 2021).

2.1.4.3. ISO 12006-3

U BIM procesima bilo je potrebno razviti neovisni informacijski model koji se može koristiti za strukturu baze pohrane informacija o radovima, ali i jedinstveni međunarodni standard koji daje okvir za objektno usmjerene informacije – *International Framework for Dictionaries Library (IFD)*. Tako se definira terminologija za opis BIM objekata s atributima i osigurava komunikacija između softvera i ljudi. Na temelju IFD-a razvijaju se baze podataka o objektima na nacionalnoj razini koje definiraju generičke BIM objekte – veze, geometrija, svojstva i specifikacije. Ti objekti su predlošci u knjižnicama podataka proizvoda pojedinog proizvođača.

Za prepoznavanje elemenata i svih njihovih atributa u BIM okruženju koristi se *buildingSmart Data Dictionary* (bsDD) – knjižnica općih definicija BIM objekata s atributima.

Dodatna pomoć u razmjeni podataka koji su potrebni za model je *Information Delivery Specification* (IDS) standard. Radi se o standardu za definiranje zahtjeva za informacijama koji se temelji na XML shemi. IDS je stoga čitljiv i ljudima i računalima. Ovaj standard omogućuje da se odrede podaci koji moraju biti uključeni u BIM model i provjeri jesu li ti podaci doista i usklađeni (Vukomanović, 2021).

Od neizmjerne je važnosti osigurati komunikaciju između BIM aplikacija tokom svih faza projekta. *BIM Collaboration format* (BCF) definira otvoreni oblik datoteke koji omogućuje slanje datoteka (XML format) ili korištenjem *Interface standards-a* (APIs). API predstavlja način komunikacije između računala. API može prikupljati informacije s više web stranica ili aplikacija koje već postoje ili centralizirano, s određenog poslužitelja (Vukomanović, 2021).

2.1.4.4. ISO 19650

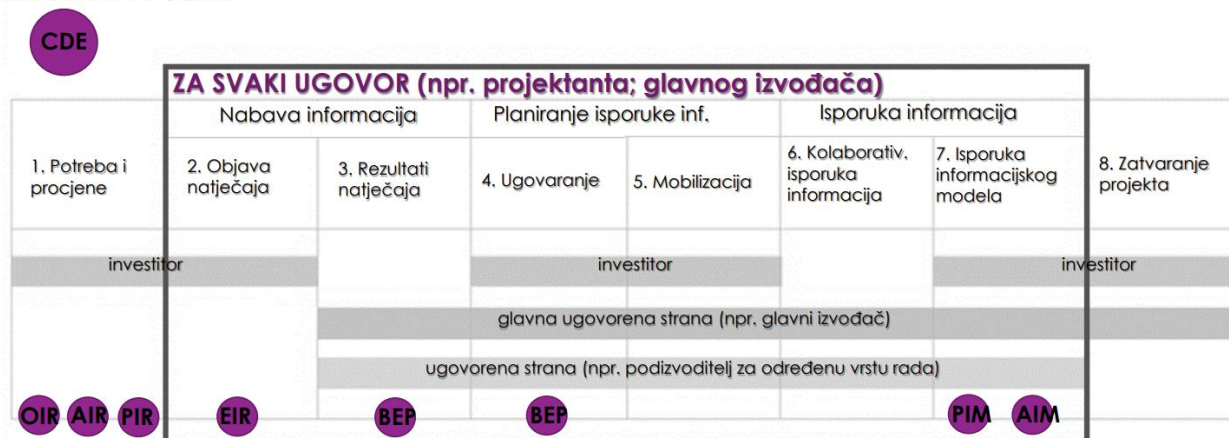
ISO 19650-1 standard daje okvir za upravljanje informacijama uključujući razmjenu, izradu i organizaciju za sve dionike. Dane su i definicije BIM standarda za procese. Upravljanje informacijama treba se primjenjivati tijekom cijelog životnog vijeka projekta. Proces upravljanja informacijama pokreće se svaki put kada se odredi nova faza isporuke ili operativna faza. Proces uključuje pripremu zahtjeva za informacijama, pregled budućih imenovanja u vezi s upravljanjem informacijama, početno i detaljno planiranje kako i kada će informacije biti isporučene i pregled isporučenih informacija u odnosu na zahtjeve za informacijama (Hrvatski zavod za norme, HRN EN ISO 19650-1, 2019).

Informacijski model imovine (engl. *Asset Information Models* - AIM) i informacijski model projekta (engl. *Project Informations Models* - PIM) strukturirane su baze informacija potrebnih za donošenje odluka tijekom cijelog životnog ciklusa imovine izgrađenog okoliša. AIM i PIM obuhvaćaju grafičke i negrafičke informacije čija količina raste napretkom projekta. Obuhvat ISO norme 19650-1 odnosi se na prijenos relevantnih informacija između AIM-a i PIM-a na početku i na kraju projekta.

ISO 19650-2 propisuje faze isporuke informacija kojima se definira na koji se način informacije isporučuju tijekom određenih faza projekta (Hrvatski zavod za norme, HRN EN ISO 19650-2, 2019). Slika 5 prikazuje slijed isporuke informacija prema ISO 19650-2.

ZA SVAKI PROJEKT

(ISO 19650-2, 2018; UK BIM Alliance i dr., 2019)



Slika 5. Slijed isporuke informacija prema HRN EN ISO 19650 - 2 (Vukomanović i Kolarić, 2023)

Norma definira Zajedničko podatkovno okruženje (engl. *Common Data Environment* - CDE) kao jedinstveni izvor informacija za određeni projekt. Koristi se za prikupljanje, upravljanje i dijeljenje svih relevantnih odobrenih dokumenata projekta namijenjenih za timove različitih struka u procesu kojim se upravlja. CDE je organiziran kroz spremnike podataka koji služe za razmjenu informacija o projektu i imovini (Vukomanović i Kolarić, 2023).

U prvoj fazi *Potreba i procjene* uspostavlja se informacijski okvir projekta i definiraju se zahtjevi za informacijama. Zahtjevi za informacijama na razini organizacije (engl. *Organizational Information Requirements* – OIR) opisuje potrebu za podacima i informacijama kako bi se postigli strateški ciljevi vlasnika imovine. Ovi zahtjevi mogu nastati iz različitih razloga – strateško poslovanje, strateško upravljanje imovinom, planiranje portfelja i slično (Hrvatski zavod za norme, HRN EN ISO 19650-1, 2019). Zahtjevi za informacijama na razini projekta (engl. *Project Information Requirements* - PIR) definiraju podatke i informacije pomoću kojih naručitelj donosi odluke u svakoj fazi projekta te podržavaju strateške ciljeve uključenih organizacija. Zahtjevi za informacijama na razini imovine (engl. *Asset Information Requirements* - AIR) se izrađuju na temelju OIR-a i definiraju podatke i informacije o imovini za koju je odgovoran vlasnik imovine.

U drugoj faza *Objava natječaja* se uz objavu natječaja, izrađuje dokumentacija za nadmetanje. Zahtjevi za razmjenu informacija (engl. *Exchange Information Requirements* - EIR) iskazuju upravljačke, komercijalne i tehničke aspekte izrade projektnih informacija. Upravljački i komercijalni aspekti uključuju informacijski standard te proizvodne metode i postupke koje provodi tim za isporuku. Tehnički aspekti EIR-a trebaju navesti detaljne odgovore na PIR. EIR bi se trebao povezati s prekretnicama koje predstavljaju završetke faza projekta (Hrvatski zavod za norme, HRN EN ISO 19650-1, 2019).

Treća faza je *Nadmetanje i rezultati natječaja* kada zainteresirane strane podnose ponudu, a investitor donosi odluku o imenovanju na temelju rezultata natječaja. BIM plan izvršenja (engl. *BIM Execution Plan* - BEP) je dokument koji se izrađuje na temelju EIR-a te se njime objašnjava kako će ponuditelj isporučiti BIM projekt. Ovim se dokumentom definiraju procesi kojima će se stvarati informacijski modeli i određuju standardi modeliranja, protokoli razmjene podataka i zadaće sudionika projekta. U BEP-u prije ugovaranja ugovorna strana pokazuje vlastite kapacitete za upravljanje informacijama i daje prijedlog upravljanja istim. Plan mobilizacije tima koji isporučuje (engl. *Delivery Team Mobilization Plan* - DTMP) je plan u kojem ugovorna strana navodi aktivnosti i zadatke potrebne za uspostavljanje i održavanje sposobnosti i kapaciteta vlastitog tima za vrijeme isporuke projekta. Plan se provodi nakon ugovaranja. U ovoj se fazi uspostavlja registar rizika i odgovor ponuditelja na natječajnu dokumentaciju (Vukomanović i Kolarić, 2023).

Ugovaranje je četvrta faza koja uključuje dogovor ugovornih strana i ugovor isporuke informacija. Fazu obilježava isporuka BEP-a poslije ugovaranja kojim se detaljno objašnjava kako će se isporučiti BIM projekt. Glavna ugovorna strana definira zahtjeve za informacijama prema podizvoditeljima – zahtjev za informacijama strane koja ugovara (engl. *Contracting Party's Information Requirements* - CIR). Potrebno je definirati kako će se isporučiti nacrti, modeli i dokumentacija, zajedno s terminima i načinom pripreme projektnih informacija. Ove aktivnosti opisane su glavnim planom isporuke informacija (engl. *Master Information Delivery Plan* - MIDP). Odabrani ponuditelj razvija interni plan aktivnosti isporuke informacija (engl. *Task Information Delivery Plan* - TIDP) kojim se koriste različiti timovi za izradu vlastitog plana izvršenja aktivnosti koje trebaju rezultirati isporukama informacija (Hrvatski zavod za norme, HRN EN ISO 19650-2, 2019).

Mobilizacija predstavlja petu fazu, odnosno fazu pripreme svih strana uključenih u projekt za isporuku informacija. Ono što je predmet mobilizacije su timovi, informacijske tehnologije i resursi u najširem smislu. Ovdje se testiraju metode i postupci za proizvodnju informacija (Vukomanović i Kolarić, 2023).

Kolaborativna isporuka informacija je šesta faza kada se stvaraju informacije usmjerene na pojedinu aktivnosti projekta te se iste razmjenjuju (Vukomanović i Kolarić, 2023).

Sedma faza je *Isporuka informacijskog modela* u kojoj se završetkom stvaranja modela, isti isporučuje s provjerom informacija. Model se prvo pregledava od ugovorenog ponuditelja i, po odobrenju, konačna se verzija predaje na usvajanje investitoru (Vukomanović i Kolarić, 2023).

Zatvaranje projekta je osma faza koja označava završetak projekta. Ovo je vrijeme analize učinjenog i vrijeme u kojem je potrebno popisati naučeno za buduće pothvate (Vukomanović i Kolarić, 2023).

2.1.5. Razine razvijenosti BIM modela

Pojam razine razvijenosti BIM modela razvijen je od strane Američke udruge arhitekata. Koncept LOD-a (engl. *Level of Development*) određuje:

- razinu grafičkih detalja (LoD),
- količinu, kvalitetu i relevantnost negrafičkih podataka (LoI),
- vrstu negrafičkih informacija.

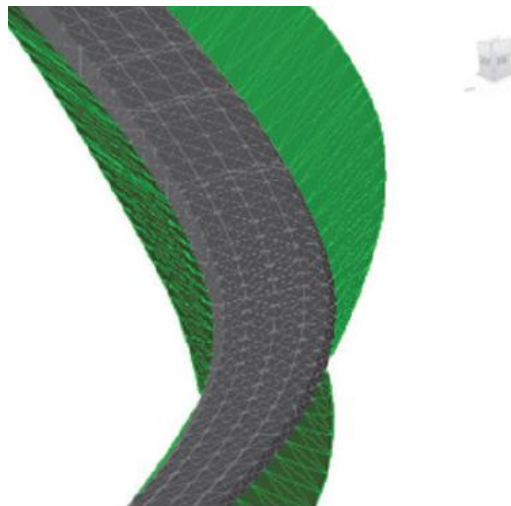
Razine razvijenosti definiraju se u temeljnim dokumentima (EIR-u i BEP-u) prije početka modeliranja, s ciljem izbjegavanja nesporazuma i naknadnog rada na ispravljanju modela. Glavni čimbenik u određivanju odgovarajuće optimalne razine razvijenosti je primjena modela u planiranim postupcima. Ako je bitno dobiti vizualizaciju nekog elementa BIM modela, nije potrebno proizvesti elemente u detaljnim razinama razvijenosti, ali ako se želi kontrolirati kvaliteta izvedbe, potrebno je imati prikladno razvijen model za kvalitetnu kontrolu.

Informacije potrebne za više razine razvijenosti dobivaju se postupno, u skladu s razvojem projekta. Ova tvrdnja implicira da se pojedini elementi modela mogu razvijati različitim brzinama. Dobar su primjer slojevi kolničke konstrukcije koji u idejnom rješenju mogu biti na razini LOD-a 200, a pojedine podzemne instalacije mogu biti razrađene na nivou LOD-a 100. Često je teško točno pozicionirati

instalacije pa se pri donošenju odluke razmatraju opcije o tome treba li prikupiti još informacija, treba li na neko vrijeme zaustaviti modeliranje ili označiti te elemente kao nepouzdanе. Iz navedenog, razina razvijenosti u pravilu se koristi za pojedine elemente modela, a ne za model u cijelosti (Andabaka i dr., 2021).

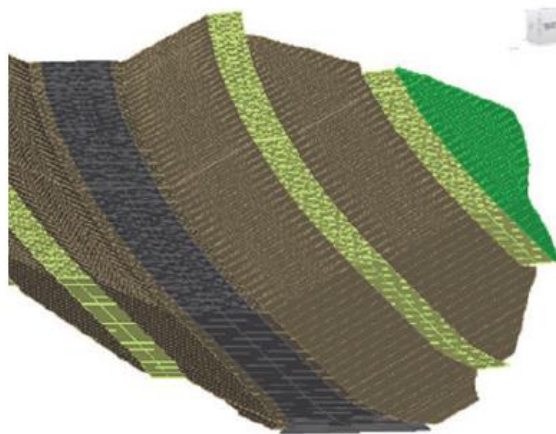
LOD 100 se primjenjuje se kod konceptualnih i idejnih rješenja. Elementi modela prikazuju se grafičkim simbolom ili nekom generičkom oznakom. Trasa se obično prikazuje pomoću osi, a objekti simbolom (Andabaka i dr., 2021).

LOD 200 se koristi u fazi izrade idejnih rješenja, razrade konceptualnih rješenja LOD-a 100 i prilikom izrade idejnog rješenja za izradu studije utjecaja na okoliš. Ovo je približni model u kojem su elementi modelirani kao generički sustavi ili objekti s približnim količinama, veličinom, oblikom, položajem i geometrijom (Andabaka i dr., 2021). Prikaz modeliranja zemljanih radova na izvedbi usjeka i nasipa u LOD-u 200 dan je slikom 6.



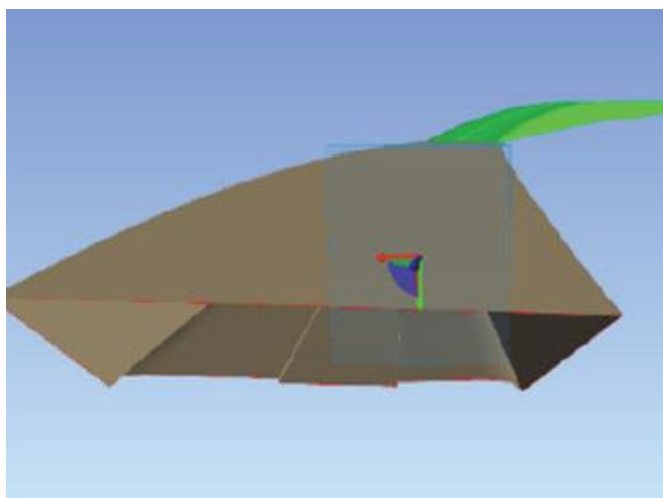
Slika 6. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 200 (Andabaka i dr., 2021)

Razina razvijenosti LOD 300 koristi se za većinu elemenata glavnog projekta. Ovo podrazumijeva da se mogu provesti postupci 3D koordinacije, vizualizacije, analize kolizija, određivanje količine radova i ostale inženjerske procjene. Elementi modela prikazuju se kao specifični sustavi, objekti ili sklopovi, točni u pogledu količine, veličine, oblika, položaja i orijentacije (Andabaka i dr., 2021). Prikaz modeliranja zemljanih radova na izvedbi usjeka i nasipa u LOD-u 300 dan je slikom 7.



Slika 7. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 300 (Andabaka i dr., 2021)

LOD 350 je razina detaljnosti koja se koristi za izvedbene projekte. Uz karakteristike elemenata koji su definirani za LOD 300, ovdje se prikazuju detalji, proizvodnja, montaža i informacije o instalaciji. Prikaz modeliranja zemljanih radova na izvedbi usjeka i nasipa u LOD-u 350 dan je slikom 8 (Andabaka i dr., 2021).



Slika 8. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 350, Andabaka i dr., 2021)

LOD 400 je razina detaljnosti koja se koristi za radioničku dokumentaciju. Najčešća je primjena u proizvodnji i narudžbi predgotovljenih elemenata.

LOD 500 je stvarno izvedeno stanje. Na temelju podataka s gradilišta koji obuhvaćaju stvarno izvedene radove, izrađuje se model koji se može koristiti u održavanju i upravljanju građevinom.

2.1.6. Prepoznavanje važnosti BIM-a na razini Europske unije

Institucije Europske unije prepoznale su važnost uvođenja novih tehnoloških rješenja u sektor građevinarstva. Digitalizacija građevinskog sektora prepoznaje se kao nova prilika koja bi mogla potaknuti poboljšanje trendova u sektoru i pozitivno djelovati na gospodarstvo i društvo u cjelini. Uvođenje BIM-a vidi se kao rješenje u upravljanju informacijama. To je prepoznato brojnim europskim inicijativama od kojih se izdvajaju:

- Strategija za održivu konkurentnost građevinskog sektora i njegovih poduzeća (2012. godine),
- Radna skupina EU za BIM (EUBTG),
- Platforma za digitalnu izgradnju – DigiPlace,
- Potpore državama članicama na zahtjev putem Službe za potporu strukturnim reformama.

Ključni dokument na europskoj razini je Direktiva 2014/24 kojom se promiče uporaba BIM-a. Dodatno, 2015. godine službeno je započeo s radom tehnički odbor CEN-a 442 o modeliranju informacija o gradnji. Ciljevi CEN/TC 442 su (Europska komisija, 2023):

- pružanje strukturiranog skupa standarda, specifikacija i izvješća kojima se određuju metodologije za definiranje, opis, razmjenu, praćenje, bilježenje i sigurno postupanje s podacima o imovini, semantici i procesima s poveznicama na geoprostorne i druge vanjske podatke,
- biti dom za europsku standardizaciju BIM-a,
- koordinirati rad s ISO-om u okviru Bečkog sporazuma, bilo usvajanjem postojećih međunarodnih normi na europskoj razini ili paralelnim razvojem novih normi,
- primanje i razmatranje prijedloga za nove rezultate te njihov razvoj u okviru strukture TC-a radnih skupina za različita područja primjene.

Na temelju prihvaćenih EU normi i pratećih akata, države članice dužne su prilagoditi svoju zakonsku regulativu (Europska komisija, 2023).

2.1.7. Pregled stanja u Hrvatskoj

Uvođenje BIM pristupa u hrvatski građevinski sektor potaknuto je primarno vanjskim faktorima – obvezama preuzetim od Europske unije. Hrvatska komora inženjera građevinarstva izdala je u svibnju 2017. godine *Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu*. Dodatno, Hrvatski zavod za norme izvršio je prijevod i nostrifikaciju ISO standarda. Za javni sektor, izašla je važna publikacija koja je proizvod rada EU BIM task grupe pod nazivom *Priručnik za implementaciju BIM-a za javni sektor*. Nadalje, Hrvatska komora inženjera građevinarstva izdala je u svibnju 2021. godine *Smjernice za BIM pristup u infrastrukturnim projektima*.

Rezultati istraživanja provedenog 2016. i 2017. godine od strane autora Kolarić, Vukomanović i Bogdan pokazali su mišljenja dionika građevinskog procesa o implementaciji BIM-a u njihovo poslovanje. Ispitivanje pokazuje da je 2017. godine samo 21,12 % ispitanika koristilo BIM u vlastitom poduzeću, a 23,81 % BIM uopće ne planira koristiti. Više od polovice ispitanih (55,07 %) nije koristilo BIM u projektima. Rezultati o primjeni informacijskih rješenja su porazni: 38,88 % ispitanih nije primjenjivalo CAD tehnologiju, 48,08 % nije primjenjivalo 3D tehnologiju, a 65,95 % nije primjenjivalo BIM tehnologiju. U promatranom periodu 29,80 % sudionika većinom je koristilo CAD tehnologiju, 16,66 % 3D tehnologiju, a tek 11,35 % BIM tehnologiju (Kolarić i dr., 2020). Hrvatska je prema gore prikazanim rezultatima, na putu između razine 0 razine 1 kod primjene BIM pristupa.

Vidljivi su i određeni pozitivni primjeri. U obrazovanju na fakultetima uvode se kolegiji koji se bave implementacijom BIM pristupa u projekte. Veća građevinska poduzeća uviđaju važnost primjene BIM pristupa pa ulažu u edukacije svojih zaposlenika. Male tvrtke, poglavito one koje se bave projektiranjem, vidjele su u BIM pristupu svoju priliku i postoje primjeri uspješno izvedenih projekata u kojima je primjenjivan BIM pristup.

Pred hrvatskim graditeljstvom dug je put do potpune primjene BIM pristupa, ali su pokrenuti određeni koraci. Zadnjih se nekoliko godina podigla razina svijesti među sudionicima građevinskih projekata o važnosti uvođenja suvremenih tehnologija i rješenja, a pozitivni trendovi koji se događaju, daju nadu da će se u doglednoj budućnosti vidjeti povoljniji rezultati u primjeni BIM pristupa.

2.2. Primjena BIM-a u niskogradnji

Područje niskogradnje obuhvaća izgradnju građevinskih objekata u tlu ili u razini površine tla. Dominantna vrsta radova u niskogradnji su zemljani radovi čije je specifično obilježje korištenje građevinske mehanizacije. Niskogradnja se najčešće povezuje s izvedbom prometnih komunikacija kao što su ceste i željeznice, ali nju čine i infrastrukturni objekti koji omogućuju funkcionalnost prometnih objekata kao što su mostovi, nadvožnjaci i vijadukti, hidrotehnički objekti koji obuhvaćaju razne vrste kanala, sustava vodoopskrbe i odvodnje, sustavi regulacija voda, brana, sustava natapanja, izvedbe raznih geotehničkih objekata kao što su tuneli i podzemne građevine i izvedbe iskopa, izradu nasipa i poravnanja.

Objekti niskogradnje imaju naglašenu jednu dimenziju – duljinu. Iz tog razloga govori se o linearnim objektima. Nerijetko se izvode u teškom terenu, s brojnim izazovima u području opskrbe i logistike gradilišta, a okolnosti izvođenja radova ovise o brojnim parametrima stohastičke prirode. U tom kontekstu važno je promišljati da su podloge na kojima se izrađuju modeli i projekti tek aproksimacije stanja na budućem gradilištu i da su zbog toga mogući brojni problemi pri izvođenju.

Jedan od primjera mogućih problema pri izvedbi objekata u ovim okolnostima je gradnja tunela Hranjen. Tunnel je dio brze ceste koja će povezivati Sarajevo i Goražde, a njegova je duljina gotovo 5600 metara. Pri izgradnji tunela najveći problem predstavljali su proboji podzemne vode i gotovo konstantno plavljenje gradilišta. Geotehnička istraživanja i pripadne podloge nisu na odgovarajući način reprezentirali ovaj problem, a rezultat svega bilo je golemo prekoračenje sredstava i obustava građevinskih radova. Prikaz stanja na gradilištu dan je slikom 9.



Slika 9. Evakuacija vode iz tunela Hranjen (Torche, 2019)

Upravo je veći prag tolerancije na prekoračivanje planiranih, a nerijetko i ugovoreni sredstava, segment u koji uvođenje BIM pristupa može donijeti pozitivne promjene. Većom suradnjom pri izradi projektne dokumentacije i BIM praćenjem i kontrolom izvođenja ostavlja se mogućnost kvalitetnijeg financijskog upravljanja projektima u niskogradnji.

2.2.1. BIM postupci i specifičnosti kod projekata niskogradnje

BIM postupak specifičan je zadatak koji omogućava konkretnu korist od primjene BIM pristupa u nekom projektu i to tijekom pojedine faze (ili više faza) u životnom ciklusu projekta. Postupak je određen fazom u kojoj se projekt, iako se postupci mogu provoditi kroz više faza (Andabaka i dr., 2021).

2.2.2.1. BIM postupci u projektiranju

U tradicionalnom projektiranju baziranom na CAD alatima, postoje ograničenja u korištenju većeg broja 3D podataka. Početak svakog projektiranja objekata niskogradnje vezan je za pozicioniranje predmetnog objekta u prostor. Drugim riječima, potrebno je napraviti 3D model postojećeg okoliša u koji će se uklopiti razmatrani objekt. Ulazne podatke tog modela najčešće čini 3D mreža trokuta

koja je dobivena geodetskim snimanjem terena u obliku lomnih linija i 3D točaka. Alternativni pristup dobivanju modela postojećeg terena moguć je korištenjem Tehnologije svjetlosnog zamjećivanja i klasifikacije (engl. *Light Detection and Ranging* – LiDAR) ili fotogrametrije, a podaci dobiveni na taj način zahtijevaju dodatnu obradu specijaliziranim alatima. Postoji i treći način koji uključuje izravno učitavanje podataka Geografskog informacijskog sustava (engl. *Geographic Information System* - GIS) i njihovo objedinjavanje s 3D modelom promatranog područja pomoću BIM alata.

Kada se podaci učitaju, potrebno je napraviti analizu postojećeg stanja. Važno je znati kakva je topografija, prolaze li vodotoci planiranim područjem, kakvo je stanje vlasništva i slično. Na osnovu tih analiza vrši se odabir lokacije budućeg projekta. Po dovršetku analize terena u kojem je planiran zahvat, pristupa se izradi varijantnih rješenja. Softveri u kojima se vrši projektiranje koriste interaktivne elemente kojima se modeli izrađuju puno brže i jednostavnije. Postoji mogućnost da softver predloži tip čvorišta ili utvrdi potrebu izvedbe vijadukta u slučaju visokog nasipa (Andabaka i dr., 2021). Varijantna rješenja potom se analiziraju i valoriziraju. Moguće je dodati određene točke kroz koje dionica ceste treba proći, odabrati pogodnija mjesta za prijelaz vodotoka ili postojećih komunikacija, primijeniti glatke profile s malo lomova nivelete. Izravno iz projektnog modela, moguće je izraditi vizualizaciju koja se temelji na aktualnom projektnom modelu. Vizualizacijom je moguće utvrditi pojedine nedostatke trase i predložiti poboljšanja.

BIM modeliranje linijskih objekata uključuje izradu ploha koje reprezentiraju slojeve cestovnih ili željezničkih projekata. Ti su slojevi iznimno bitni jer utječu na uporabljivost prometnice u fazi izvođenja. Dobro definiranje slojeva nasipa, vezanih i nevezanih slojeva kolničke konstrukcije od ključnog je značaja za izvođače. Da bi se osigurao kontinuitet modela i da se izbjegne prezasićenost informacijama, definiraju se dodatne osi s pripadnim niveletama koje definiraju, primjerice, rubove kolnika, prometne otoke ili lomove ploha. BIM model omogućuje izvoz ravnina koje je moguće analizirati temeljem nivelacijskih planova i po potrebi korigirati nivelete da se rješenje optimizira (Andabaka i dr., 2021).

Pri analizi projektnih rješenja do izražaja dolazi suradnja između različitih projektantskih struka. Suradnjom kroz BIM pristup moguće je otkloniti potencijalne pogreške i dobiti kvalitetnu dokumentaciju za izvedbu trase. Na primjer, moguće je uskladiti projektna rješenja koja se tiču

razmještaja prometne opreme, vegetacije, strukture, tipa i položaja objekata na trasi kako bi se osigurala dobra preglednost krajnjim korisnicima. U zemljama u kojima je primjena BIM-a prilično napredovala, definirani su standardi za provjeru različitih parametara modela putem odredbi pravilnika i normi. To se odnosi na vitoperenje kolnika, provjeru horizontalnih i vertikalnih elemenata trase u odnosu na projektnu brzinu, odvodnju. Po odabiru adekvatnog rješenja, slijedi izvoz količina i procjena troškova projekta (Andabaka i dr., 2021).

2.2.2.2. BIM postupci u koordinaciji i kontroli

U ovoj fazi pristupa se provjeri postojanja kolizija u modelu. Kolizija je pojam koji označava nekoordiniranost pojedinih elemenata građevnog sklopa. Razlikuju se tri vrste kolizija:

- fizička – elementi zauzimaju isti prostor,
- kolizije s tolerancijom – dva elementa moraju biti na određenom razmaku,
- kolizija zbog redoslijeda izvođenja – kolizija zbog faznosti građenja.

Prije provjere kolizija potrebno je definirati parametre koji će biti mjerodavni. Naime, u mnoštvu elemenata moguće je da će se javiti velik broj i prihvatljivih i neprihvatljivih kolizija. To se izbjegava formiranjem matrice kolizija kojom će se utvrditi koja vrsta kolizija je mjerodavna, koji će se elementi kontrolirati i što je uopće fokus analize. Nakon provedene analize dobivaju se rezultati koji se provjeravaju u matrici te se interpretiraju (Andabaka i dr., 2021).

2.2.2.3. BIM postupci tijekom građenja

Kako bi se smanjile ljudske pogreške na gradilištu, moguće je koristiti BIM modele korištenjem tableta ili mobilnih telefona uz pomoć aplikacija kao što su *Autodesk 360* ili *Bentley Navigator Mobile*.

Za pripremu modela izvedenog stanja ili za praćenje isporuke materijala moguće je koristiti 3D tehnologiju laserskog skeniranja ili Tehnologiju radiofrekvencijske identifikacije (engl. *Radio-frequency identification* – RFID) u kombinaciji s Globalnim položajnim sustavom (engl. *Global Positioning System* – GPS). Laserskim tehnologijama moguće je točno izmjeriti geometriju nosivih slojeva konstrukcije.

Praćenje strojnog rada i poboljšanje učinka strojeva moguće je uz GPS navođenje modernih strojeva. GPS uređaj na elementu stroja komunicira s baznom stanicom, očitavaju se koordinate i položaj te je na taj način moguće prilagoditi dubinu iskopa ili potrebnu visinu dohvaćanja.

Praćenje napretka radova moguće je kombiniranjem BIM modela, laserskih skenera, GPS-a i mobilnog računalstva. Cilj je prepoznati 3D element i povezati ga s podacima o planiranom rasporedu u 4D simulaciji i na taj način procijeniti napredak građenja (Andabaka i dr., 2021).

2.2.2.4. BIM postupci tijekom održavanja

Osim što održavanje čini najduži dio životnog vijeka projekta, ono u prosjeku čini više od dvije trećine troškova vlasništva. Dobro razrađen model koji sadrži kvalitetne informacije preduvjet je iskorištavanja benefita BIM pristupa u ovoj fazi. Prvenstveno, potrebno je obratiti pažnju da je model ispravno ažuriran – obraća se pažnja na podatke svih struka o projektu prometnice, projektu odvodnje, ugrađenoj opremi, rasvjeti i objektima. Samo tako, model će biti mjerodavan izvor informacija. Postupak tehničkog pregleda građevine moguće je pojednostaviti primjenom specijaliziranog softvera koji prati svu opremu, sustave, provjere, testove koje je nužno pokrenuti i provjeriti njihov status.

Zaključno, BIM modeli omogućavaju da se iz njih stvori AIM. Upravljanje imovinom uključuje sustav za učinkovito održavanje i funkcioniranje infrastrukturne građevine s cijelom imovinom kojom vlasnik upravlja. Na taj način olakšava se donošenje financijskih odluka, pregled imovine, definiranje potreba za redovnim ili izvanrednim održavanjem i odgovornim upravljanjem. U slučaju cesta koje su linijski objekti, za prikupljanje podataka koriste se visokospecijalizirani sustavi koji se sastoje od vozila koje snima georeferencirani video i 3D oblak točaka te softverske podrške koja treba prepoznati snimljene elemente.

BIM rješenja uključuju tijekove izgradnje i upravljanja modelima, analizu trenutačnih uvjeta pod kojima funkcionira infrastruktura i prijedloge poboljšanja (Andabaka i dr., 2021).

2.2.2. BIM softveri za infrastrukturne projekte u području niskogradnje

Svaki građevinski pothvat, u pogledu dokumentacije, iznimno je sadržajan. Prisutni su brojni elaborati, projekti pojedinih struka, programi kontrole i osiguranja kvalitete, metodologije radova i

slično. Za projekte cesta, ovisno o njihovom rangu, potrebno je izraditi projekte trase, projekte objekata, projekte odvodnje, projekte instalacija, projekt zaštite od buke, projekt krajobraznog uređenja, projekte prometne signalizacije i opreme, geotehničke projekte.

Iz ovog uvodnog dijela vidljivo je da se radi o velikoj količini podataka koje treba pravilno obraditi i međusobno uskladiti. Za provođenje BIM pristupa u izvedbi projekata cestovne infrastrukture postoje softverski alati koji nude rješenja za projektiranje i izvođenje. Na međunarodnom tržištu dominantna su dva dobavljača softvera: *Autodesk* i *Bentley*.

Autodesk za područje projektiranja infrastrukturnih građevina nudi aplikaciju *Civil 3D*. Primarno je namijenjena izradi glavnih i izvedbenih projekata. Aplikacija *Infraworks* koristi se za izradu konceptualnih rješenja – idejnih prijedloga i projekata. Za analizu kolizija, koordinacije i praćenje u 4D i 5D koristi se *Navisworks Manage*. Za modeliranje objekata na trasi (mostovi, vijadukti, tuneli, itd.) u primjeni je i *Revit*. U razvoju softvera, naglasak je u zadnje vrijeme na poboljšanju suradnje između opisanih aplikacija. Dodatno, u projektiranju su dostupni i sljedeći softveri:

- *Recap Pro* – za 3D skeniranje i obradu snimljenih točaka,
- *Vehicle Tracking* – za analizu trajektorije vozila,
- *3DS Max* – za vizualizaciju i 3D modeliranje, animacije i fotorealistični prikazi.

Bentley za projektiranje cesta od 2016. godine nudi aplikaciju *OpenRoads*. Aplikacija sadrži model Corridor koji se sastoji od funkcionalnih komponentni koje omogućavaju postavljanje složenih elemenata. Operacije unutar *OpenRoads-a* izvode se u *Microstation* okružju, *Bentley-ovoj* CAD aplikaciji. Kratki opis alata Bentley platforme je sljedeći:

- *OpenRoads ConceptStation* – idejni projekti cesta i mostova uz preliminarne procjene troškova i vizualizacije,
- *Bentley Descartes* i *Pointools* – alati za vizualizaciju, manipulaciju i obradu točaka,
- *OpenBridge Designer* – jedna od aplikacija za modeliranje mostova,
- *Bentley Navigator*, *Navigator Mobile*, *Navigator Web* – aplikacije za pregled modela, 3D koordinacija i komunikacija, posebno tijekom građenja,
- *ProjectWise Design Integration*, *ProjectWise Edge*, *OpenRoads Navigator* – za upravljanje dokumentacijom i komunikacijom između projektnih timova,

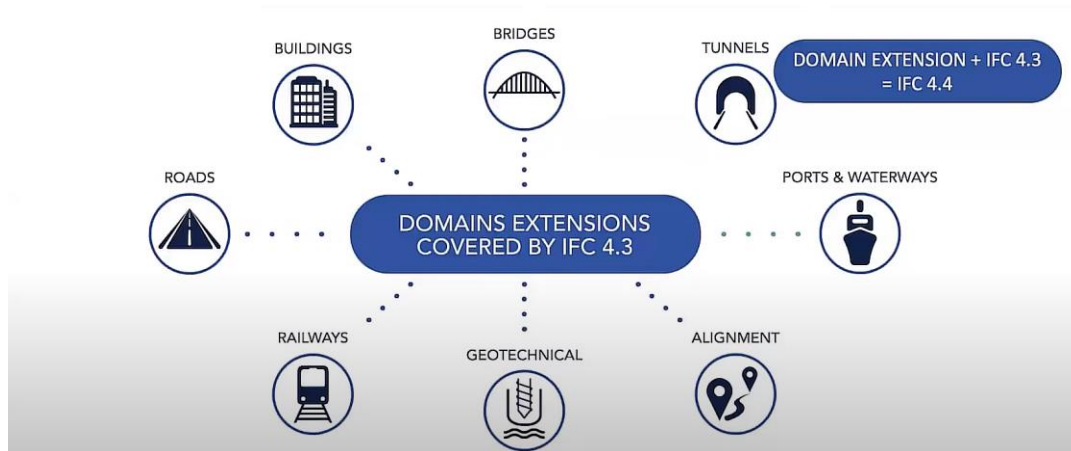
- *Lumen RT* – za izradu 3D vizuala.

Uz ove dvije opisane platforme, postoje i druge koje se primarno razvijaju i orijentiraju za velika tržišta (Francuska, Njemačka, Švedska i dr.) (Andabaka i dr., 2021). Jedan od primjera takvih softvera je *Allplan* kojeg je razvila njemačka kompanija Nemetschek. Ovaj softver omogućuje implementiranje BIM rješenja u objekte visokogradnje i niskogradnje.

2.2.3. IFC shema za projekte niskogradnje

Prometna infrastruktura do objave sheme IFC 4.3. bila je slabo zastupljena kod korištenja IFC-a. Objekti modelirani u IFC shemi 2x3 vrlo su općeniti i imaju malo specifičnih informacija koje su potrebne za cestogradnju. IFC shema 4.3. prva je koja uvodi širok raspon definicija za strukturirani prikaz infrastrukturnih građevinskih projekata (Pszczolka, 2022).

IFC shema 4.3. obuhvaća setove podataka za opis željeznice, ceste, objekte vodnog prometa, mostove i ostale inženjerske građevine vezane za promet, vidljivo na slici 10.



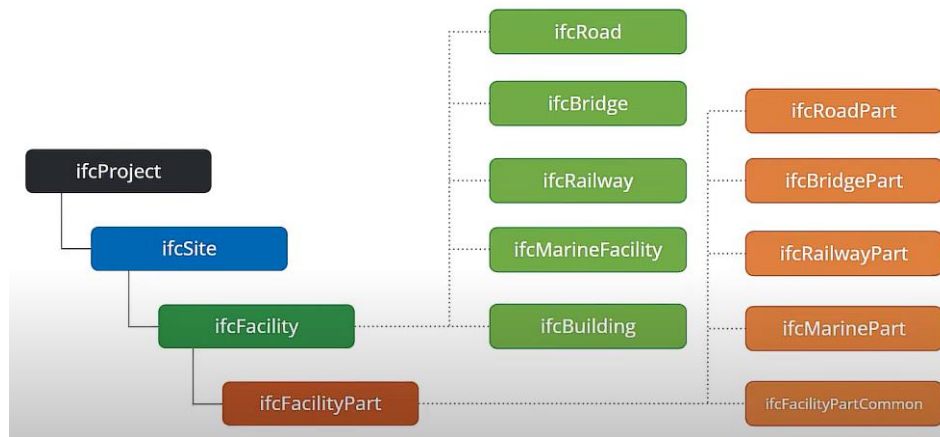
Slika 10. Domene obuhvaćene IFC 4.3. (Pszczolka, 2022)

Kako se ovdje radi o objektima koje je potrebno pozicionirati u prostoru, važna je novina u IFC shemi 4.3. domena Usklađivanje (engl. *Alignment*). Ona se koristi za definiranje referentnog sustava za pozicioniranje linijskih objekata u skladu s metodologijom lineranog referenciranja opisanog normom ISO 19148 (Pszczolka, 2022). Usklađivanje se odnosi na:

- definiranje referentnog sustava za linearno pozicioniranje,
- kinematičku perspektivu koja ima fokus na sigurnom i optimiziranom kretanju vozila,

- geometriju ceste, pruge ili druge linijske infrastrukture.

U shemi IFC-a koja se prethodno koristila, za opisivanje modela infrastrukturnih objekata, upotrebljavala se domena *IfcBuilding*. IFC 4.3. omogućuje novu, bogatiju, hijerarhijsku podjelu u skladu s projektnim zahtjevima infrastrukturne građevine. Prikaz je dan slikom 11 (Pszczolka, 2022).



Slika 11. Hijerarhijska podjela IFC 4.3. sheme (Pszczolka, 2022)

Zaključno, model ceste u IFC shemi 4.3. sadrži

- *IfcSpatialElement* – prostornu podjelu projekta ceste,
- *IfcElement* – fizičke komponente,
- *IfcLinearElement* i *IfcPositioningElement* – segmenti linije koji tvore poravnanje i položaj poravnanja,
- *IfcAnnotation* – linije iskolčenja (Pszczolka, 2022).

2.2.4. Primjeri projekata niskogradnje modeliranih u BIM okruženju

Iz prikazanih projekata u nastavku vidljivo je nekoliko stvari koje signaliziraju način i razumijevanje BIM procesa u projektima izgradnje prometnica i pratećih objekata. Pozitivno je to što su tvrtke uvidjele važnost primjene suvremenog pristupa u svoje poslovanje. Za uvođenje novih tehnologija potrebno je osigurati softverske, hardverske i ljudske kapacitete, kao i organizacijsku kulturu tvrtke u cjelini. Razvoj timova koji se bave ovim pristupom često treba potporu stručnjaka iz konzultantskih kuća specijaliziranih za ovu djelatnost. Uz suradnju s konzultantima moguće je ostvariti pozitivne pomake u poslovanju, prilagoditi pristup svoje tvrtke novim trendovima, stvoriti snažne timove koji će uvođenjem promjena u poslovanje stvarati novu vrijednost i u projektima i u svojim poduzećima.

Tako prepoznata poduzeća koja nude veću produktivnost pri izvedbi svojih projekata, i projekti koji imaju nove performanse, postaju primamljivi prvenstveno mlađim generacijama inženjera i omogućava se transfer znanja između zaposlenih u lancu. Dodatno, stvaraju se agilni sustavi koji su prepoznati kao tvrtke koje mogu odgovoriti na velike izazove u infrastrukturi. Primjerice, most Počitelj postaje prepoznatljiva referenca tvrtke Hering koja je primjenom BIM modela ponudila kvalitetno tehnološko rješenje izvedbe ovog iznimnog objekta. Kompanija CSEC LTD korištenjem BIM praćenja i kontrole na izvedbi poddionice Počitelj – Zvirovići, u iznimno zahtjevnim okolnostima koje su uzrokovane poremećenim lancima opskrbe, uspješno vodi izvođenje zahtjevnog dijela autoceste. Javno poduzeće Autoceste Federacije Bosne i Hercegovine za sve projekte na koridoru 5C koji su raspisani putem međunarodnih natječaja od 2016. godine propisuje da moraju biti projektirani primjenom BIM tehnologije i to je stavka natječajne dokumentacije. Do sada, BIM dokumentacija izvedena je za dionice Klopče – Donja Gračanica, Ponirak – Vraca, Zenica jug – Zenica sjever, Svilaj – Odžak, Tarčin – Ovčari, Buna – Počitelj i tunel Hranjen koji je izvan koridora 5C. Modeli koji nastaju služe za analizu kolizija, praćenje i te za fazu održavanja.

Primjena BIM tehnologije nije na razini koja je dostignuta u nekim zemljama zapadne Europe. BIM modeli uglavnom se razvijaju odvojeno, a cjeline i informacije se ne integiraju. Sve to svodi BIM model većinom na vizualizaciju stanja (projektiranog ili izvedenog), a puna uporaba BIM-a ostaje neostvarena. Modeli koji nastaju, uglavnom su rezultat uvoza 2D CAD ili u određenim slučajevima 3D dokumentacije i nisu rezultat projektiranja u BIM okruženju. Dodatno, postoji mogućnost uvođenja LiDAR tehnologije, GPS, Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (engl. *Global Navigation Satellite System* – GNSS) ili sličnih tehnologija koje bi olakšale praćenje napretka i strojnog rada, pogotovo u slučajevima velikih količina pojedinih vrsta radova, teško dostupnog terena i velikog broja radnih jedinica koje su prisutne na gradilištu. Izvođačka poduzeća bi na taj način mogla smanjiti gubitke u strojnom radu, a generiranje analiza praćenja i kontrole u BIM okruženju omogućilo bi brže reagiranje na rezultate koji odstupaju od planiranih. U nastavku su prikazani neki primjeri primjene BIM-a u niskogradnji.

2.2.4.1. Most Počitelj na koridoru VC – Federacija Bosna i Hercegovina

IPSA institut iz Sarajeva, uz potporu Walter-a, razvio je BIM 4D model mosta Počitelj. Investitor, Javno poduzeće Autoceste Federacije Bosne i Hercegovine, naručili su ovaj projekt još 2015. godine. Glavni je projekt izrađen tradicionalnim pristupom te je 2018. godine odlučeno da će se pokazati kompetencije za buduće projekte koji zahtijevaju implementaciju BIM tehnologije. Na temelju tradicionalnog modela, u roku od 2 tjedna, napravljen je 4D model. Rasponska konstrukcija mosta sastavljena je od parametarskih BIM komponenti čiji se broj i veličina mogu mijenjati putem parametara, ovisno o tehnologiji koju je odabrao izvođač. Istodobno, broj, dimenzije i sva druga svojstva svakog segmenta zajedno s tehničkom dokumentacijom mogli su se brzo ažurirati. Naredni je korak bio izrada 4D simulacije za prikaz vremenskog okvira faza izgradnje, što je učinjeno korištenjem prethodno razvijenog modela u Revit-u i Autodesk Navisworks-u (Walter AEC d.o.o., 2023). Vizualizacija jednog dijela mosta Počitelj je na slici 12.



Slika 12. Vizualizacija mosta Počitelj (Walter AEC d.o.o. 2023)

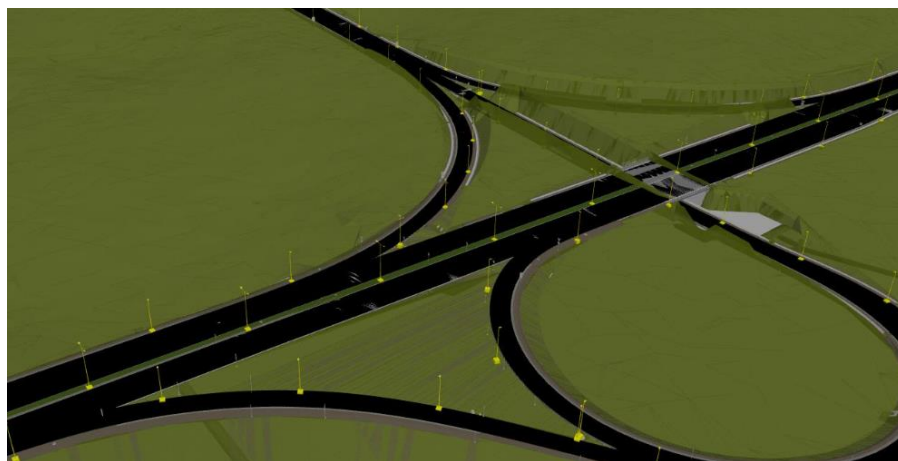
Duljina mosta je 980 metara, visina stupišta je preko 90 metara, a izvodi se tehnologijom slobodne konzolne gradnje. Na natječaju za izvođenje pobijedila je azerbajdžanska tvrtka AzVirt LLC, a radove izvodi bosansko - hercegovačka kompanija Hering d.d. iz Širokog Brijega (JP Autoceste FBiH, 2022). Slika 13 prikazuje radove na izvođenju mosta Počitelj.



Slika 13. Gradilište mosta Počitelj (JP Autoceste FBiH d.o.o., 2022)

2.2.4.2. Dionica Počitelj – Zvirovići, Federacija Bosna i Hercegovina

Poddionica Počitelj – Zvirovići dio je dionice Počitelj – Bijača koridora VC kroz Bosnu i Hercegovinu. Duljina poddionice je 11,20 km i započinje neposredno pored petlje Počitelj. Trasa uključuje nadvožnjak, četiri podvožnjaka, četiri mosta i tunel. Kompanija Bexel izradila je BIM izvedbeni plan, BIM model LOD 300, analizu kolizija i po okončanju, BIM model izvedenog stanja. Model ne uključuje prethodno opisan most Počitelj. Vizualizacija modela dana je slikom 14 (Bexel Consulting, 2021).



Slika 14. Prikaz autoceste A1 u blizni Počitelja (Bexel Consulting, 2021)

Radove na poddionici Počitelj – Zvirovići izvodi kineska državna kompanija China State Construction Engineering Corporation LTD. Prikaz stanja radova na gradilištu dan je slikom 15 (JP Autoceste FBiH, 2022).



Slika 15. Gradilište u blizini Počitelja, poddionica Počitelj - Zvirovići (JP Autoceste FBiH, 2022)

2.2.4.3. Projekt rekonstrukcije i proširenja graničnog prijelaza Horgoš

Granični prijelaz Horgoš nalazi se na međunarodnoj autocesti E-75 i početna je točka autoceste između Subotice i Beograda. Izgrađen je 2004. godine na granici Republike Mađarske i Republike Srbije. Predmet radova su površine, objekti i sadržaji niskogradnje, visokogradnje i infrastrukture namijenjeni službama Ministarstva unutarnjih poslova Srbije i Uprave carine Srbije na kojima se vrši policijski nadzor, carinska i inspeksijska kontrola. Projektnim zadatkom, osim rekonstrukcije postojećih objekata, predviđene su 4 nove prometne trake za putnička vozila i autobuse, 2 dodatne trake za kamione, rekonstrukcija 112 000 m² površine obuhvata, izgradnja novih terminala, objekata i parkirališnih površina. Nositelj projekta i izvor financija je Ministarstvo građevinarstva, prometa i infrastrukture Republike Srbije, investitor je Republička direkcija za imovinu, projektant je Prometni institut CIP d.o.o Beograd, izvođač je GP Jadran d.o.o. Beograd, a nadzor je povjeren tvrtkama Šidprojekt d.o.o. iz Šida i Geopanonija d.o.o. iz Novog Sada (Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, 2021).

Prikaz novoprojektiranog rješenja je na slici 16, a stanje prije početka radova dano je slikom 17.



Slika 16. Vizualizacija modela GP Horgoš (GP Jadran d.o.o., 2022)



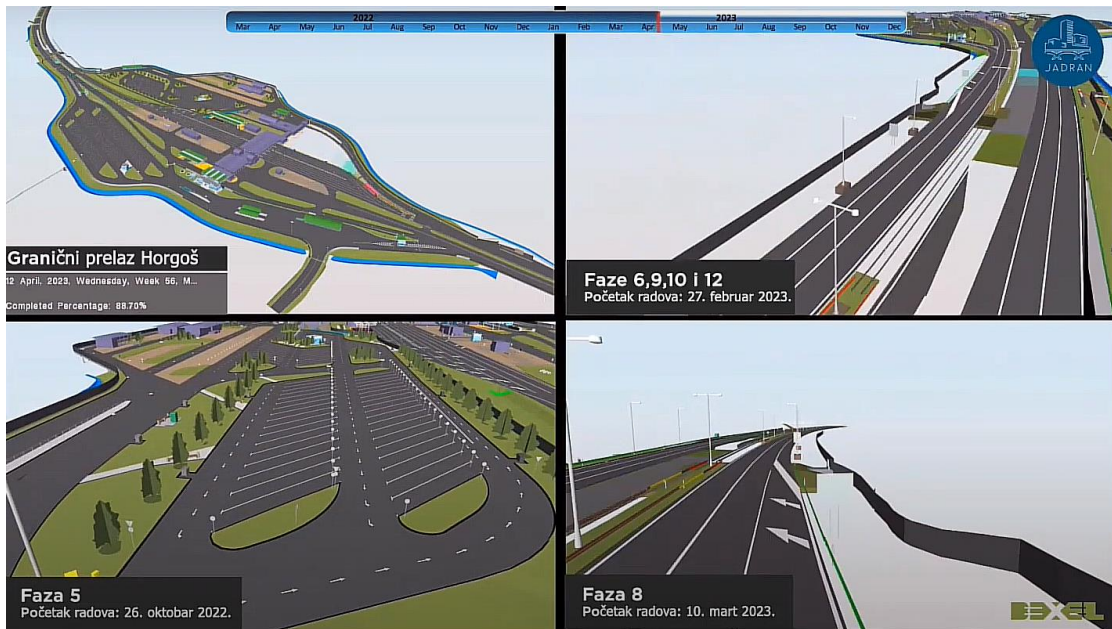
Slika 17. Granični prijelaz Horgoš prije rekonstrukcije (Ministarstvo građevinarstva, saobraća i infrastrukture, 2021)

BIM model razvijen je u pet dimenzija od strane GP Jadran d.o.o. Beograd uz podršku konzultanata iz kompanije Bexel Manager. Razvijene su procedure toka projektne dokumentacije, sve je popraćeno internim dokumentima o napretku i razvoju modela, provođene su tzv. dry – run probe (probe na suho), formirane su vlastite baze znanja i model je dostigao petu dimenziju u skladu s potrebama poduzeća. Radovi na objektu započeli su 24. siječnja 2021. godine, uz rok izvedbe 30 mjeseci. Slikom 18 prikazano je stanje radova na gradilištu (GP Jadran d.o.o., 2022).



Slika 18. Aktivno gradilište na Horgošu (GP Jadran d.o.o., 2022)

Slika 19 prikazuje vizualizaciju izvedbe objekta modeliranu kroz softver Bexel Manager.



Slika 19. Vizualizacija izvedbe po fazama na GP Horgoš (GP Jadran d.o.o., 2022)

2.2.4.4. Projekt rekonstrukcije i proširenja autoceste, Zapadna Australija

Do sada predstavljeni primjeri pokazuju još nisku razinu razumijevanja BIM-a i korištenja njegovih mogućnosti. Primjer iz Australije pokazuje kako je kvalitetnom projektnom suradnjom uz primjenu BIM pristupa moguće ostvariti brojne benefite, i za društvo i za projekt. Izgradnja završena gotovo tri mjeseca prije roka (Chong i dr., 2016).

Projektom je obuhvaćeno 4,20 km autoceste s proširenjem broja voznih traka sa četiri na šest, izgradnjom središnjeg pojasa, poboljšanjem prometnih obilježja postojećih raskrižja, izvedbe traka za autobuse, trake za bicikliste i pješačke staze. Vrijednost projekt iznosila je 125,40 milijuna dolara, a planirano trajanje radova bilo je 12 mjeseci. Pri izradi modela korišteni su *Autodesk AutoCAD Civil 3D* i *Navisworks*, kao i *12D Model* i *Bentley MXRoad* (Chong i dr., 2016).

BIM pristup uveden je u početnoj fazi projekta. Svi procesi kao što su pohranjivanje datoteka, struktura mapa, imenovanja itd., razvijeni su od nule. Uobičajene BIM upotrebe za inženjerske analize, iskaze količina i analizu kolizija provedene su za podršku i koordinaciju 3D, 4D i 5D modela. Modeli su iznimno pomogli u konzultacijama projektnih sudionika različitih struka, njihovoj koordinaciji i komunikaciji (Chong i dr., 2016).

U fazi izvođenja BIM model korišten je u postupcima pregleda terena i iskolčenja. Projektant i izvođač mogli su virtualno i fizički vidjeti prostor obuhvata i prepreke na njemu. Model se ažurirao jednom mjesečno korištenjem GIS i Navisworks podataka. Praćenje napretka izvođenja bilo je dostupno široj javnosti putem web – stranice kako bi mogli biti informirani o tome što se događa u okolini (Chong i dr., 2016).

U fazi održavanja objekt je predan investitoru koji je zainteresiran za praćenje stanja infrastrukture i geoprostornih podataka. Aplikacije koje to omogućuju se razvijaju kako bi se u potpunosti mogle povezati s BIM platformom (Chong i dr., 2016).

3. Analiza studije slučaja

Analizom slučaja promatran je projekt izgradnje dionice Lekenik – čvor Sisak autoceste A11 Zagreb – Sisak te su prikazane opće projektne informacije.

3.1. Općenite informacije o autocesti A11

Autocesta A11, poznata i pod imenom Turopoljska autocesta, moderna je poveznica grada Zagreba i Siska. Trasa autoceste započinje na čvoru Jakuševac autoceste A3 Bregana – Lipovac s prvotno planiranim završetkom autoceste u naselju Mošćenica, ukupne je duljine 47,50 km. Autocesta je podijeljena u 3 dionice: Jakuševac – Velika Gorica jug (l = 9,75 km), Velika Gorica jug – Lekenik (l = 20,20 km) i Lekenik – Mošćenica (l = 17,80 km) (Hrvatske autoceste d.o.o., 2006).

Cilj izgradnje autoceste bio je povezati industrijsko područje Siska s metropolitanskim područjem Zagreba. Sekundarno, pomoći u razvoju Banovine i donjeg Turopolja i u budućnosti povezivanju Zagreba i područja Bosanske krajine preko buduće brze ceste Petrinja – Hrvatska Kostajnica – granica s RS / BiH - Novi Grad – Prijedor i buduće autoceste Banja Luka – Prijedor.

Radovi na dionici Velika Gorica jug – Jakuševac otvoreni su 5. travnja 2006. godine s rokom izgradnje dionice od 18 mjeseci. Rok je probijen zbog neriješenih imovinsko - pravnih odnosa, gradnja je nekoliko puta prekidana i dinamika radova bila je izrazito spora (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2006).

Radovi na poddionici Velika Gorica jug – Buševac, dionice Velika Gorica jug – Lekenik, započeli su u listopadu 2007. godine nakon izgradnje petlje Kušanec koja je dio čvora Velika Gorica jug. Poddionica duljine 9 km otvorena je 9. svibnja 2009. godine (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2009).

Velika ekonomska kriza koja je pogodila hrvatsko gospodarstvo dodatno je usporila izvedbu ove autoceste. U pitanje je dovedena njezina isplativost, a postalo je upitno hoće li se ikada krenuti s radovima južno od Lekenika.

Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 27. prosinca 2013. godine usvojila je Prijedlog Odluke o davanju suglasnosti Hrvatskim autocestama d.o.o. na Plan građenja i održavanja autocesta za 2014. godinu. Tim je dokumentom predviđeno da se u 2014. godini otvori poddionica Buševac – Lekenik. Dodatno, Planom građenja i održavanja javnih cesta za razdoblje 2013. do 2016. godine, usvojenim

na istoj sjednici, predviđen je i završetak izgradnje dionice Jakuševac – Velika Gorica jug (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2013).

Poddionica Buševac – Lekenik, duljine 11,20 km, svečano je puštena u promet 22. travnja 2015. godine i istog je dana započeo zatvoreni sustav naplate cestarine od čvora Velika Gorica jug (Mraclin) do čvora Lekenik, ukupne duljine 22 km (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2015).

Dionica Jakuševac - Velika Gorica jug, otvorena je gotovo 9 godina nakon početka izgradnje, 3. studenog 2015. godine, i time su u promet puštena 32,90 km ove autoceste. Iz obuhvata je izbačen spoj na Sarajevsku cestu tako da je petlja Jakuševac ostala nedovršena (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2015).

U idućem su vremenu aktivnosti na izvođenju posljednje dionice autoceste bile izvan fokusa. Razvijala su se promišljanja na koji je način najbolje uvezati područje Siska i Petrinje s autocestom i kao rezultat tih promišljanja krenulo se u proces izmjene glavnog projekta. Posljednja dionica autoceste skraćena je na 10,95 km i na nju se nastavlja brza cesta čvor Sisak – Sisak, a s trase autoceste predviđena je posebna prometnica koja bi povezivala Petrinju i autocestu A11 u zoni naselja Petrovac.

Serijom razornih potresa koji su pogodili središnju Hrvatsku, a koji su imali epicentar u području Sisačko – moslavačke županije, autocesta ponovno dolazi u fokus javnosti. Na temelju Strategije prometnog razvoja Republike Hrvatske 2017. – 2030. godine, Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 4. veljače 2021. godine usvojila je Zaključak o dovršenju izgradnje Autoceste A11 Zagreb – Sisak, dionice Lekenik – Sisak. Zaključkom je potvrđen stav Vlade Republike Hrvatske da se podržava ubrzanje dovršetka izgradnje autoceste A11 Zagreb – Sisak, dionice Lekenik – Sisak, kao prioritetnog projekta za dugoročnu revitalizaciju Sisačko – moslavačke županije (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2021).

3.2. Opis dionice Lekenik - Sisak

Važnost spomenutog Zaključka o dovršenju izgradnje Autoceste A11 Zagreb – Sisak, dionice Lekenik – Sisak očituje se u zadavanju operativne dinamike investitoru. Zaključkom se zadužuje društvo Hrvatske autoceste d.o.o. da najkasnije do 28. veljače 2021. godine pokrene otvoreni postupak javne nabave radova izgradnje autoceste A11 Zagreb – Sisak, dionice Lekenik – Sisak, procijenjene

vrijednosti nabave u iznosu 300 milijuna kuna iz sredstava predviđenih Financijskim planom Hrvatskih autocesta d.o.o. za 2021. godinu s projekcijama za 2022. i 2023. godinu (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2021).

Na predmetno nadmetanje pristiglo je 9 ponuda:

1. Zajednica ponuditelja Rizzani de Eccher S.p.A. i GP Krk
2. Swietelsky d.o.o.
3. Zajednica ponuditelja Kamgrad d.o.o., Kolektor Kolding d.o.o. i Zagorje gradnja d.o.o.
4. Zajednica ponuditelja GIP pionir d.o.o., Hering d.d. i VOC Celje d.o.o.
5. Zajednica ponuditelja Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o.
6. Zajednica ponuditelja Strabag d.o.o. i Strabag AG
7. Društvo za izgradnju beton Skoplje d.d.
8. Gorenjska gradbena družba d.d.
9. Gener Sh.p.k. Tirana

Odlukom o odabiru ponuditelja odabrana je ponuda zajednice ponuditelja Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o. vrijednosti 281.337.985,88 kn, odnosno 351.672.482,35 kn s PDV-om. (Hrvatske autoceste d.o.o., Odluka o odabiru, 2022). Ugovor o izgradnji potpisan je 18. veljače 2022. godine, izvođač je uveden u posao 25. veljače 2022. godine, a prvi navoz na trasi obavljen je 16. ožujka 2022. godine. Rok za izvedbu je 24 mjeseca od uvođenja izvođača u posao (Hrvatske autoceste d.o.o., 2022). Colas Hrvatska d.d. zadužen je za izgradnju same trase, a tvrtka Geotehnika d.o.o. zadužena je za izvedbu objekata na trasi.

Predmetna dionica započinje na stacionaži 20+200 km u zoni čvora Lekenik, a završava na stacionaži 29+594,36 km koja je početak kraka 1 čvora Sisak (0+00 km). Krak 1 čvora Sisak završava na stacionaži 1+466,66 km, a ta stacionaža početak je spojne ceste čvor Sisak – Sisak.

Za predmetnu dionicu s pripadajućim objektima i infrastrukturnom opremom izdana je od strane Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva lokacijska dozvola Klasa: UP/I-350-05/08-01/70; Ur. broj: 531-06-08/32NK od 21. kolovoza 2008. godine te I. Izmjena i dopuna lokacijske dozvole Klasa: UP/I-350-05/12-01/69; Ur. broj: 531-05-1-2-12-7KM, od 16. srpnja 2012. godine.

Na temelju navedene lokacijske dozvole izdane su sljedeće građevinske dozvole:

- Prelaganje i zaštita postojećih instalacija, Klasa: UP/I-361-03-9-01/50; Ur. broj: 531 – 18 -1 – 1467-10-19, od 19. travnja 2010. godine. Početak radova po dozvoli prijavljen je 17. lipnja 2010. godine.
- Trasa autoceste i spojne ceste, čvorišta, putni prijelazi i prolazi, prometne površine čeonog cestovnog prolaza i centra za održavanje i kontrolu prometa Sisak, objekti, odvodnja i prometna signalizacija, Klasa: Up/I-361-03-10-01/81; Ur. broj: 531-18-1-1-1-1467-11-23, od 31. siječnja 2011. godine. Pravomoćnost nastupila danom 11. ožujka 2011. godine. Produženje po Rješenju Klasa: UP/I-361-03/13-01/44, Ur. broj: 531-04-1-2-1-1467-16-4 od 18. ožujka 2013. godine. Početak radova po dozvoli prijavljen 11. ožujka 2015. godine.
- Most Odra, Klasa: UP/I-361-03/18-01/000085, Ur. broj: 531-06-2-1-18-0012, od dana 3. prosinca 2018. godine.

Zaključkom Vlade Republike Hrvatske od 23. veljače 2017. godine sklopljen je Sporazum o financiranju i izgradnji dijela spojne ceste prema Sisku između Hrvatskih autocesta i Hrvatskih cesta. S obzirom da Zaključkom Vlade RH nije obuhvaćena funkcionalna prometna cjelina spojne ceste, od strane Hrvatskih cesta dostavljena je potvrda razgraničenja prema granicama nadležnosti te faznost izgradnje spojne ceste kako bi se definirala izgradnja prema funkcionalnim prometnim cjelinama za koje je moguće dobiti zasebne građevinske dozvole. Od strane Hrvatskih autocesta aktivirana je dozvola za trasu autoceste uključivo i spojnu cestu. Zbog II. Izmjene i dopune lokacijske dozvole (Klasa: UP/I350-05/18-01/000209, Ur. broj: 531-06-2-1-1-19-0009 izdane 6. svibnja 2019. godine s pravomoćnošću 17. lipnja 2019. godine), a kojom se mijenja etapnost i faznost izgradnje, napravljena je izmjena i dopuna glavnog projekta (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021). Izmjena i dopuna glavnog projekta u skladu je s posebnim uvjetima iz Lokacijske dozvole, izrađena je geodetskim podlogama transformiranim u Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRS) te je usklađena s važećom tehničkom regulativom

Predmetne izmjene i dopune glavnog projekt obuhvaćaju:

- Trasu autoceste od 20+200,00 km do 29+594,36 km, krak 1 čvora Sisak, prijelaze Lekenik, Dužica, Greda, Sela, Petrovac i Jazvenik 1), prometne površine čeonog cestarskog prolaza

(ČCP) Sisak, objekte (nadvožnjaci Lekenik, Dužica, Greda, Sela, Petrovac i Jazvenik 1 te mostove Duben 1 i Duben 2), odvodnju, prometnu signalizaciju, pripadne instalacije i zaštitu od buke.

U odnosu na dokumentaciju za koju je izdana građevinska dozvola iz siječnja 2011. godine, izbačeni su dijelovi koji se odnose na spojnu cestu čvor Sisak – Sisak, krakove 2, 3 i 4 čvora Sisak i prometne površine centra za održavanje i kontrolu prometa (COKP) Sisak (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

3.3. Tehnički opis trase autoceste

Cijela trasa vodi se ravničarskim područjem u niskom nasipu prosječne visine 1,30 m. Trasa je položena smjerom sjeverozapad – jugoistok, prati postojeću državnu cestu D30 i ne prelazi preko značajnijih vodotoka niti željezničke pruge.

Dionica autoceste Lekenik – Sisak ima dva odvojena kolnika s dva prometna traka i zaustavnim trakom na svakom kolniku. Za $v_{rač} = 130$ km/h minimalni dozvoljeni polumjeri horizontalnih krivina za autocestu iznosi $R = 850$ m, a minimalni dozvoljeni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljena iznosi 27600 m. Primijenjeni tlocrtni i vertikalni elementi na trasi zadovoljavaju kriterije za računsku brzinu 130 km/h. Krak 1 čvora Sisak projektiran je za računsku brzinu 90 km/h s primijenjenim minimalnim horizontalnim radijusom 350 m i poprečnim nagibom do 7 %, što ima opravdanje u znatnom smanjenju zemljanih radova, a posljedično i površine koju zauzima (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Elementi poprečnog profila od 20+200 km do 27+775,00 km:

- širina voznih trakova: $2 \times 2 \times 3,75$ m = 15,00 m,
- rubni trakovi: $2 \times (0,50 + 0,20)$ = 1,40 m,
- zaustavni trakovi: $2 \times 2,50$ = 5,00 m,
- razdjelni pojas: 4,00 m,
- bankina: $2 \times 2,0$ m = 4,00 m.

Elementi poprečnog profila od 27+775,00 km do 29+594,36 km:

- širina voznih trakova: $2 \times 2 \times 3,50$ m = 14,00 m,

- rubni trakovi: $2 \times 2 \times 0,50 \text{ m} = 2,00 \text{ m}$,
- razdjelni pojas: 4,00 m,
- bankina: $2 \times 2,0 \text{ m} = 4,00 \text{ m}$ (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Poprečni nagib kolnika autoceste cijelom dužinom iznosi 2,50 % zbog velikih horizontalnih radijusa (5000 m i 7500 m). Zaustavni trak ima isti nagib po smjeru i veličini (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

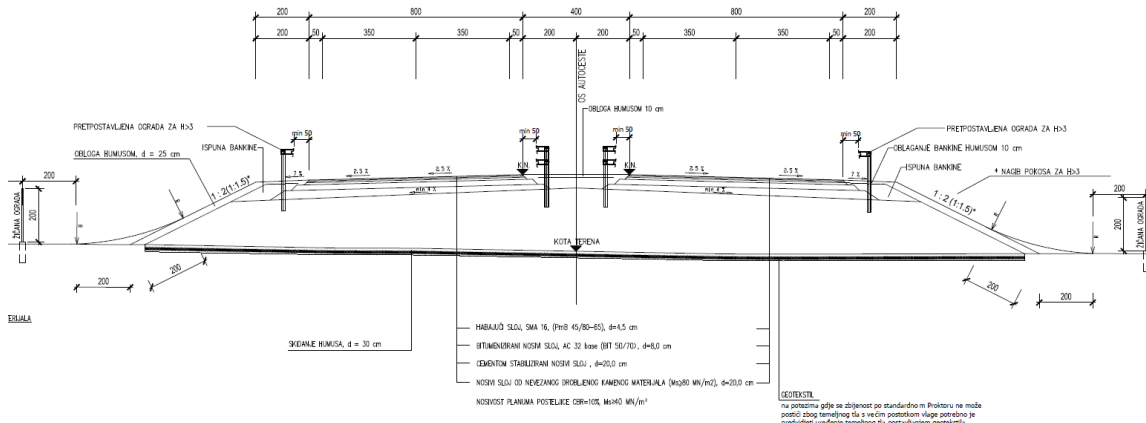
Kolnička konstrukcija voznih trakova autoceste do početka ČCP Sisak (od 20+200 km do 27+775,00 km):

- habajući sloj SMA 16 (PmB 45/80-65), debljine 4,5 cm,
- bitumenizirani nosivi sloj AC 32 base (BIT 50/70), debljine 9,0 cm,
- cementom stabilizirani nosivi sloj, debljine 20 cm,
- mehanički nosivi zbijeni sloj, debljine 20 cm (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Kolnička konstrukcija voznih trakova autoceste od završetka ČCP Sisak do kraja dionice (od 27+775,00 km do 29+594,36 km):

- habajući sloj SMA 16 (PmB 45/80-65), debljine 4,5 cm,
- bitumenizirani nosivi sloj AC 32 base (BIT 50/70), debljine 8,0 cm,
- cementom stabilizirani nosivi sloj, debljine 20 cm,
- mehanički nosivi zbijeni sloj, debljine 20 cm (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Slobodni profil autoceste je 4,80 m prema *Pravilniku o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa*. Nagibi pokosa nasipa autoceste su 1:2 (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021). Slikom 20 prikazan je karakteristični poprečni profil glavne trase u horizontalnoj krivini $r \geq 5000 \text{ m}$.



Slika 20. Karakteristični poprečni profil trase autoceste (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

3.4. Tehnički opis čvora Sisak

Na ovoj je dionici predviđeno čvorište Sisak, a u ovoj se fazi izgradnje izvodi samo krak 1 koji se nadovezuje na kraj dionice Lekenik – Sisak u 29+594,36 km. Krak 1 čvora Sisak projektiran je za računsku brzinu 90 km/h (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Na kraku 1 primijenjene su sljedeće vrijednosti:

- minimalni tlocrtni radijus = 350 m,
- minimalni radijus vertikalnog zaobljenja – konkavnog i konveksnog karaktera – 21 000 m,
- maksimalni nagib nivelete $i = 0,7 \%$ (u usponu i u padu),
- poprečni nagib kolnika u pravcu: $p = 2,5 \%$,
- maksimalni nagib kolnika u krivini: $p = 7,0 \%$.

Elementi poprečnog profila:

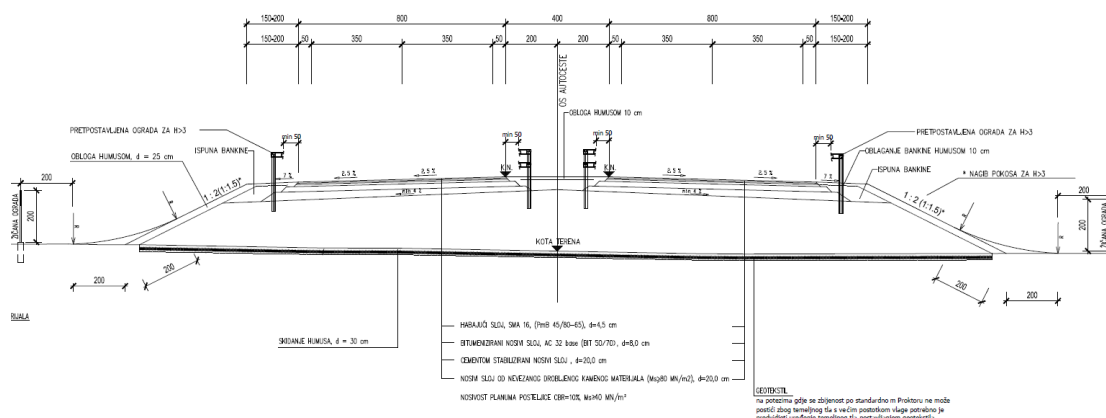
- širina voznih trakova: $2 \times 2 \times 3,50 \text{ m} = 14,00 \text{ m}$,
- rubni trakovi: $2 \times 2 \times 0,50 \text{ m} = 2,00 \text{ m}$,
- razdjelni pojas: 4,00 m,
- bankina: $2 \times 1,50 \text{ m} \times (\text{na dijelu } 2) = 3,00 \text{ m}$ (na dijelu 4,00 m) (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Nagibi pokosa nasipa su 1:2 (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Kolničku konstrukciju čine:

- habajući sloj – splitmastiks SMA 16 (PmB 50/75-65), $d = 4,5$ cm,
- bitumenizirani nosivi sloj, AC 32 base (BIT 50/70), $d = 8,0$ cm,
- cementom stabilizirani nosivi sloj, CNS, $d = 20$ cm,
- mehanički zbijeni nosivi sloj, MNS, $d = 20$ cm (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021).

Slika 21 prikazuje karakteristični poprečni presjek na trasi kraka 1 čvora Sisak.



Slika 21. Karakteristični poprečni presjek na trasi kraka 1 čvora Sisak (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021)

3.5. Planirana dinamika i tehnologija izvođenja građevinskih radova

Radovima na trasi obuhvaćeni su pripremni radovi (geodetski radovi, uklanjanje grmlja i drveća), zemljani radovi (iskop humusa, široki iskop u materijalu C kategorije, uređenje temeljnog tla, izrada nasipa, izrada posteljice, ispuna zelenog pojasa miješanim materijalom, izrada humusiranih bankina) i radovi na izvedbi kolničke konstrukcije (nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala, nosivi sloj od asfalta, bitumenski međusloj za sljepljivanje i habajući slojevi).

Planom je obuhvaćeno da se predmetna dionica podijeli u tri posebne cjeline koje predstavljaju zasebne cjeline rada. Prva fronta rada otvara se na stacionaži 26+800,00 km prema stacionaži 20+200,00 km i prema 27+600,00 km. Na stacionaži na kojoj započinju radovi predviđena je mobilizacija privremenih građevinskih objekata, parkirališta građevinskih strojeva i mjesto za skladištenje građevinskih materijala. Ovo je mjesto odabrano jer se nalazi na samom križanju s

državnom cestom prema Sisku, nedaleko raskrižja u naselju Žažina koje je važno za vanjski transport materijala. Dodatno, prostor je dovoljno širok, omogućeni su manevri vozila i područje nije izravno ugroženo podzemnim niti površinskim vodama (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Druga fronta rada otvara se na stacionaži 27+600,00 km i završava na stacionaži 29+594,36 km koja predstavlja završetak punog profila autoceste Lekenik – Sisak. Ova je stacionaža logičan nastavak na prethodno izvedenu cjelinu. Fronta se otvara na ovom mjestu jer će se smanjiti prometno opterećenje na postojeću državnu cestu Sisak – Zagreb, a do ove stacionaže vodi nerazvrstana cesta. Uklapanjem državne ceste na nove nadvožnjake Lekenik i Sela povećat će se sigurnost prometa i poboljšati uvjeti zaštite na radu, a transportna vozila koja dolaze na ovu cjelinu neće zaposjedati ionako vrlo opterećenu prometnicu (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Treća cjelina, krak 1 čvora Sisak, započinje na stacionaži 0,000,00 km (29+546,36 km) i ide do stacionaže 1+466,66 km (31+261,02 km). Ova je cjelina drugačija po parametrima koji su projektirani i elementima koji čine samu prometnicu. Dodatno, cjelina je udaljena od postojećih komunikacija pa se gradnja nastavlja po izvedbi trase autoceste južno od nadvožnjaka Petrovac. Po završetku radova, dionica će biti puštena u promet tek dovršenjem spojne ceste prema Sisku i mosta Odra (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Struktura plana izvođenja predloženog od strane izvođača dana je u Prilogu 1 ovog rada. Određene aktivnosti tog plana nisu povezane; izrada bankina i zelenog pojasa nije povezana niti s jednom aktivnosti. Većina veza koja su uspostavljene odnose se na aktivnosti vezane za izradu kolničke konstrukcije i određene zemljane radova. Unutar promatranog područja rada, većina je veza početak - početak prirode. Prelaskom s jednog na drugo područje rada, uspostavljene veze postaju veze kraj – početak.

Trajanja pojedinih aktivnosti preuzeta su iz izvođačeve metodologije. Sastav radnih grupa, učinci izvršitelja, uvjeti i ograničenja, određeni su resursima i kapacitetima izvođača.

Metodologijom rada predviđeno je da uklanjanje grmlja i drveća obavljaju buldozer, bager gusjeničar, bager na kotačima, pet kamiona s tri ili četiri osovine, tri rukovoditelja građevinskih strojeva pet vozača kamiona i dva radnika. Planirani učinak radne grupe je 4890 m²/danu (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Za iskop humusa predviđa se radna grupa od dva dozera, dva bagera gusjeničara, šest kamiona kiperu, uz četiri strojara, šest vozača i četiri radnika. Planirani radni učinak je 800 m³ po danu. Učinak pri širokom iskopu planiran je iznosu 350 m³/danu (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Glavninu zemljanih radova čini izrada nasipa od miješanog materijala. Radnu grupu dnevnog učinka 1000 m³ čine dva dozera koja vrše razastiranje, tri grejdera, četiri valjka, 15 tegljača, prskalice, 16 vozača, šest strojara, četiri radnika i poslovođa (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Planirani dnevni učinak za izvođenje radova na uređenju posteljice je 1230 m². Radnu grupu čine dva grejdera, tri valjka, pet tegljača, pet strojara, pet vozača i dva radnika. Projekt predviđa izradu humusiranih i zatravljenih bankina, kao i izradu središnjeg pojasa od istog materijala. Planirani dnevni učinci radnih grupa su 500, odnosno 600 m² uređene površine uz rad dva bagera, rovokopača i dva kamiona s tri osovine (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Radovi na kolničkoj konstrukciji obuhvaćaju četiri skupine radova.

Prvo je planirana izvedba nosivog sloja od drobljenog kamenog materijala. Radom je obuhvaćen navoz zrnatog kamenog materijala na uređenu posteljicu i njegovo razastiranje grejderom te zbijanje vibrovaljcima. Potrebno je pažljivo pristupiti radu da ne dođe do segregacije materijala, da se održava optimalna vlažnost materijala i da se pravilno isprofilira sloj konstrukcije. Planirani je dnevni učinak radne grupe koju čine dva grejdera, tri valjka, cisterna i 10 tegljača s pripadnim radnicima 700 m³ materijala (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Drugi sloj koji se ugrađuje je nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala stabiliziran hidrauličkim vezivom tj. cementom. Ugrađuje se između nevezanog nosivog sloja i bitumeniziranog nosivog sloja na autocestama i cestama s teškim i vrlo teškim prometnim opterećenjem. Na pripremljenu površinu grejderima se nanosi svježa mješavina po cijeloj površini. Neposredno nakon razastiranja pristupa se zbijanju vibrovaljcima. Po završetku ugradnje pažljivo se izvode vertikalne razdjelnice i ako je toplo vrijeme sloj se prska vodom i potom miruje tjedan dana. Radnu grupu dnevnog učinka 600 m³ materijala čine grejder, finišer, dva valjka, cisterna i 10 tegljača s pripadnom radnog snagom (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Prije polaganja asfalta potrebno je pripremiti podlogu. To se ostvaruje bitumenskim međuslojem za sljepljivanje bitumeniziranog nosivog sloja sa slojem izrađenim na bazi hidruličkog veziva. Taj se sloj strojno prska 24 sata prije polaganja asfalta.

Za asfaltiranje vozničkih traka koristi se asfalt AC 32 base 50/70 koji se u punoj širini nanosi finišerom i zbija s četiri valjka. Za održavanje prskanje ugrađenog sloja koristiće se kamion s prskalicom, a asfalt će se dovoiti s 15 tegljača. Planirani dnevni učinak radne grupe je 900 t asfalta (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Za sljepljivanje asfaltnih slojeva koristi se bitumenska mješavina koja se prska po prethodno izvedenom sloju AC 32 base 50/70 s istim pravilima kao što se pripremala podloga za prvi sloj asfalta (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Habajući sloj vozničkih traka izvodit će se od SMA 16 PmB 45/80 i ugrađivati cijelom širinom finišerom. Zbijanje se vrši pomoću četiri valjka, a prskanje asfalta obavlja se kamionom prskalicom. Dovoz je predviđen tegljačima – 15 vozničkih jedinica. Opisana radna grupa trebala bi imati dnevni učinak 900 t asfalta (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

Za asfaltiranje zaustavnih traka koristi se AC 16 surf koji se ugrađuje finišerom uz zbijanje valjcima (dva stroja) i uz vlaženje pomoću kamiona prskalice. Planirano je da radovi na ovom sloju i radovi na habajućem sloju vozničkih traka završe u isto vrijeme. Dovoz asfalta je kamionom tegljačima – 15 vozničkih jedinica. Planirani dnevni učinak radne grupe je 900 t asfalta (Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o., 2022).

3.7. Analiza strukture ugovornog troškovnika

Troškovnik je strukturiran u više troškovnih cjelina – trasa autoceste, čvor Sisak, prijelazi (Lekenik, Dužica, Greda, Sela, Petrovac, Jazvenik), lokalni i poljski putevi, odvodnja, elektroenergetsko napajanje objekata na autocesti, telekomunikacijska kanalizacija, glavni svjetlovodni kabel, sustav transakcijskog procesa, nadvožnjaci (Lekenik, Dužica, Greda, Sela, Petrovac, Jazvenik), most Duben 1, most Duben 2, prometna signalizacija i oprema, elektroinstalacije i napajanje prometne signalizacije i opreme, nosiva konstrukcija prometne signalizacije, zaštitna žičana ograda, zaštita od

buke (akustika), zaštita od buke (nosiva konstrukcija), krajobrazno uređenje i organizacija i priprema gradilišta.

Svaka od ovih cjelina sadrži vrste radova koji su detaljno opisani, imaju vlastitu mjernu jedinicu i količinu. Za trasu autoceste opisani su pripremni radovi, zemljani radovi, radovi na izvedbi kolničke konstrukcije, radovi na odvodnji trase autoceste i radovi na propustima. Primjer troškovničkih stavaka dan je na slici je 22.

| 1.2. Zemljani radovi | | | | | |
|----------------------|---|----|------------|--|--|
| 1.2.1. | Iskop humusa (OTU II st. 2-01) Obuhvaća iskop humusa, razvoz uzduž trase s razastiranjem i planiranjem, te prijevoz i zbrinjavanje viška materijala na odlagalištu. Stvarnu debljinu humusnog sloja ustanovljuje nadzorni inženjer. Obračun po m ³ stvarno iskopanog humusa u sraslom stanju. | m3 | 111.114,00 | | |
| 1.2.2. | Široki iskop (OTU II st. 2-02) | | | | |
| 1.2.2.1. | Široki iskop u materijalu kategorije C (OTU II st. 2-02.3) Stavka obuhvaća iskop, guranje ili odlaganje na privremeno odlagalište, utovar iskopanog materijala u prijevozno sredstvo, uređenje i čišćenje iskopanih i susjednih površina, te odvoz i zbrinjavanje viška materijala na odlagalište. Rad se mjeri po m ³ iskopa u sraslom stanju. | m3 | 130,90 | | |
| 1.2.3. | Uređenje temeljnog tla (OTU II st. 2-08) | | | | |
| 1.2.3.1. | Uređenje temeljnog tla mehaničkim zbijanjem (OTU II st. 2-08.1) Obuhvaća sav prijevoz i materijal, čišćenje, planiranje, eventualno riješenje tla radi sušenja, vlaženja i zbijanje tj. potpuno uređenje temeljnog tla. Obračun po m ² uređenog temeljnog tla. | m2 | 193.150,00 | | |
| 1.2.3.2. | Uređenje temeljnog tla zamjenom materijala (OTU II st. 2-08.2) | | | | |
| 1.2.3.2.1. | Iskop sloja slabog temeljnog tla (OTU II 2-02.3) Stavka obuhvaća iskop, guranje ili odlaganje na privremeno odlagalište, utovar iskopanog materijala u prijevozno sredstvo, | m3 | 32.192,00 | | |

Slika 22. Izvadak iz troškovnika za trasu autoceste (Hrvatske autoceste d.o.o., 2021)

Dodatno, troškovnik prati i financijski plan ovog projekta. Struktura financijskog plana u potpunosti odgovara strukturi vremenskog plana koja je opisana u prethodnom poglavlju (aktivnosti su jednake troškovničkim stavkama). Na taj je način ostvareno povezivanje troškova i vremena, odnosno, ostvarena je poveznica raščlanjene strukture rada i strukture troškova.

3.8. Pregled stvarno izvedenih radova do svibnja 2023. god

Izvođač je prvu frontu rada otvorio na stacionaži 26+800,00 km i započeo radove na trasi autoceste u smjeru Zagreba. Na ovoj stacionaži mobilizirani su građevinski kontejneri, smještena je glavna strojeva i vozni jedinica i ovdje je izvedena probna dionica kako bi se dokazala sukladnost tehnologije izvedbe i zahtjeva postavljenih projektom.

Pripremni, zemljani i velik dio radova na izvedbi kolničke konstrukcije (do asfaltnih slojeva), podugovoren je tvrtki Inženjering georad Makarska d.o.o.. Asfaltna radove provodit će tvrtka Colas Hrvatska d.o.o. i koristit će vlastite asfaltna baze u Varaždinu.

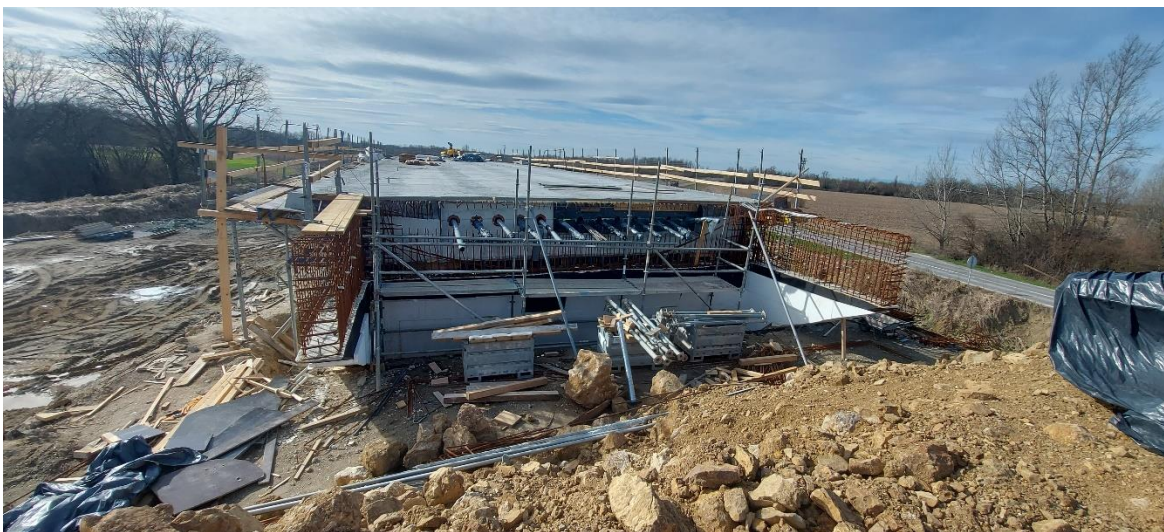
Na gradilištu radi velik broj radnika, dnevno u prosjeku 100, svih struka. Za potrebe izvedbe trase autoceste mobiliziran je velik broj strojeva. U vremenu obilaska gradilišta koje obuhvaća ožujak, travanj i svibanj 2023. godine, strojni park su činila 45 tegljača, garnitura za pilotiranje, četiri bagera, tri dozera, tri vibracijska valjka, cisterne s vodom, freze za asfalt, četke i autodizalice. Prikaz organizacije strojnog parka i dijela gradilišta u zoni nadvožnjaka Lekenik je na slici 23.



Slika 23. Gradilište u zoni nadvožnjaka Lekenik (vlastita fotografija, 2023)

Radovi na objektima podugovorno su dodijeljeni tvrtki GT trade d.o.o. Do svibnja 2023. godine završeno je betoniranje nadvožnjaka Lekenik, izvedba betonske konstrukcije mostova Duben 1 i Duben 2, izvedba betonske konstrukcije stupišta i upornjaka te montaža oplata rasponske konstrukcije nadvožnjaka Dužica i nadvožnjaka Sela, izvedba betonskih radova na nadvožnjacima

Sela i Petrovac. Radovi jedino nisu započeli na nadvožnjaku Jazvenik. Beton je osiguran iz betonara Nexe u Sisku i Zagrebu, armatura iz tvrtke Intersteel Velika Gorica, dio oplate i skele vlasništvo je tvrtke Geotecnika d.o.o., a dio je u najmu od tvrtke Doka d.o.o. Prikaz radova na nadvožnjaku Sela prije izvedbe klina dan je slikom 24.



Slika 24. Nadvožnjak Sela prije izvedbe klina (vlastita fotografija, 2023)

U nastavku slijedi prikaz sastava radnih grupa koje su ostvarile određene učinke mjerene na gradilištu, napredovanje pojedinih radova i fotografije izvedbe.

Radove uklanjanja grmlja i drveća provodio je bager gusjeničar s malčerom, a po potrebi je na raspolaganju bio kamion s tri osovine. Gradilišno praćenje pokazalo je dnevni učinak od 2500 m² do 2800 m². Teren se čistio po cjelinama kako je i bilo planirano. Očišćen je cijeli prostor duž kojeg se pruža trasa.

Radove na iskopu obavljala je grupa koju su činila dva bagera gusjeničara, dva radnika i dva vozača s prosječnim dnevnim učinkom 900 m³ humusa. Radovi su obavljeni do početka kraka 1 čvora Sisak. Slikom 25 je prikazan rad na iskopu humusa.



Slika 25. Strojni rad bagera na iskopu humusa (vlastita fotografija, 2023)

Temeljno tlo uređivalo se razvlačenjem geotekstila. Radnu grupu činila su četiri radnika s dnevnim učinkom 3000 m². Prikaz kontrole radova na izvedbi geotekstila dan je slikom 26. Uređen je prostor do početka kraka 1 čvora Sisak.



Slika 26. Kontrola radova na postavljanju geotekstila (vlastita fotografija, 2023)

Glavninu dosadašnjih radova činila je izrada nasipa od miješanog materijala. Projektant je u svom rješenju predvidio da se nasip izvodi od ove vrste materijala kako bi cijela autocesta bila izvedena od istog materijala. Nekoliko je ključnih točaka koje su kritične pri izvođenju ovog rada. Prva je loše ponašanje ovog materijala pri promjeni vlažnosti. Pri svakoj većoj oborini rad se prekida i materijal se ne ugrađuje da se ne bi narušila zbijenost materijala. Dodatno, ovaj se materijal dovozi najviše iz kamenoloma Međurače kod Petrinje i zbog teškog pristupa lokaciji, tegljači i kamioni s tri osovine se

ne mogu uspinjati do kamenoloma kada pada kiša. Dodatan problem predstavlja i transportna udaljenost koja varira od 30 do 42 kilometra, ovisno o lokaciji odlaganja. Po potrebi, u nasip se umjesto materijala iz Međurača ugrađuje materijal iz eksploatacijskog polja Slatina s područja Gline. Ovaj materijal nešto je lošije kvalitete i transportna udaljenost je gotovo dvostruko veća pa se ovo rješenje izbjegava. Treća opcija koja se primjenjuje na trasi je materijal s odlagališta troske bivše Željezare Sisak, a prikaz tog materijala na slici je 27. Radovi su završeni na trasi do nadvožnjaka Sela u potpunosti i od nadvožnjaka Petrovac prema Jazveniku u duljini 800 m.



Slika 27. Ugradnja troske u slojeve nasipa (vlastita fotografija, 2023)

Na gradilištu je prosječno angažirano 40 kamiona s tri i četiri osovine, cisterna, dva buldozera, dva valjka, dva bagera, sedam strojara, 40 vozača i tri radnika, a uprosječeni dnevni učinak takve radne grupe je 5000 m³ materijala. Prikaz rada radne grupe dan je slikom 28.



Slika 28. Strojna grupa pri izradi nasipa (vlastita fotografija, 2023)

Ono što je bitno naglasiti za učinak radnih grupa pri dovozu materijala je organizacija vanjske opskrbe. Zemljani radovi i radovi na izvedbi slojeva nosive konstrukcije podugovoreni su tvrtki Inženjering georad Makarska d.o.o. Tvrtka raspolaže s određenim brojem vlastitih vozniha jedinica kao i strojeva koji su angažirani na ovom gradilištu. Kako bi se radovi obavljali planiranom dinamikom, dio je radova podugovoren tvrtkama koji imaju vlastite tegljače – na taj su način angažirane tvrtke Cito d.o.o. Slavonski Brod, Garić d.o.o. Slavonski Brod, Integra invest d.o.o. Križevci, Terzić šped d.o.o. Slavonski Brod, Z.P.Z. d.o.o. Zagreb i nekolicina lokalnih prijevoznika obrtnika s područja Siska. Broj i učestalost njihovih vožnji nije stalan, tako da ukupan broj kamiona zna varirati od svega nekoliko do više od 50. Sav unutarnji transport koordinira tvrtka Colas Hrvatska d.d. u suradnji s podugovorenim izvođačem.

Slojevi se izvode u debljini od 30 cm, a ako projekt predviđa veću visinu, izvodi se više slojeva. Osim valjaka koji zbijaju materijal, kamioni svojom masom i prolascima preko već ugrađenih slojeva dodatno zbijaju materijal.

Objekti odvodnje predviđeni su kao montažni pločasti propusti izrađeni od betona C 30/37 i prikazani su slikom 29.



Slika 29. Predgotovljeni elementi propusta (vlastita fotografija, 2023)

Tehnologija izvedbe obuhvaća iskop u materijalu C kategorije, zbijanje temeljnog tla, izradu podložnog betona, montažu pločastih elemenata, ugradnju betonske cijevi (kod kružnog propusta) i sve izolaterske radove kao i radove na zatrpavanju iskopa. Voda se iz propusta odvodi u kanale i jarke te dalje prema šumama Odranskog polja. Predviđeno je više ovakvih objekata na trasi i to:

- Most Duben 1 21+332,50 km (15,20 m),
- Propust okomit 23+119,71 km (2x1,50 m),
- Propust okomit 23+824,58 km (3x2 m),
- Propust okomit 26+411,92 km (2x1,50 m),
- Propust okomit 27+584,17 km (5x3 m),
- Propust okomit 29+454,26 km (2x2 m),
- Propust okomit 0+359,00 km (5x3 m),
- Propust okomit 1+325,00 km (fi 1300m).

Veliki su problemi na gradilištu upravo uzrokovani čestim plavljenjem terena, a prikaz borbe s vodom dan je slikom 30. Unatoč nepovoljnim vremenskim prilikama, završeni su svi propusti na prvoj fazi.



Slika 30. Poplavljeni propust (vlastita fotografija, 2023)

4. Rezultati

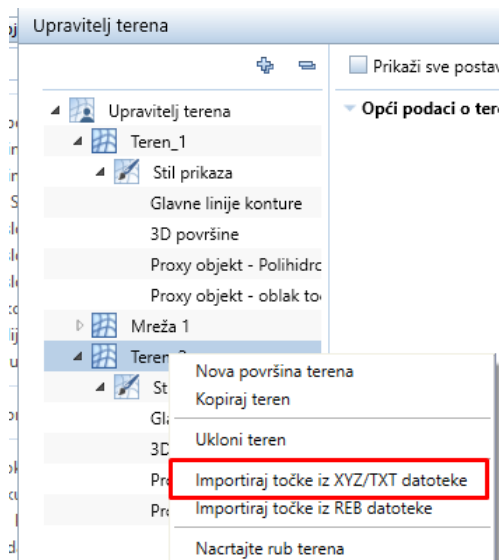
U ovom će se poglavlju prikazati izrada 3D, 4D i 5D modela koji su napravljeni na temelju stvarnih ulani podataka predstavljenih u prethodnom dijelu rada.

4.1. Izrada 3D modela dionice Lekenik – čvor Sisak

Trasa autoceste i brze ceste s pratećim elementima modelirane su u programu Allplan roads 2023. Prikazat će se postupak modeliranja, podaci koji su korišteni pri izradi modela i završen model.

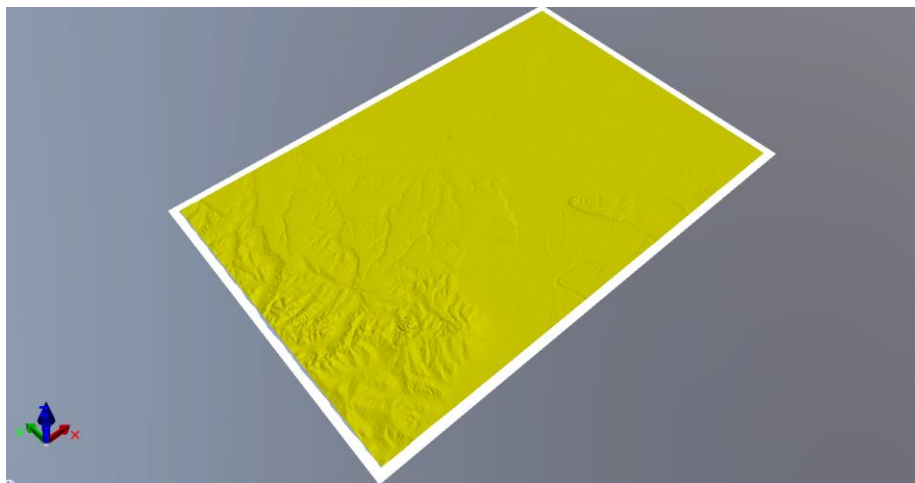
Geodetske podloge nužne za modeliranje ove prometnice dobivene su u Državnoj geodetskoj upravi. Dobiveni su digitalni modeli visina za područja Lekenik, Žažina, Petrinja i Sisak. Svi podaci izrađeni su u novoj kartografskoj projekciji HTRS96/TM na elipsoidu GR80.

Dobivanje terena provelo se na sljedeći način. U ulozi *Ceste* otvorena je kartica *Teren* i odabrana je naredba *Modeliranje terena*. Jedna od ponuđenih mogućnosti je izrada novog terena i ona je potvrđena. Podaci sadržani u digitalnim modelima prethodno su obrađeni na način da su čitljivi Allplanu. Od DGU-a je dobivena XYZ datoteku sa kordinatama točaka. Na taj je način formirana jedinstvena baza topografskih podataka koja jednoznačno određuje područje budućeg terena. Tako pripremljena datoteka učitana je kao u koraku na slici 31.



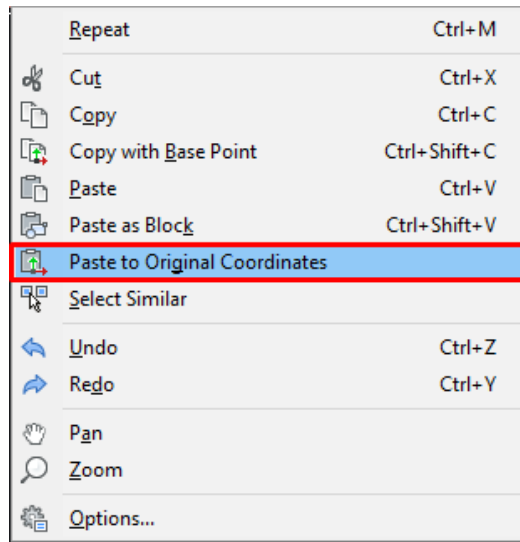
Slika 31. Uvoz geodetskih podataka u Allplan (vlastita fotografija, 2023)

Teren dobiven na ovaj način sadržavao je 962 001 točku. Pri uvozu podataka program stvara trianguliranu nepravilnu mrežu (Triangulated Irregular Network – TIN) kojom se preko mreže trokuta prikazuju prostorni podaci dobiveni iz nepravilno smještenih točaka. Softver automatski dobiveni teren pretvara u teren za ceste. Prikaz terena kojim prolazi trasa u Allplanu, dan je slikom 32.



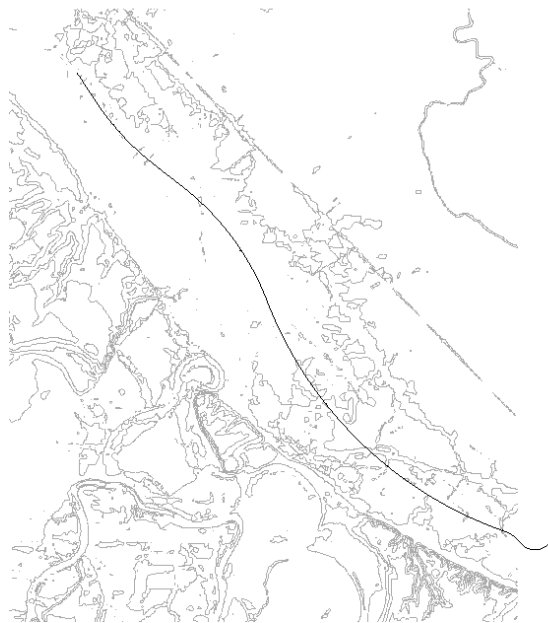
Slika 32. Prikaz modela terena (vlastita fotografija, 2023)

Već je spomenuto da je teren modeliran s iznimno velikim brojem točaka. To usporava rad računala pa je potrebno ukloniti točke i odrezati višak terena koji se neće koristiti. Prije nego se pristupi ovom postupku, potrebno je znati kojim područjem prolazi cesta. Ta je informacija sadržana u osi ceste. Postoje dva načina na koja je moguće dobiti os ceste – moguće ju je nacrtati pomoću linija u Allplanu ili ju uvesti iz postojeće projektne dokumentacije. U dokumentaciji koja je prikupljena za izradu ovog rada, mogla se detektirati os prometnice pa se pristupilo uvozu iste. U BricsCAD-u otvorena je situacija i s crteža je obrisano sve osim osi. Važno je napomenuti da os mora biti jedna polilinija; ako nije, potrebno je segmente spojiti. Po spajanju segmenta, polilinija je kopirana u novi crtež s originalnim koordinatama, naredbom sa slike 33.



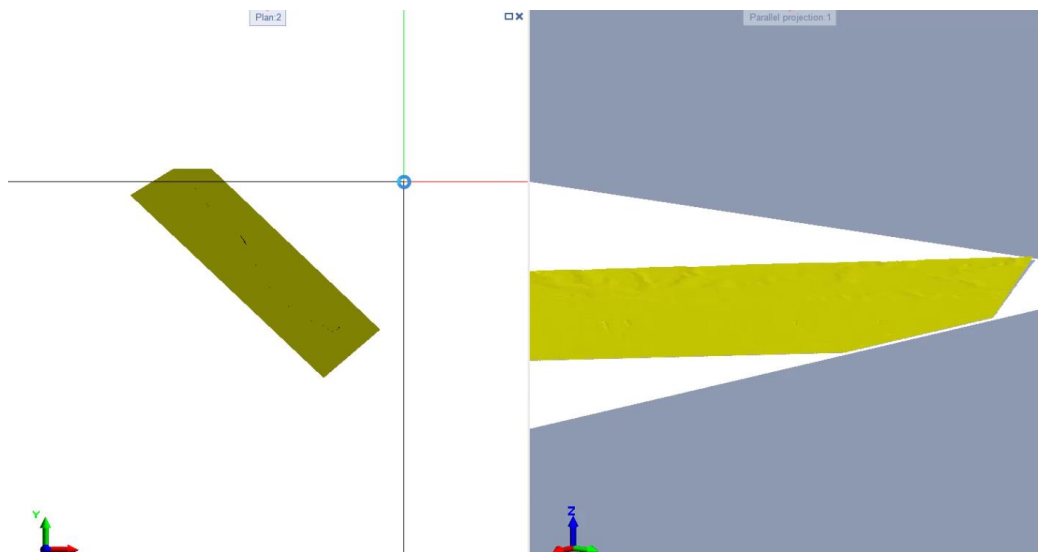
Slika 33. Naredba za ispravno pozicioniranje osi (vlastita fotografija, 2023)

Kada je utvrđeno da je os pravilno pozicionirana, pomoću naredbe *Uvezi*, u Allplan se uvozi os bez prilagođavanja koordinata i unosi se u novi crtež. Tada crtež prima oblik sa slike 34.



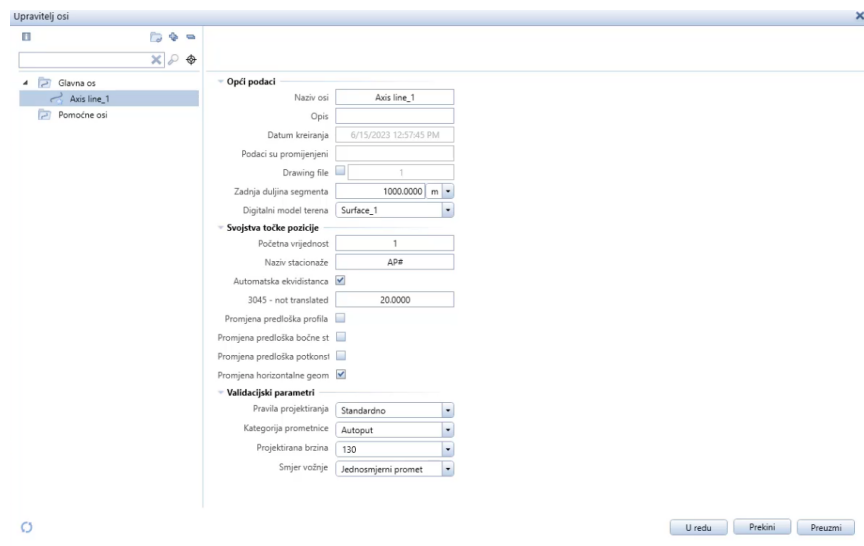
Slika 34. Uvezena os na teren (vlastita fotografija, 2023)

Sada se otvara mogućnost da se naredbom *Rezač za redukciju* ukloni dio terena u kojem se neće raditi. Alat se nalazi u kartici *Teren*, u sekciji *Promijeni teren*. Kada je određen poligon točaka oko osi ceste, razmatrani teren poprimio je oblik sa slike 35.



Slika 35. Reducirani teren (vlastita fotografija, 2023)

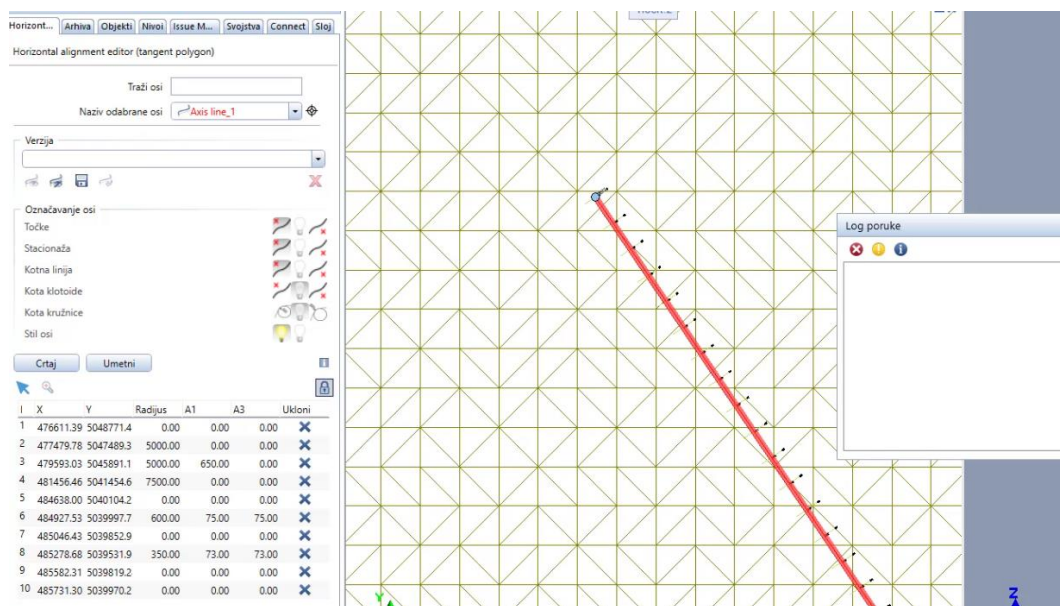
Idući korak u modeliranju je izrada osi u Allplanu. U kartici *Cesta* odabere se naredba *Upravitelj osi*. Desnim klikom na os, otvara se prozor sa slike 36 i postavljaju se parametri glavne osi, uz potvrdu unosa parametara koji služe za modeliranje prometnice predviđene projektom. Važno je naglasiti da je za os u ovom koraku bitno definirati model terena koji je prethodno pripremljen.



Slika 36. Definiranje glavne osi (vlastita fotografija, 2023)

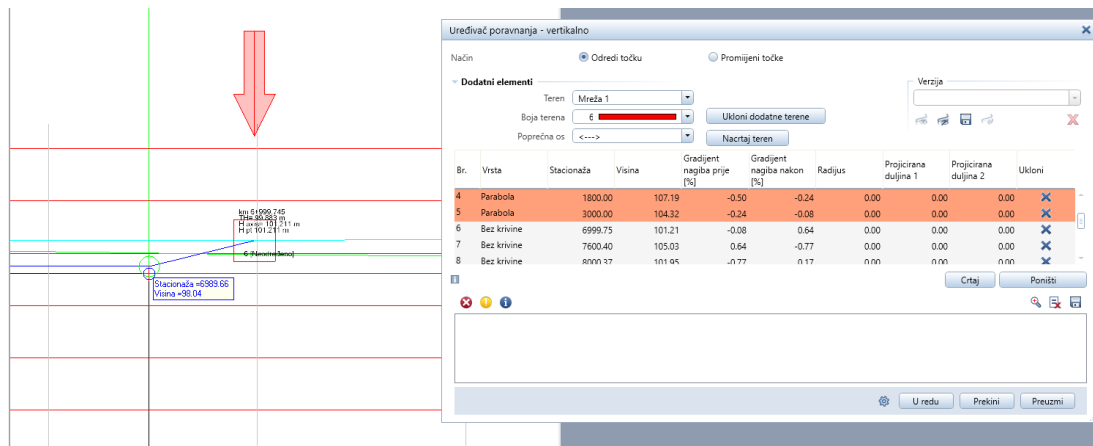
Nakon što su ovi parametri usvojeni, slijedi definiranje horizontalnih parametara osi. U kartici *Cesta* u sekciji *Osi*, odabere se naredba *Geometrija horizontalne osi (tangentni poligon)* kojom se otvara prozor u paleti *Horizontalnog usklađivanja osi*. Za pravilno definiranje horizontalnih parametara osi

nužno je iz projektne dokumentacije utvrditi razmještaj i karakteristike prijelaznih krivina, pravaca, kružnih lukova i tangenti. U projektnoj dokumentaciji za predmetnu dionicu ti su parametri dani u uzdužnom presjeku trase. Potrebno je zadati točke na trasi i prateći poruke koje program vraća korisniku, na ispravan način postaviti geometriju osi. U modeliranju ove dionice ispoštovani su zahtjevi postavljeni projektnim zadatkom, a izneseni u tehničkom opisu punog profila autoceste i brze ceste. Tako postavljena os imala je horizontalne parametre kao na slici 37.



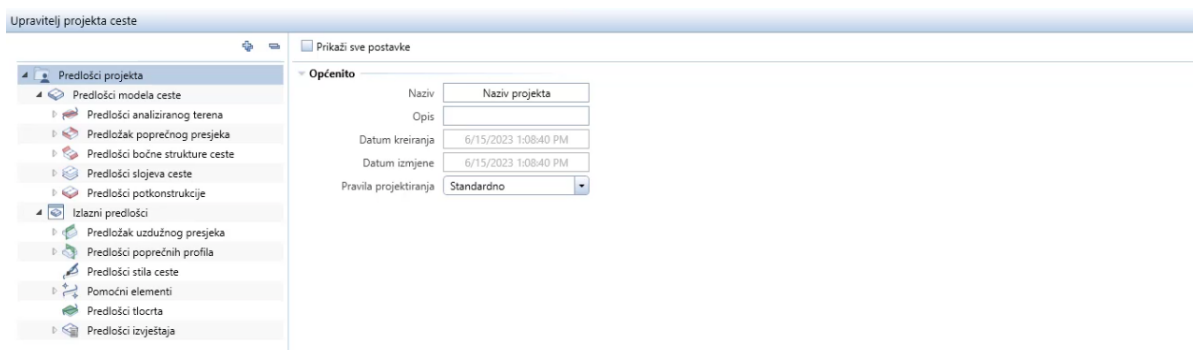
Slika 37. Unošenje horizontalnih parametara glavne osi (vlastita fotografija, 2023)

Os je potrebno voditi i u vertikalnom smislu. Na temelju podataka iz uzdužnog presjeka unošeni su parametri koji se odnose na kote nivelete i kote terena. U *Upravitelju vertikalnog poravnanja* odabire se os za koju se žele definirati vertikalni parametri. Os se zaplavi, a na zaslonu se prikaže uzdužni presjek terena u trasi prometnice. U presjeku je vidljiva linija terena i prema njoj se povlači linija prometnice. U dodatnom prozoru, *Uređivaču poravnanja*, mogu se mijenjati stacionaže, vrsta prijelazne linije, nagibi prije i poslije prijelazne krivine, radijus ako se radi o luku itd. Rad na vertikalnom usklađivanju dan je slikom 38.



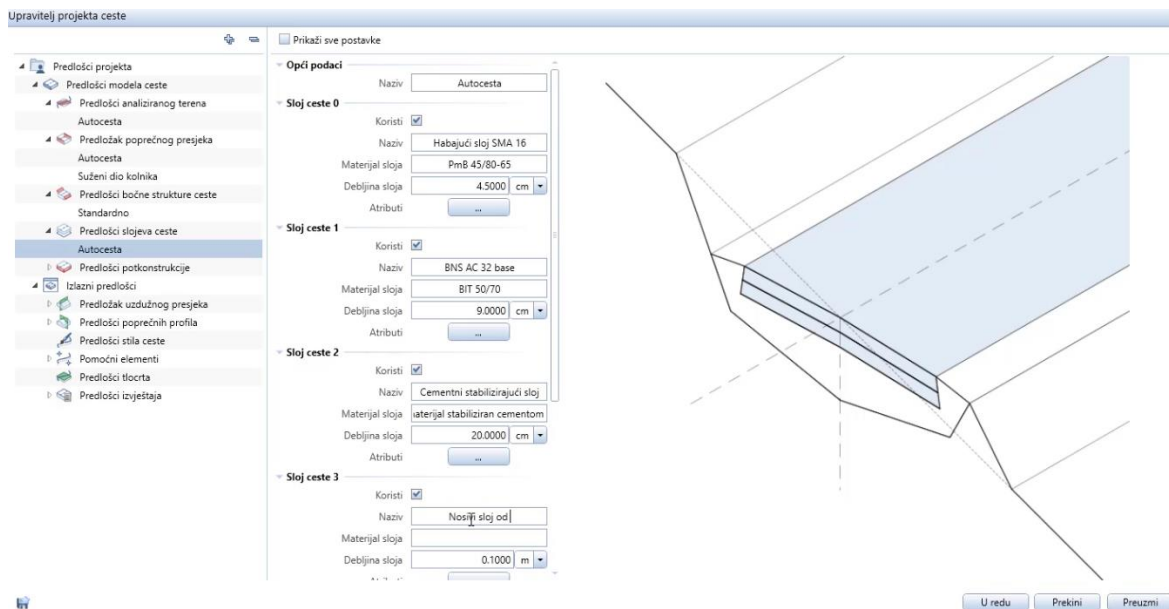
Slika 38. Vertikalno usklađivanje osi (vlastita fotografija, 2023)

Završetkom unosa ovih podataka, određeni su vertikalni i horizontalni parametri ceste. Dalje je potrebno urediti predloške ceste. U kartici *Cesta*, u sekciji *Model prometnice*, odabire se *Upravitelj projekta ceste* s prozorom kao na slici 39.



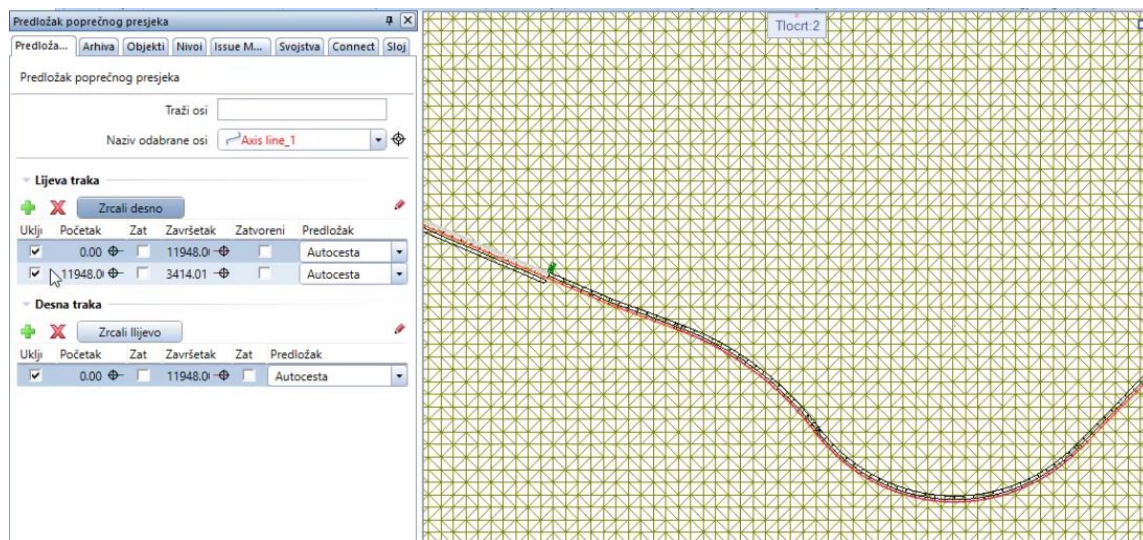
Slika 39. Izrada predloška prometnice (vlastita fotografija, 2023)

Kako je predmet ovog rada cesta koja u poprečnom presjeku ima različite elemente, izrađena su dva predloška – jedan za puni profil autoceste, a drugi za brzu cestu. Podaci koji su korišteni preuzeti su iz glavnog projekta - normalnog poprečnog presjeka autoceste i kraka 1. Primjer ispunjavanja predložaka dan je slikom 40.



Slika 40. Ispunjavanje predložka za puni profil autoceste (vlastita fotografija, 2023)

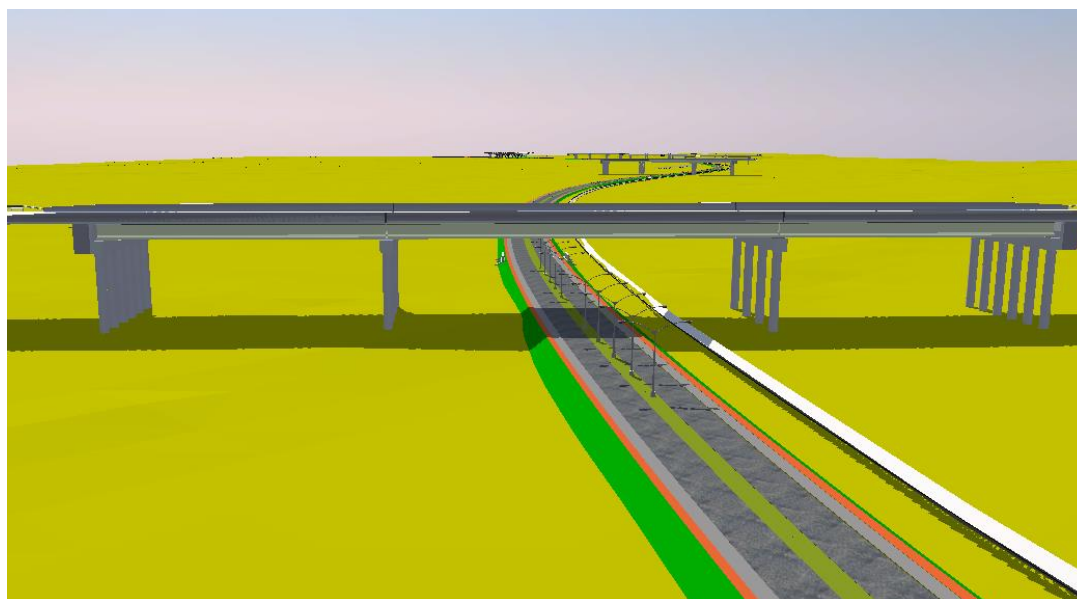
Nakon što su predložci izrađeni, slijedi dodjela poprečnih presjeka ceste. Postavljene su oznake stacionaža na os i prema njima su dodjeljivani poprečni presjeci određenom dijelu ceste. U sekciji *Dodijeli podatke osi* odabire se naredba *Dodijeli predložke analiziranog terena* te se rad nastavlja u paleti *Predložci analiziranog terena* gdje se odabire os duž koje će se raditi. Pošto je os odabrana, u istoj sekciji pokreće se naredba *Dodijeli predložke poprečnih presjeka* i otvara paleta koja je pomoć pri pridruživanju presjeka. U paleti se odabire trak za koji će se pridružiti presjek, u radnom prozoru se odabiru početna i krajnja stacionaža duž koje će se presjek pridružiti te se u paleti označava koji će se od predloženih presjeka pridodati određenom dijelu ceste. Ovdje se nudi mogućnost korekcije početne i krajnje točke upisivanjem udaljenosti. Ako su zadovoljeni uvjeti projekta, prikaz se zrcali na drugu stranu ceste i poprečni presjek prometnice je dobiven. Opisano je vidljivo na slici 41.



Slika 41. Pridruživanje poprečnih presjeka (vlastita fotografija, 2023)

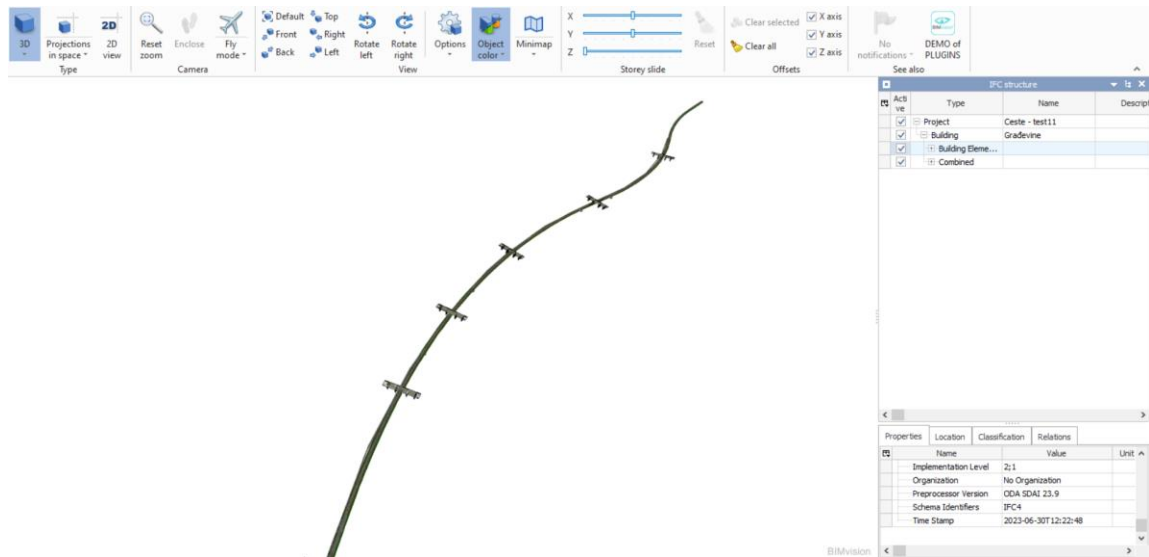
Kako bi se model dodatno obogatio, preuzeti su gotovi predloži propusta, mostova i rasvjete autoceste te su unijeti u model na točne stacionaže. Oblik i dimenzije ovih elemenata približno odgovaraju onim u projektnim zahtjevima.

Konačno, prikaz 3D modela autoceste izrađen u programu Allplan je na slici 42. Vizualizacija 3D modela dana je u Prilogu 2



Slika 42. Izvod iz vizualizacije trase (vlastita fotografija, 2023)

Iz Allplana je izvezena IFC datoteka prikazane ceste pri čemu je korišten standardni izvoz datoteke u IFC 2X3 format. Izvezena datoteka uvezena je u softver BIMvision radi provjere čitanja podataka u IFC datoteci gdje je pregledom strukture zaključeno da su potrebne grafičke i negrafičke informacije sadržane u IFC datoteci koja je izvezena iz Allplana. Prikaz modeliranog objekta u softveru BIMvision je na slici 43.



Slika 43. Provjera modela u BIMvision softveru (vlastita fotografija, 2023)

Model koji je izvezen obuhvaćao je elemente kolničke konstrukcije koji su dani normalnim poprečnim presjekom ceste: nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala, cementom stabilizirani nosivi sloj, bitumenizirani nosivi sloj, habajući sloj na zaustavnoj traci i habajući sloj na voznim trakama. Model je sadržavao bankine, rigole, središnji zeleni pojas i sve propuste na trasi. Pri provjeri modela utvrđeno je da nedostaje teren i slojevi nasipa ceste do nivoa posteljice.

4.2. Izrada 4D modela dionice Lekenik – čvor Sisak

Kao baza izrade vremenskog plana u ovom radu korišteni su dokumenti zajednice ponuditelja Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o. – Organizacija i metodologija rada na izgradnji dionice Lekenik – čvor Sisak autoceste A11 i detaljni dinamički plan zajednice ponuditelja Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o. koji je dostavljen Hrvatskim autocestama d.o.o. Detaljni dinamički plan po kojoj je planirana izvedba dan je u Prilogu 1 ovog rada. Pri izradi plana koji je prilagođen ovom radu, postavljene su radne subote. Plan je kreiran u programu MS Project.

Prilikom izrade plana prilagođenog ovom radu zadržana je koncepcija plana izvođača, no uklonjeni su svi dijelovi plana koji nisu bili povezani s trasom (uglavnom vezano za prateće objekte koji se izvode u sklopu trase). Trasa je podijeljena na tri dijela i svaki dio sadržavao je ove grupe radova: pripremni radovi, zemljani radovi, radovi na izvedbi kolničke konstrukcije i radove na izradi propusta. Veze koje su korištene u planu rezultat su promišljanja da se trasa izvodi u taktovima. Takt je predstavljen udaljenosti između dvije stacionaže na određenom dijelu trase. Većinom su veze koje su uspostavljene početak-početak prirode s odgodama koje su rezultat organizacijsko-tehnoloških čimbenika. Primjerice, na određenom dijelu trase po izvedbi pripremnih radova, odmah se uvode strojevi koji vrše iskop humusa i po potrebi široki iskop u materijalu C kategorije. Čim se jedan dio segmenta završi, pristupa se izvedbi nasipa. Veza početak-početak s odgodom primjenjuje se kod radova na pripremi posteljice jer se uvodi radna grupa drugačijeg sastava od prethodnih. Izrada bankina povezana je s izradom posteljice početak-početak vezom s određenom odgodom da trasa napreduje i u poprečnom presjeku. Tek po preuzimanju posteljice (kraj-početak veza) započinje izrada nosivog sloja od drobljenog kamenog materijala. Naredni sloj kolničke konstrukcije, cementom stabilizirani nosivi sloj, planirano je da završi istog dana kada i prethodni kameni sloj zbog tehnoloških razloga pa je uvedena veza kraj-kraj. Istodobno sa cementnom stabiliziranim nosivim slojem izvodi se bitumenski međusloj za sljepljivanje cementnog sloja i bitumeniziranog nosivog sloja. Ugradnja bitumeniziranog nosivog sloja vezana je početak-početak vezom sa slojem za sljepljivanje. Odgoda koja je uvedena uvjetovana je Programom kontrole i osiguranja kvalitete. Po završetku polaganja bitumeniziranog nosivog sloja, slijedi izvedba habajućih slojeva, s tim da se prvo izvodi sloj na voznim trakama (kraj-početak veza s bitumeniziranim nosivim slojem), a gotovo paralelno izvodi se habajući sloj na zaustavnom traku (početak-početak veza s habajućim slojem na voznom traku). Propusti su spojeni vezom kraj-kraj s izradom posteljice, a razlozi su tehnološke prirode.

Slijedi prikaz plana kroz tri fronte na dionici.

Fronta 1

Radovi započinju pripremnim radovima na stacionaži 26+800,00 km. Fronta se otvara prema sjeveru i prema jugu uz mobilizaciju privremenih građevinskih objekata, izvedbu svih pripremnih radova što

uključuje i izradu probne dionice na kojoj se dokazuje usklađenost planirane tehnologije od strane izvođača s projektnim zahtjevima.

Fronta 2

Opisani radovi su identični kao i na fronti 1. Baza strojnog parka i kontejneri su na istoj lokaciji. Konstrukcija ceste u poprečnom presjeku ista je kao i na prvom dijelu autoceste.

Pripremni radovi vezani su kraj – početak vezom na pripremne radove prvog dijela. Iskop humusa vezan je kraj – početak vezom na pripremne radove ovog dijela trase i istom vezom na iskop humusa prethodnog dijela trase. Zadržan je isti slijed izvedbe, a veze, odgode i struktura izrađeni su tako da plan ovog rada što manje odstupa od plana izvođača.

Fronta 3

Konstruktivska obilježja brze ceste razlikuju se od obilježja autoceste te je manjim dijelom drugačija tehnologija. Radovi započinju na stacionaži 0+000,00 km kraka 1 čvora Sisak. Gradilišna baza je na mjestu gdje je uspostavljena i pri izvedbi punog profila autoceste, a logistika mjesta rada odvija se po prethodno izvedenom dijelu ceste. Glavna je razlika u odnosu na prethodno opisane dijelove trase ta što krak 1 čvora Sisak nema zaustavnu traku i projektiran je u formi brze ceste. Ova činjenica znači da se nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala izvodi u formi koja je opisana u izvedbi trase autoceste za površinu koja pripada voznim trakama.

Tablicama koje slijede, dat će se pojednostavljeni prikaz trajanja određenih vrsta radova po definiranim sekcijama i sumirat će se rezultati vremenskog planiranja pri izradi ovog rada. Detaljan prikaz dinamičkog plana koji je korišten u izradi rada dan je prilogom 3.

Tablicom 1 prikazana je dinamika pripremnih radova.

Tablica 1. Dinamika pripremnih radova

| | Lot 1 | Lot 2 | Lot 3 |
|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Pripremni radovi | 4. 3. 2022 –30.4. 2024 | 5.11. 2022 – 9.12. 2024 | 23.2. 2023 – 23.3. 2024 |

Tablicom 2 prikazana je dinamika zemljanih radova

Tablica 2. Dinamika zemljanih radova

| Zemljani radovi | Lot 1 | Lot 2 | Lot 3 |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Iskop humusa | 2.5.2022 - 20.12.2022 | 21.12.2022 – 4.4.2023 | 5.4.2023 – 7.10 2023 |
| Široki iskop | 2.5.2022 - 20.12.2022 | 21.12.2022 – 4.4.2023 | |
| Izrada nasipa | 2.5.2022 - 28.4.2023 | 21.12.2022 – 12.7.2023 | 5.4.2023 – 7.10 2023 |
| Izrada posteljice | 25.3.2022 – 17.7.2023 | 18.7.2023 – 30.10.2023 | 31.10.2023 – 25.1.2024 |
| Ispuna bankina | 23.5.2023 – 18.9.2023 | 2.9.2023 – 27.1.2024 | 17.11.2023 – 21.12.2023 |
| Izrada hum. i zem. b. | 25.11.2023 – 18.12.2023 | 19.12.2023 – 10.1.2024 | 17.2.2024 – 24.2.2024 |

Tablicom 3 prikazana je dinamika izvođenja radova na kolničkoj konstrukciji.

Tablica 3. Dinamika izvođenja radova na kolničkoj konstrukciji

| Kolnička konstrukcija | Lot 1 | Lot 2 | Lot 3 |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Nosivi sloj d = 20 cm | 18.7.2023 – 10.11.2023 | 11.11.2023 – 4.12.2023 | 26.1.2024 – 6.2.2024 |
| Nosivi sloj d = 20 cm | 18.7.2023 – 10.11.2023 | 11.11.2023 – 4.12.2023 | |
| Nosivi sloj stab. cem | 14.8.2023 – 10.11.2023 | 23.11.2023 – 4.12.2023 | 29.1.2024 – 6.2.2024 |
| Bit. međusloj | 14.8.2023 – 10.11.2023 | 23.11.2023 – 4.12.2023 | 29.1.2024 – 6.2.2024 |
| Nosivi sloj AC 32 base | 16.8.2023 – 13.11.2023 | 25.11.2023 – 6.12.2023 | 31.1.2024 – 8.2.2024 |
| Bit. međusloj | 2.11.2023 – 24.11.2023 | 7.12.2023 – 18.12.2023 | 9.2.2024 – 15.2.2024 |
| Habajući sloj AC | 25.11.2023 – 12.12.2023 | 19.12.2023 – 29.12.2023 | |
| Habajući sloj SMA | 2.11.2023 – 24.11.2023 | 7.12.2023 – 18.12.2023 | 9.2.2024 – 16.2.2024 |

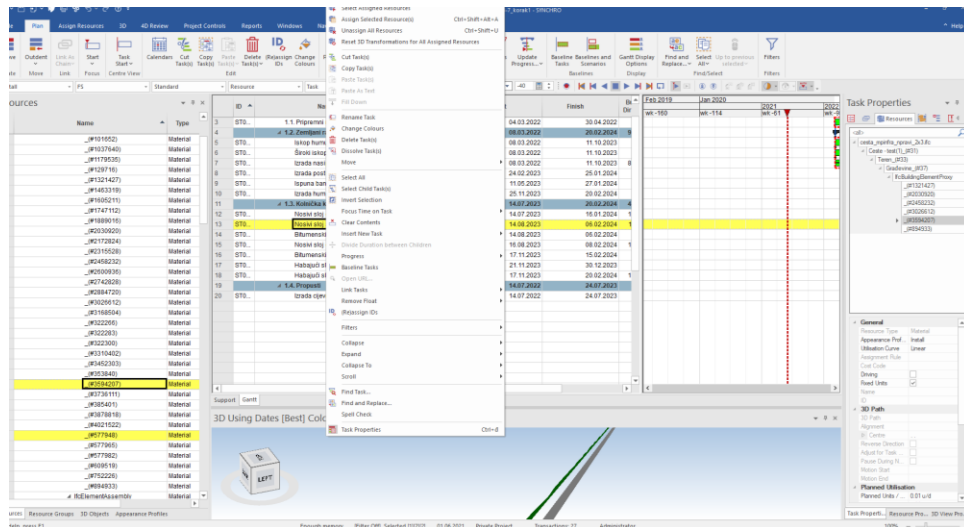
Mogućnosti softvera Bentley Synchro nisu dopuštale da se pripremljeni 3D model podijeli na tri cjeline, kako je to predviđeno vremenskim planom koji je prilagođen ovom radu. Iz tog razloga pristupilo se izmjeni vremenskog plana i troškova na način da se dionica promatrala kao cjelina. Aktivnosti su zadržale svoj opis kao što je prethodno predstavljeno, a trajanja približno odgovaraju onima u Prilogu 3. Korekcije su prisutne zbog tehnoloških i organizacijskih promjena koje nužno

nastupaju u projektu. Nakon pripreme vremenskom plana u MS Project 2016, plan je uvezen u Bentley Synchro. Uz plan, uvezena je IFC datoteka koja je prethodno provjerena i izvezena iz Allplana u IFC shemi 2x3. Važno je napomenuti da u modelu nema terena niti slojeva ceste do razine posteljice tako da nije bilo moguće prikazati sve radove koji su predviđeni i u modificiranom vremenskom planu. Za sve ostale elemente modela koji su se mogli identificirati, obavljeno je njihovo povezivanje s aktivnostima modificiranog vremenskog plana. Slika 44 pokazuje uvezene elemente iz MS Projecta.

| | ID ▲ | Name | Duration | Start | Finish |
|----|--------|--|----------|------------|------------|
| 3 | ST0... | 1.1. Pripremni radovi | 50d | 04.03.2022 | 30.04.2022 |
| 4 | | ▲ 1.2. Zemljani radovi | 613d | 08.03.2022 | 20.02.2024 |
| 5 | ST0... | Iskop humusa | 500d | 08.03.2022 | 11.10.2023 |
| 6 | ST0... | Široki iskop u materijalu C kategorije | 500d | 08.03.2022 | 11.10.2023 |
| 7 | ST0... | Izrada nasipa | 500d | 08.03.2022 | 11.10.2023 |
| 8 | ST0... | Izrada posteljice od miješanog materij... | 288d | 24.02.2023 | 25.01.2024 |
| 9 | ST0... | Ispuna bankina i zelenog pojasa | 225d | 11.05.2023 | 27.01.2024 |
| 10 | ST0... | Izrada humusiranih i zatravljenih banki... | 75d | 25.11.2023 | 20.02.2024 |
| 11 | | ▲ 1.3. Kolnička konstrukcija | 190d | 14.07.2023 | 20.02.2024 |
| 12 | ST0... | Nosivi sloj od drobljenog kamenog m... | 160d | 14.07.2023 | 16.01.2024 |
| 13 | ST0... | Nosivi sloj stabiliziran cementom | 152d | 14.08.2023 | 06.02.2024 |
| 14 | ST0... | Bitumenski međusloj za sljepljivanje ... | 152d | 14.08.2023 | 06.02.2024 |
| 15 | ST0... | Nosivi sloj od AC 32 base, BIT 50/70, ... | 152d | 16.08.2023 | 08.02.2024 |
| 16 | ST0... | Bitumenski međusloj za sljepljivanje ... | 78d | 17.11.2023 | 15.02.2024 |
| 17 | ST0... | Habajuci sloj od AC 16 surf, BIT 50/70,... | 35d | 21.11.2023 | 30.12.2023 |
| 18 | ST0... | Habajuci sloj od SMA 16 surf, PmB 45/... | 82d | 17.11.2023 | 20.02.2024 |
| 19 | | ▲ 1.4. Propusti | 322d | 14.07.2022 | 24.07.2023 |
| 20 | ST0... | Izrada cijevnih propusta | 322d | 14.07.2022 | 24.07.2023 |

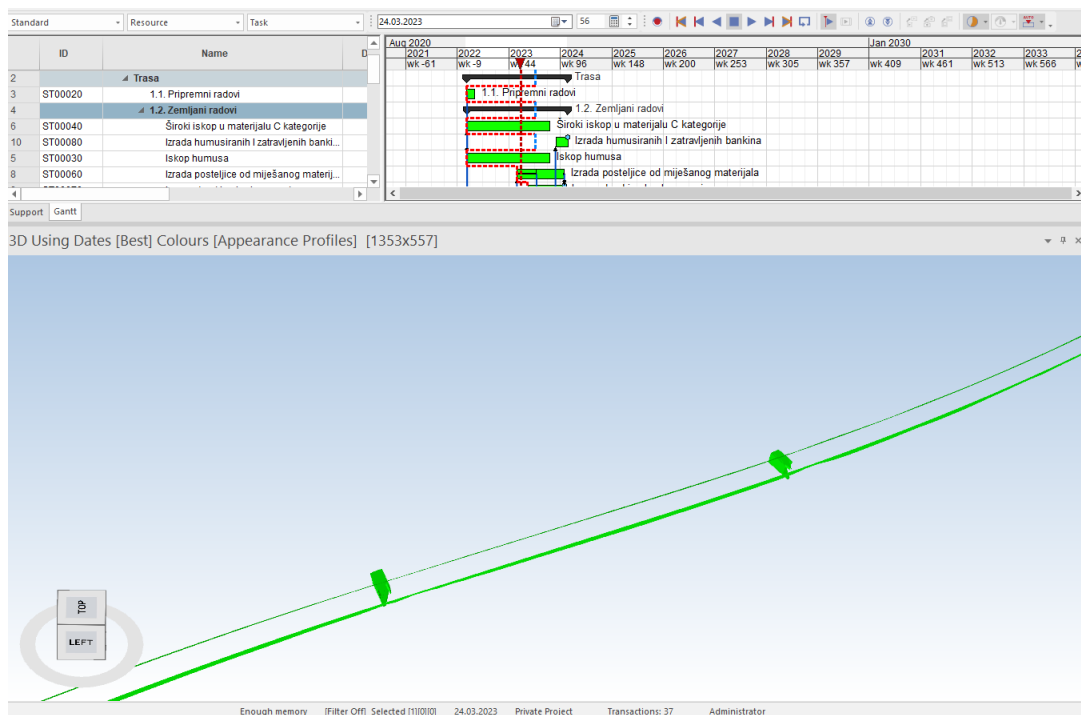
Slika 44. Modificirani vremenski plan s pridodanim troškovima (vlastita fotografija, 2023)

Završetkom učitavanja modificiranog vremenskog plana i IFC modela, idući je korak bilo povezivanje pojedinih IFC elemenata s pripadnim aktivnostima vremenskog plana. Postupak se sastoji u označavanju aktivnosti u planu, zatim označavanju elemenata modela u pripadnoj paleti i konačno potvrdi pridruživanja elementa aktivnosti iz padajućeg izbornika koji se pojavljuje desnim klikom na aktivnost. Prikaz rada na povezivanju dan je slikom 45.



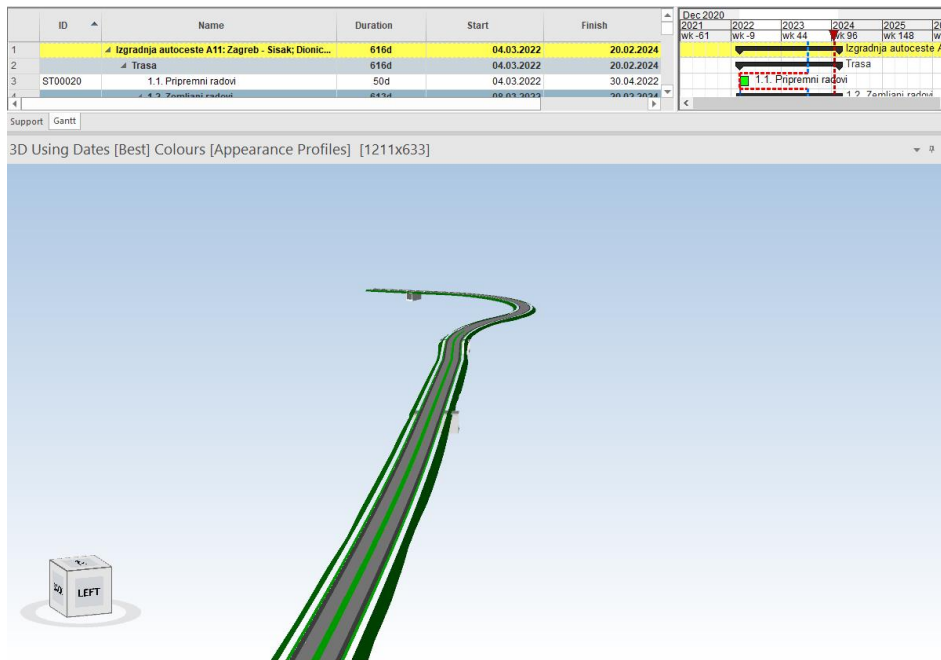
Slika 45. Povezivanje elemenata 3D modela i vremenskog plana (vlastita fotografija, 2023)

Završetkom ovog koraka pripravljena je animacija koja pokazuje napredak izvedbe elemenata u vremenu. Slika 46 pokazuje izvedbu trase kraka 1 čvora Sisak na dan 24. ožujak 2023. godine.



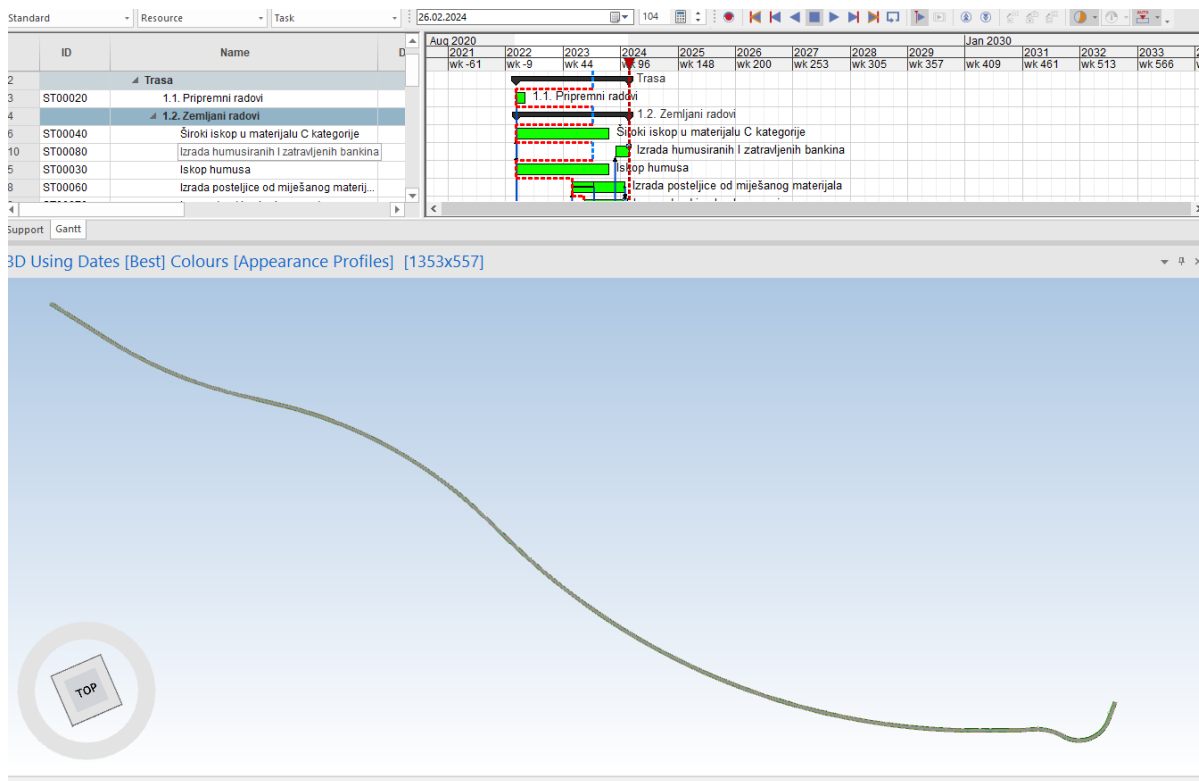
Slika 46. Trasa kraka 1 čvora Sisak na dan 24. ožujak 2023 (vlastita fotografija, 2023)

Napredak radova prikazan je slikom 47 koja daje uvid u izvedbu slojeva kolničke konstrukcije na kraku 1 čvora Sisak.



Slika 47. Izvedba nosivih slojeva kolničke konstrukcije na kraku 1 čvora Sisak (vlastita fotografija, 2023)

Prikaz trase po okončanju radova dan je slikom 48.



Slika 48. Prikaz završene trase (vlastita fotografija, 2023)

4.3. Izrada 5D modela dionice Lekenik – čvor Sisak

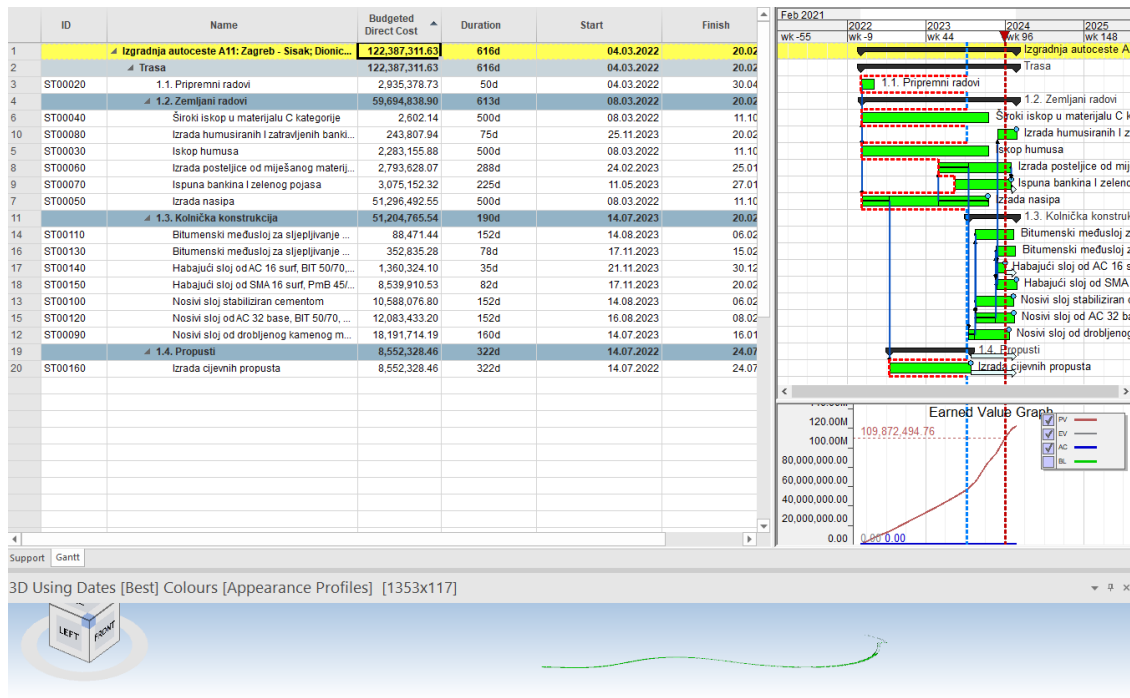
5D BIM model uključuje dimenziju novca u projektu. Predstavlja nadogradnju na prethodnu dimenziju i omogućuje praćenje financijskog izvršenja projekta. Jedinična cijena troškovničkih stavaka je promijenjena u odnosu na ugovorene cijene zbog zaštite informacija koje nisu javno dostupne. U nastavku je prikazan način izrade 5D modela u softveru Bentley Synchro.

Prvo se u prozoru u kojem su prikazane aktivnosti, njihova trajanja, počeci i završeci, doda stupac *Budgeted Direct Cost*. U taj se stupac za svaku aktivnost upisuje ukupni trošak aktivnosti. Prikaz tog prozora na slici je 49.

| | ID | Name | Budgeted Direct Cost | Duration | Start | Finish |
|----|---------|--|----------------------|----------|------------|--------|
| 1 | | ▲ Izgradnja autoceste A11: Zagreb - Sisak; Dionic... | 122,387,311.63 | 616d | 04.03.2022 | 20.02 |
| 2 | | ▲ Trasa | 122,387,311.63 | 616d | 04.03.2022 | 20.02 |
| 3 | ST00020 | 1.1. Pripremni radovi | 2,935,378.73 | 50d | 04.03.2022 | 30.04 |
| 4 | | ▲ 1.2. Zemljani radovi | 59,694,838.90 | 613d | 08.03.2022 | 20.02 |
| 5 | ST00040 | Široki iskop u materijalu C kategorije | 2,602.14 | 500d | 08.03.2022 | 11.10 |
| 10 | ST00080 | Izrada humusiranih I zatravljenih banki... | 243,807.94 | 75d | 25.11.2023 | 20.02 |
| 5 | ST00030 | Iskop humusa | 2,283,155.88 | 500d | 08.03.2022 | 11.10 |
| 3 | ST00060 | Izrada posteljice od miješanog materij... | 2,793,628.07 | 288d | 24.02.2023 | 25.01 |
| 9 | ST00070 | Ispuna bankina I zelenog pojasa | 3,075,152.32 | 225d | 11.05.2023 | 27.01 |
| 7 | ST00050 | Izrada nasipa | 51,296,492.55 | 500d | 08.03.2022 | 11.10 |
| 11 | | ▲ 1.3. Kolnička konstrukcija | 51,204,765.54 | 190d | 14.07.2023 | 20.02 |
| 14 | ST00110 | Bitumenski međusloj za sljepljivanje ... | 88,471.44 | 152d | 14.08.2023 | 06.02 |
| 16 | ST00130 | Bitumenski međusloj za sljepljivanje ... | 352,835.28 | 78d | 17.11.2023 | 15.02 |
| 17 | ST00140 | Habajuci sloj od AC 16 surf, BIT 50/70,... | 1,360,324.10 | 35d | 21.11.2023 | 30.12 |
| 18 | ST00150 | Habajuci sloj od SMA 16 surf, PmB 45/... | 8,539,910.53 | 82d | 17.11.2023 | 20.02 |
| 13 | ST00100 | Nosivi sloj stabiliziran cementom | 10,588,076.80 | 152d | 14.08.2023 | 06.02 |
| 15 | ST00120 | Nosivi sloj od AC 32 base, BIT 50/70, ... | 12,083,433.20 | 152d | 16.08.2023 | 08.02 |
| 12 | ST00090 | Nosivi sloj od drobljenog kamenog m... | 18,191,714.19 | 160d | 14.07.2023 | 16.01 |
| 19 | | ▲ 1.4. Propusti | 8,552,328.46 | 322d | 14.07.2022 | 24.07 |
| 20 | ST00160 | Izrada cijevnih propusta | 8,552,328.46 | 322d | 14.07.2022 | 24.07 |

Slika 49. Raspodjela troškova po aktivnostima (vlastita fotografija, 2023)

Prethodnim korakom su povezane informacije o troškovnicama s informacijama o vremenu i prostoru čime je definiran 5D BIM model, a simulacija gradnje pokazuje napredovanje troškova u vremenu. U kartici izvještaji moguće je prikazati S-krivulju planiranih troškova u vremenu. Prikaz je moguć za projekt u cjelini, ali i za određene aktivnosti vremenskog plana. Slika 50 daje prikaz planirane S-krivulje troškova na dan 29. prosinca 2023. godine.



Slika 50. Prikaz stanja projekta na dan 29. prosinca 2023. godine (vlastita fotografija, 2023)

5. Zaključak

BIM pristup u građevinskim projektima donosi svojevrsnu revoluciju. Pruža mogućnost kvalitetne suradnje u svim fazama projekta, smanjenja troškova materijalnih sredstava i vremena, praćenje i kontrolu projekta u brojnim aspektima i daje temelj za učinkovito upravljanje izgrađenom imovinom. Nadogradnjom i razvojem modela projektni sudionici mogu razvijati velike baze znanja koje mogu rezultirati brojnim benefitima.

Studijom slučaja predstavljenog projekta dan je prikaz gradilišta niskogradnje koje ima određene specifičnosti. Upravo iz tih specifičnosti mogu vrebati vremenski i troškovni gubici. U rezultatima analize predstavljeni su 3D, 4D i 5D modeli. Prostorni model sadržavao je osnovne parametre ceste, ali se kao takav pokazao složenim za modeliranje. Važnu ulogu u ovom je slučaju odigrala projektna dokumentacija koja je bila vrlo dobre kvalitete. Vremenski model oslanjao se na plan izvedbe uspostavljen od strane izvođača i kao takav, može se ocijeniti realnim i izvodljivim. Financijski model jednostavno se vezao na onaj vremenski jer su stavke vremenskog plana bile predstavljene identično dokumentu koji je reprezentirao troškove. Može se zaključiti da je izvođač ponudio dobru bazu za praćenje projekta.

Za buduća istraživanja moguće je usmjeriti se na detaljniji razvoj modela projekata niskogradnje zbog brojnih specifičnosti pri izradi modela. Dodatnu vrijednost model bi dobio kada bi se proveli postupci praćenja i kontrole uz moguće korištenje metode ostvarene vrijednosti. Tu mogućnost pruža Bentley Synchro.

Zaključno, Republika Hrvatska ulazi u desetljeće ulaganja u željezničku infrastrukturu pa bi izrada ovakvih modela mogla biti od velike koristi svim sudionicima tih građevinskih pothvata.

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Bew - Richardsov model zrelosti BIM modela (Vukomanović, 2021)..... | 5 |
| Slika 2. Nacrt trase i objekata na lokaciji Poljane Lekeničke, autocesta A11 Zagreb - Sisak (Inženjerski - projektni zavod d.o.o., 2022) | 6 |
| Slika 3. Generiran 3D model na autocesti A11 u blizini Poljane Lekeničke (Inženjerski - projektni zavod d.o.o., 2022)..... | 7 |
| Slika 4. Podjela IFC sheme 2X3 (Pszczolka, 2022)..... | 10 |
| Slika 5. Slijed isporuke informacija prema HRN EN ISO 19650 - 2 (Vukomanović i Kolarić, 2023) | 13 |
| Slika 6. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 200 (Andabaka i dr., 2021)..... | 16 |
| Slika 7. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 300 (Andabaka i dr., 2021)..... | 17 |
| Slika 8. Elementi usjeka i nasipa u LOD-u 350, Andabaka i dr., 2021) | 17 |
| Slika 9. Evakuacija vode iz tunela Hranjen (Torche, 2019)..... | 21 |
| Slika 10. Domene obuhvaćene IFC 4.3. (Pszczolka, 2022)..... | 26 |
| Slika 11. Hijerarhijska podjela IFC 4.3. sheme (Pszczolka, 2022)..... | 27 |
| Slika 12. Vizualizacija mosta Počitelj (Walter AEC d.o.o. 2023)..... | 29 |
| Slika 13. Gradilište mosta Počitelj (JP Autoceste FBiH d.o.o., 2022)..... | 30 |
| Slika 14. Prikaz autoceste A1 u blizini Počitelja (Bexel Consulting, 2021)..... | 30 |
| Slika 15. Gradilište u blizini Počitelja, poddionica Počitelj - Zvirovići (JP Autoceste FBiH, 2022) .. | 31 |
| Slika 16. Vizualizacija modela GP Horgoš (GP Jadran d.o.o., 2022) | 32 |
| Slika 17. Granični prijelaz Horgoš prije rekonstrukcije (Ministarstvo građevinarstva, saobraća i infrastrukture, 2021)..... | 32 |
| Slika 18. Aktivno gradilište na Horgošu (GP Jadran d.o.o., 2022) | 33 |
| Slika 19. Vizualizacija izvedbe po fazama na GP Horgoš (GP Jadran d.o.o., 2022) | 33 |
| Slika 20. Karakteristični poprečni profil trase autoceste (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021)..... | 41 |
| Slika 21. Karakteristični poprečni presjek na trasi kraka 1 čvora Sisak (Hrvatske autoceste d.o.o., Tehnički opisi i nacrti, 2021)..... | 42 |
| Slika 22. Izvadak iz troškovnika za trasu autoceste (Hrvatske autoceste d.o.o., 2021) | 46 |
| Slika 23. Gradilište u zoni nadvožnjaka Lekenik (vlastita fotografija, 2023)..... | 47 |
| Slika 24. Nadvožnjak Sela prije izvedbe klina (vlastita fotografija, 2023) | 48 |
| Slika 25. Strojni rad bagera na iskopu humusa (vlastita fotografija, 2023)..... | 49 |
| Slika 26. Kontrola radova na postavljanju geotekstila (vlastita fotografija, 2023)..... | 49 |
| Slika 27. Ugradnja troske u slojeve nasipa (vlastita fotografija, 2023)..... | 50 |
| Slika 28. Strojna grupa pri izradi nasipa (vlastita fotografija, 2023)..... | 51 |
| Slika 29. Predgotovljeni elementi propusta (vlastita fotografija, 2023)..... | 52 |
| Slika 30. Poplavljeni propust (vlastita fotografija, 2023) | 53 |
| Slika 31. Uvoz geodetskih podataka u Allplan (vlastita fotografija, 2023) | 54 |
| Slika 32. Prikaz modela terena (vlastita fotografija, 2023)..... | 55 |
| Slika 33. Naredba za ispravno pozicioniranje osi (vlastita fotografija, 2023) | 56 |
| Slika 34. Uvezena os na teren (vlastita fotografija, 2023) | 56 |

| | |
|---|----|
| Slika 35. Reducirani teren (vlastita fotografija, 2023) | 57 |
| Slika 36. Definiranje glavne osi (vlastita fotografija, 2023)..... | 57 |
| Slika 37. Unošenje horizontalnih parametara glavne osi (vlastita fotografija, 2023)..... | 58 |
| Slika 38. Vertikalno usklađivanje osi (vlastita fotografija, 2023)..... | 59 |
| Slika 39. Izrada predložka prometnice (vlastita fotografija, 2023)..... | 59 |
| Slika 40. Ispunjavanje predložka za puni profil autoceste (vlastita fotografija, 2023)..... | 60 |
| Slika 41. Pridruživanje poprečnih presjeka (vlastita fotografija, 2023)..... | 61 |
| Slika 42. Izvod iz vizualizacije trase (vlastita fotografija, 2023)..... | 61 |
| Slika 43. Provjera modela u BIMvision softveru (vlastita fotografija, 2023)..... | 62 |
| Slika 44. Modificirani vremenski plan s pridodanim troškovima (vlastita fotografija, 2023) | 66 |
| Slika 45. Povezivanje elemenata 3D modela i vremenskog plana (vlastita fotografija, 2023) | 67 |
| Slika 46. Trasa kraka 1 čvora Sisak na dan 24. ožujak 2023 (vlastita fotografija, 2023)..... | 67 |
| Slika 47. Izvedba nosivih slojeva kolničke konstrukcije na kraku 1 čvora Sisak (vlastita fotografija, 2023) | 68 |
| Slika 48. Prikaz završene trase (vlastita fotografija, 2023)..... | 68 |
| Slika 49. Raspodjela troškova po aktivnostima (vlastita fotografija, 2023) | 69 |
| Slika 50. Prikaz stanja projekta na dan 29. prosinca 2023. godine (vlastita fotografija, 2023) | 70 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Dinamika pripremnih radova..... | 64 |
| Tablica 2. Dinamika zemljanih radova..... | 65 |
| Tablica 3. Dinamika izvođenja radova na kolničkoj konstrukciji | 65 |

Literatura

Andabaka, F., Dolaček – Alduk, Z., Ecimović, A., Galić, D., Grošić, M., Pavlović Cerinski, M., Šimenić, D., Šolman, H., (2021) *Smjernice za BIM pristup u infrastrukturnim projektima*, Zagreb, Hrvatska komora inženjera građevinarstva.

Bexel Consulting (2021) 'Počitelj – Zvirovići Motorway', *bexelconsulting.com* [Online]. Dostupno: <https://bexelconsulting.com/projects/pocitelj-zvirovici-motorway/> (Pristupljeno 30. svibnja 2023.).

Chon, D (2010) 'Evolution od Computer-Aided Design', *Digital Engineering* [Online]. Dostupno: <https://www.digitalengineering247.com/article/evolution-of-computer-aided-design/> (Pristupljeno: 30. svibnja 2023.).

Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang X., Zhao, Z. (2016) 'Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects', *Journal od Management in Engineering*, vol. 32, br. 6.

Colas Hrvatska d.d. i Geotehnika d.o.o. (2022) Pregledni plan organizacije građenja za dionicu Lekenik – čvor Sisak, autoceste A11 Zagreb - Sisak

Eastman, C (1975) 'The use of somputers instead od drawings in building design', *AIA Journal*, vol. 15, br. 3, str. 46-50.

Europska komisija (2023) 'Rolling plan for ICT standardization', *europa.eu* [Online]. Dostupno: <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/rolling-plan-2023> (Pristupljeno: 1. lipnja 2023.).

GP Jadran d.o.o. (2021) 'Projekat proširenja i rekonstrukcije Graničnog prelaza Horgoš', *jadran-bg.rs* [Online]. Dostupno: <https://jadran-bg.rs/projekat/granicni-prelaz-horgos/> (Pristupljeno 2. lipnja 2023.).

Hrvatske autoceste d.o.o. (2006) 'A 11 – autocesta Zagreb – Sisak', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/UserDocImages/arhiva/2005/A11.pdf> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Hrvatske autoceste d.o.o. (2011) Dokumentacija za nadmetanje, autocesta A11: Zagreb – Sisak, dionica Lekenik Sisak 5. etapa, 1. faza, knjiga 3 - I. dio: Tehnički opisi i nacrti.

Hrvatske autoceste d.o.o. (2022) Odluka o odabiru klasa 500-01/21-01/375, Ev. broj: J58/21

Hrvatske autoceste d.o.o. (2022) 'potpisan ugovor za izgradnju posljednje dionice do Siska', *hac.hr* [Online]. Dostupno: <https://www.hac.hr/hr/odnosi-s-javnoscju/novosti/potpisan-ugovor-za-izgradnju-poslijednje-dionice-do-siska> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Hrvatski zavod za norme (2019) 'Norma HRN EN ISO 19650-1:2019', *hzn.hr* [Online]. Dostupno: <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+19650-1%3A2019> (Pristupljeno: 3.travnja 2023.).

Hrvatski zavod za norme (2019) 'Norma HRN EN ISO 19650-2:2019', *hzn.hr* [Online]. Dostupno: <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+19650-2%3A2019> (Pristupljeno: 3.travnja 2023.).

Inženjerski – projektni zavod d.o.o. (2022) Glavni projekt autocesta Zagreb – Sisak, dionica Lekenik – čvor Sisak 5. etapa, 1. faza: građevinski projekt (Hrvoje Gašparović, dipl.ing.građ.)

Javno poduzeće Autoceste Federacije Bosne i Hercegovine d.o.o. (2022) 'Most Počitelj', *jpautoceste.ba* [Online]. Dostupno: <https://www.jpautoceste.ba/most-pocitelj/> (Pristupljeno 29. svibnja 2023.).

Javno poduzeće Autoceste Federacije Bosne i Hercegovine d.o.o. (2022) Počitelj - Zvirovići', *jpautoceste.ba* [Online]. Dostupno: <https://www.jpautoceste.ba/foto-pocitelj-zvirovici/> (Pristupljeno 29. svibnja 2023.).

Kolarić, S., Vukomanović, M., Bogdan, A. (2020) 'Analiza primjene BIM-a u hrvatskom graditeljstvu', *GRAĐEVINAR*, vol. 72, br. 3, str. 205 – 214.

Korlaet, Ž i Dragčević, V. (2018) *Projektiranje i građenje cesta*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet.

Lošić, N., Savković, D., Ivić, M., Kosijer, M., Belošević, I. (2018) 'Planiranje i projektovanje željezničke infrastrukture primenom CAD i BIM tehnologije', *Željeznice*, br. 1, str. 16-26.

Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture Republike Srbije (2021) 'Rekonstrukcija i proširenje graničnog prelaza Horgoš na autoputu E-75', *mgsi.gov.rs* [Online]. Dostupno: <https://www.mgsi.gov.rs/lat/infrastrukturna-gradilista/rekonstrukcija-i-prosirenje-granicnog-prelaza-horgos-na-autoputu-e-75> (Pristupljeno: 2. lipnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2006) 'Premijer Sanader otvorio radove na izgradnji autoceste Zagreb – Sisak', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/arhiva/infrastruktura-166/vijesti/12688> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2009) 'U prometu dionica autoceste Zagreb – Sisak između Velike Gorice i Buševca', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/arhiva/infrastruktura-166/vijesti/12688> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2013) 'Vlada: Usvojen Prijedlog Odluke o davanju suglasnosti Hrvatskim autocestama d.o.o. na Plan građenja i održavanja autocesta za 2014. godinu', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/arhiva/infrastruktura-166/vijesti/vlada-usvojen-prijedlog-odluke-o-davanju-suglasnosti-hrvatskim-autocestama-d-o-o-na-plan-gradjenja-i-odrzavanja-autocesta-za-2014-godinu/16708> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2013) 'Vlada: Usvojen Program građenja i održavanja javnih cesta za razdoblje 2013. do 2016. godine', *mmpi.gov.hr* [Online] Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/vijesti-8/vlada-usvojen-program-gradjenja-i-odrzavanja-javnih-cesta-za-razdoblje-2013-do-2016-godine/6534> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2015) 'U promet puštena dionica Buševac – Lekenik na autocesti Zagreb – Sisak, premijer Zoran Milanović prvim putnicima podijelio ENC uređaje', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno: <https://mmpi.gov.hr/vijesti-8/u-promet-pustena-dionica-busevec-lekenik-na-autocesti-zagreb-sisak-premijer-zoran-milanovic-prvim-putnicima-podijelio-enc-uredjaje/6679> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2015) 'Za promet otvorena nova dionica Jakuševac – Velika Gorica sa spojem na autocestu za Sisak', *mmpi.gov.hr* [Online]. Dostupno:

<https://mmpi.gov.hr/vijesti-8/za-promet-otvorena-nova-dionica-jakusevec-velika-gorica-sa-spojem-na-autocestu-za-sisak/6741> (Pristupljeno: 10. svibnja 2023.).

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske (2021) Prijedlog zaključka o dovršetku izgradnje autoceste A11 Zagreb – Sisak, dionice Lekenik – Sisak.

Pszczolka, M. (2022) 'IFC 4.3. in the Road Project', *bimcorner.com* [Online]. Dostupno: <https://bimcorner.com/ifc-4-3-for-infrastructure/> (Pristupljeno: 2. lipnja 2023.).

Stojanović, D. (2022) 'Planiranje i praćenje izgradnje saobraćajnice Kraljevo-Mataruška Banja primenom BIM softvera', *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*, god. 37, br. 11, str. 1977-1980.

Torche, D. (2022) 'Svjetlo na kraju afere: Hranjen će biti završen', *oslobodjenje.ba* [Online]. Dostupno: <https://www.oslobodjenje.ba/vijesti/bih/svjetlo-na-kraju-afere-hranjen-ce-bit-završen-748989> (Pristupljeno: 3. lipnja 2023.).

Vukomanović, M. (2021) Nastavni materijali za kolegij Organizacija građenja 2, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet.

Vukomanović, M., Kolarić, S. (2023) Nastavni materijali za kolegij Informacijsko modeliranje gradnje, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet.

Walter AEC d.o.o. (2023) 'Pocitelj bridge – Corridor VC', *walteraec.com* [Online]. Dostupno: <https://walterraec.com/cases/pocitelj-bridge-corridor-vc/> (Pristupljeno: 29. svibnja 2023.)

Popis priloga

Prilog 1. Izvod iz vremenskog plana izvođača za trasu autoceste

Prilog 2. Vizualizacija 3D modela – Render [dostupno na CD memoriji]

Prilog 3. Vremenski plan – trasa autoceste (PDF format)

Prilog 4. Vremenski plan – trasa autoceste (.mpp format) [dostupno na CD memoriji]

Prilog 5. 3D BIM model (izvorni format) [dostupno na CD memoriji]

Prilog 6. 3D BIM model (IFC format) [dostupno na CD memoriji]

Prilog 7. 4D/5D BIM model (.sp format) [dostupno na CD memoriji]

Prilog 1. Izvod iz vremenskog plana izvođača za trasu autoceste

Prilog 3. Vremenski plan – trasa autoceste (PDF format)