

BIM v gradbenih projektih

BIM in construction projects

Andrej Tibaut^{1,*}, Vito Žalig¹, Rok Časar¹, Denis Jakoša²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

* Avtor za korespondenco: andrej.tibaut@um.si; tel. 031-307-731

Znanstveni članek

TEHNIKA –
gradbeništvo

Datum prejema:
23. december 2014

ANALI PAZU
4/ 2014/ 2: 89-96
www.anali-pazu.si

Povzetek: V prispevku je predstavljen projekt v katerem je bila izvedena raziskava, realizacija in analiza BIM-a na primeru gradnje aktualnega infrastrukturnega gradbenega objekta, Podvoza Grlava, ki se izvaja v okviru projekta Elektrifikacija in rekonstrukcija železniške proge Pragersko – Hodoš. Rezultat raziskave je za gradbeni objekt izdelani 3D-model in 4D-model, ki ju bo podjetje uporabilo za nadaljnje spremljanje gradnje Podvoza Grlava. V prispevku bomo na osnovi empiričnih podatkov iz projekta predstavili rešitve za učinkovito uporabo 4D-modela v procesu gradnje. Te rešitve lahko služijo kot praktična priporočila gradbenemu sektorju pri spremljanju časovnega poteka načrtovanih aktivnosti iz terminskega načrta gradnje. Rezultati naše raziskave predstavljajo prispevek k učinkovitejšemu spremljanju gradnje infrastrukturnih objektov in posledično minimizirajo stroške gradnje.

Ključne besede: BIM, 3D-model, 4D-model, spremljanje poteka gradnje.

Abstract: The paper describes experiences with research, implementation and analysis of BIM applied in a real infrastructure construction project. The two construction projects “Underpass Grlava” and “Underpass Ljutomer” were carried out in frame of the project Electrification and reconstruction of railway line Pragersko - Hodoš. The result of our research is the 3D- and 4D-model, which the construction company used to monitor last construction phases. The research obtained empirical data during scheduled construction activities and proposes guidelines for efficient use of 4D-model in the building process. Our results can serve as practical recommendations to the construction sector for the tasks of monitoring performance of scheduled activities with the aim to control the cost of construction process.

Key words: BIM, 3D-model, 4D-model, construction process monitoring.

Uvod

Podjetja, ki so preživela gospodarsko krizo gradbene industrije, izražajo zahteve po učinkovitejšem poteku gradbenega projekta:

- zahteve po celovitejšem obvladovanju toka podatkov v gradbenih projektih z uvajanjem celostnega informacijskega modela zgradbe (BIM) in
- zahteve po učinkovitejšem upravljanju z znanjem v procesu življenjskega cikla gradbenega objekta.

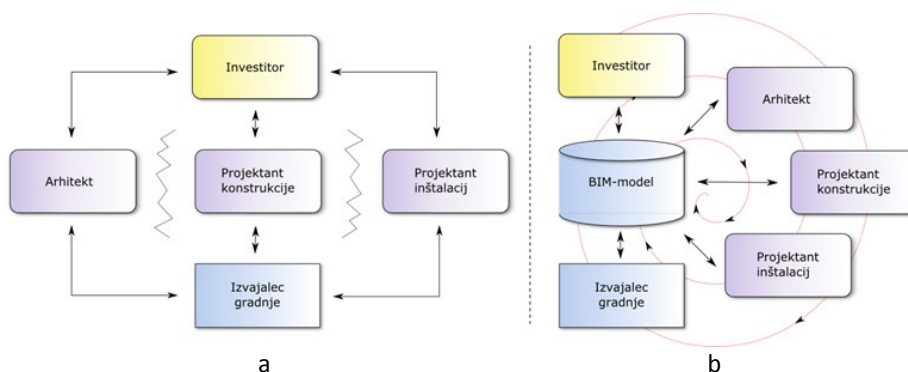
Prva zahteva se nanaša na obvladovanje toka podatkov v zgodnjih fazah gradbenega projekta (priprava idejnih in vseh drugih projektov ter projektiranje objektov), kjer posamezne veje gradbeništva in druge sodelujoče inženirske stroke uporabljajo zgolj za njihov del prilagojene programe in datoteke. Rezultat tega so dolgotrajni postopki priprav in usklajevanja projektov, posledično pa tudi visoki stroški. Prav tako časovni in finančni vložki, ki so namenjeni kakovostni pripravi projekta, ne zagotavljajo izvedbe brez zastojev in brez poslabšanja kakovosti. To je le nekaj izmed razlogov, ki so privedli do razvoja nove miselnosti oz. pristopa z nazivom informacijsko modeliranje zgradb (angl. Building Information Modelling – BIM) v svetu [1]. Druga zahteva se nanaša na problem pomanjkanja znanja o procesih (delotokih) v življenjskem ciklu gradbenega projekta s katerim se soočajo mladi gradbeni inženirji, ki pa na drugi strani izkazujejo dobro poznavanje informacijskih in komunikacijskih tehnologij. V želji po doseganju ekonomičnih končnih rokov izvedbe za aktivnosti v gradbenem projektu morajo vsi udeleženci projekta strmeti k pravočasnemu dokončanju del. Starejši inženirji tako praktično nimajo časa, da bi mlajše »vodili« skozi postopek del, kar bi mladim inženirjem omogočilo razumevanje izvedbe (zakaj in kako) [2]. Da bi znanje lažje prehajalo na mlajše kadre, se pojavlja potreba po boljšem upravljanju znanja udeležencev v delotokih gradbenega projekta [3].

Pomanjkanje znanja v gradbenem procesu povzroča neobstoječ ali prekinjen informacijski tok med deležniki v gradbenem procesu (Slika 1a). Do prekinitve

informacijskega toka prihaja zaradi nepovezanih informacijskih in procesnih scenarijev med deležniki. Običajna praksa izmenjave podatkov o gradbenem objektu med deležniki (javnost, naročnik, arhitekt, projektanti, izvajalec gradnje, upravitelj objekta) v procesu načrtovanja, analize, projektiranja, izgradnje in vzdrževanja takšnih objektov temelji na razpršenih in nepovezanih podatkih: CAD risbah, terminskih načrtih, tehničnih standardih in zapisov o poteku gradnje. Posledice takšnega tradicionalnega pristopa so podvajanje dela (v fazi načrtovanja arhitekt in projektant oba rišeta objekt za potrebe svojega dela), pogoste napake (tehnični konflikti ali kolizije med konstrukcijskimi elementi) in veliko število nepredvidenih dogodkov med gradnjo objekta. Za naročnika takšne napake vedno pomenijo dražjo investicijo.

Zmožnost sodelovanja med deležniki gradbenega procesa v smislu učinkovite izmenjave digitalnih modelov imenujemo tudi medopravilnost (angl. interoperability) deležnikov [4][5].

Večja medopravilnost v gradbenem procesu pomeni manjše stroške za izmenjavo digitalnih modelov. Raziskava [6] v ameriški gradbeni industriji je pokazala, da stroški neučinkovite medopravilnosti naraščajo skozi življenjski cikel gradbenega objekta (Slika 2). Faze načrtovanja (npr. konceptualna zasnova, časovno oz. terminsko planiranje) in projektiranja (npr. analize konstrukcije) prispevajo 17% skupnih negativnih ali slabih stroškov. Relativno majhen odstotek je razumljiv saj so zgodnje faze v življenjskem ciklu gradbenega objekta že dobro podprte s standardi za izmenjavo digitalnih modelov kot je npr. IFC [7]. Faza gradnje prispeva 26% slabih stroškov. Med fazo gradnje se pričakuje uporaba podatkov iz digitalnih modelov izdelanih v fazi načrtovanja. Tipična aplikacija digitalnega modela v fazi gradnje je uporaba 4D-modela za preverjanje poteka gradnje. Slabe stroške v tej fazi povečujejo nepredvideni dogodki na gradbišču, ki povzročijo verigo sprememb od 3D-podmodelov (npr. sprememba konstrukcije, inštalacij), časovnega načrta do 4D-modela. Največji delež slabih stroškov (57%) prispeva faza vzdrževanja objekta. V fazi vzdrževanja objekta stroški zaradi slabe medopravilnosti



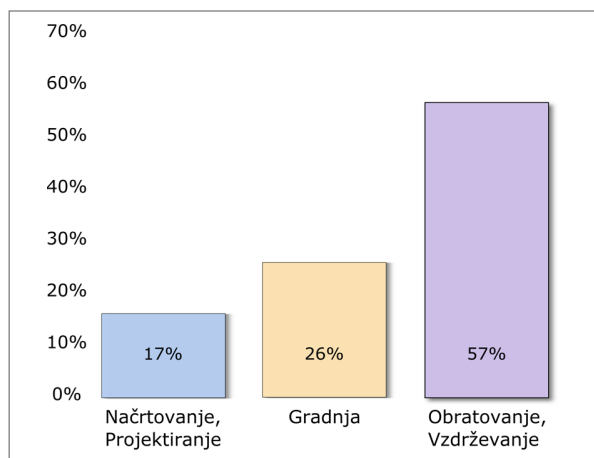
Slika 1. a) Prekinjen informacijski tok v gradbenem procesu b) Integracija informacijskega toka v gradbenem procesu z BIM-modelom.

eksponentno narastejo, ker uveljavljenih standardnih specifikacij (za modele 6D) za podatke, ki jih potrebuje upravitelj za vzdrževanje objekta še ni. Prvi korak v smeri učinkovitejše medopravnosti v tej fazi so podrobno izdelani 3D-, 4D- in 5D-modeli (5D - stroški aktivnosti med gradnjo) s podrobnimi podatki o vgrajenih inštalacijah in napravah (tehnični podatki, garancijski dokumenti, podatki o servisiranju, spremljanje podatkov o porabi energije naprave).

Za učinkovito upravljanje znanja v gradbenih procesih se čedalje pogosteje izraža potreba po t.i. strežniku za modele BIM (Slika 1b). Takšen strežnik predstavlja skupno sodelovalno okolje, ki temelji na skupnem referenčnem modelu gradbenega objekta. Izmed vseh razvojnih poskusov v zadnjem desetletju se je kot najobetavnejši strežnik za modele BIM pokazal odprtokodni BIMserver.org [8]. BIMserver.org omogoča izbiro, posodabljanje in brisanje (pod) modelov gradbenega objekta (npr. arhitekturni model, model strojnih inštalacij) skladnih s specifikacijo Industry Foundation Classes (IFC).

V praktičnem delu naše raziskave smo pri obravnavi gradbenega objekta Podvoz Grlava upoštevali ugotovitve [1] o tem kateri digitalni modeli ne ustrezajo zahtevam BIMa:

- 3D-modeli, ki služijo samo vizualizaciji in katerih sestavni deli (objekti) nimajo določenih atributov (npr. kategorija objekta (npr. zid), višina, širina)
- Modeli, ki vsebujejo odvisnosti od 2D-CAD-modelov
- Modeli, ki so nepovezani (parametri objekta (npr. geometrija) se prilagadijo spremembi sosednjih objektov)



Slika 2. Stroški neučinkovite medopravnosti v življenjskem ciklu gradbenega objekta.

BIM v gradbenem projektu: Podvoz Grlava

Obravnavani objekt je grajen v sklopu ureditve križanj z železnico na odseku Pragersko-Hodoš v okviru elektrifikacije in rekonstrukcije železniške proge Pragersko-Hodoš. Podvoz je lociran na delu proge št. 41

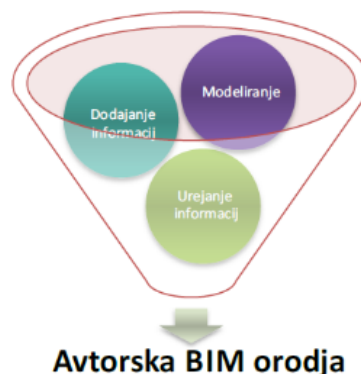
Ormož-Hodoš, na odseku podsklopa E-7 Grlava 1v km proge 24 + 944.81 v križanju z lokalno cesto Grlava 1 od km ceste 0.0 + 078.31 (začetek kesona) do km ceste 0.0 + 237.65 (konec kesona). Križanje z železniško progo je v km ceste 0.0 + 160.67 (os obstoječega tira).

Podvoz je zasnovan kot škatlasta konstrukcija, z debelino prekladne plošče 85 cm in širino 10.70 m, ki je na straneh vutasto ojačena. Temeljna plošča je minimalne debeline 120 cm zaradi vpliva vzgona talne vode. Stene podvoza so debeline 100 cm in se zaključijo s stranskimi krili. Na vsako stran se podvoz nadaljuje s kesonoma dolžin 74,81 m v smeri Grlave in 67,02 m v smeri Krištancev. Dolžine kesonov narekujejo hidrološke smernice, saj je višina talne vode na tem območju na nadmorski višini 177,88 m. Debeline talnih plošč in sten kesonov se postopoma zmanjšujejo, zaradi manjšega vpliva vzgona talne vode. Po dolžini objekta se nahaja denivelirni hodnik za pešce in invalide z debelino stene 50 cm. Na začetku in koncu objekta se nahajata priključka lokalne dostopne poti k hiši in priključek na obstoječo makadamsko cesto. Na talnih ploščah je predvideno gramozno nasutje debeline 90 cm.

Gradnja podvoza se je na predlog izvajalca spremenila iz tehnologije postopne podrivne gradnje v tehnologijo potiskanja prekladne konstrukcije po začasnih drsnih jeklenih nosilcih podrtih z začasnimi piloti premera 150 cm, dolžine 14 m in tunelskim izkopom pod preklado. Zemljina ob bokih na področju železniške proge se je varovala z Jet Grouting slopi. Gradnja kesona je potekala taktno po taktih dolžine 8.00 m, zaledna zemljina in vdor talne vode v gradbeno jamo se je ščitil z neprepustno zagatno steno dolžine 14.00 m.

Podroben BIM 3D-model

Prvi korak k uporabi BIM je 3D modeliranje z dodanimi parametri in informacijami o objektu (Slika 3). Nova orodja in interoperabilnost med njimi ponuja veliko izboljšanje procesov v primerjavi s tradicionalnimi pristopi načrtovanja gradbenih objektov [1]. Veliko orodij in informacijskih tehnologij je še v zasnovi, nekaj pa se jih je razvilo do te mere, da se jih uporablja na realnih primerih, kar že prinaša pozitivne rezultate.



Slika 3. Parametrično modeliranje.

Modeli vsebujejo informacije za čim hitrejše in natančnejše kreiranje 2D risb (npr. dispozicijske risbe, prerezi, pogledi,...) za potrebe izvajalcev na gradbiščih in proizvodnih obratih montažnih elementov, ter bolj učinkovito izvajanje analiz [9]:

- popis del,
- energetske, statične in dinamične analize konstrukcije,
- vizualizacije,
- reševanje neskladij v projektu (angl. clash detection)
- direktna uporaba za terminsko planiranje na podlagi katerega se izdelajo vizualizacije poteka gradnje skozi čas - 4D BIM,
- ocena stroškov - 5D BIM,
- možnost integracije sistemov za upravljanje z objektom (angl. Facility management) – 6D BIM.

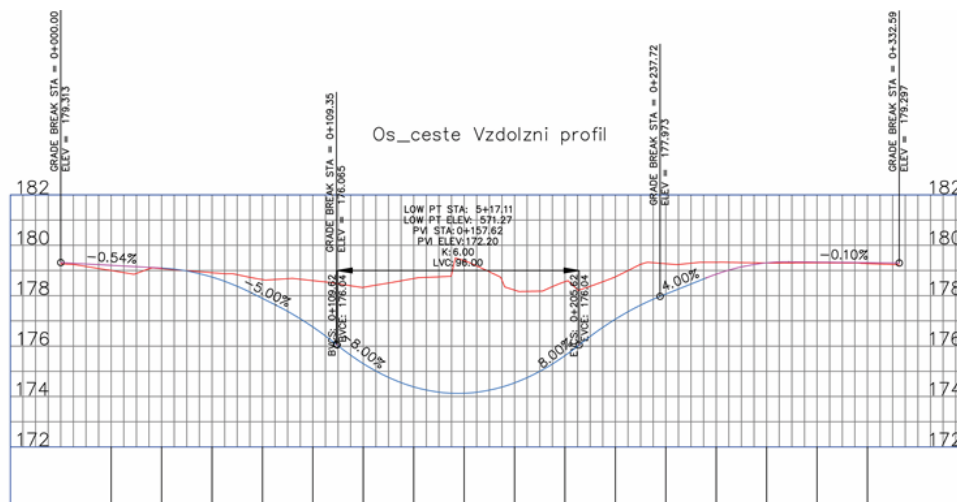
Na učinkovitost in natančnost analiz vpliva

kompleksnost 3D modela, ki ga BIM-priročniki imenujejo stopnje razvoja komponent (angl. Level of Detail/Development - LOD) in jih delijo na pet stopenj [10].

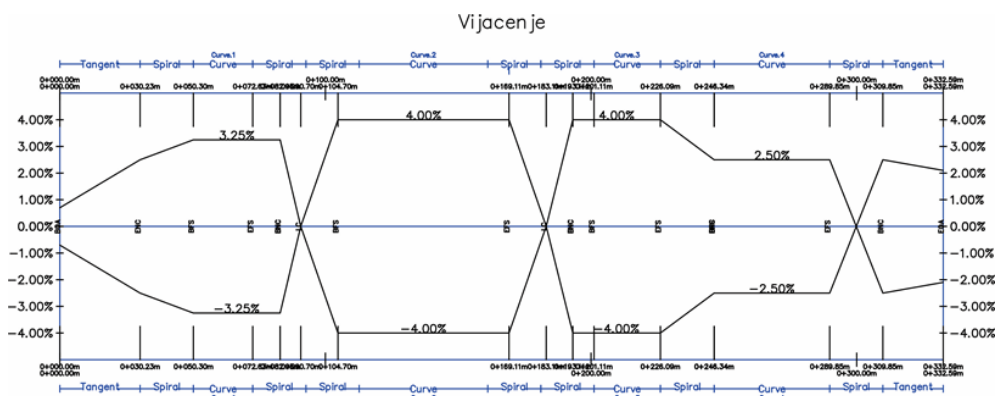
Za izdelavo 3D modela smo od izvajalca pridobili načrte v CAD 2D obliki. Predvidena je bila uporaba programa AutoCad Civil za izdelavo modela cest in železniške proge, ter programa Revit za modeliranje podvoza. Os glavne ceste sestavljajo elementi v zaporedju: prema – prehodnica – krožni lok – prehodnica – prehodnica – krožni lok – prehodnica – prema (Slika 4). Poleg tega sta načrtovana na območju podvoza še dva priključka s košarastimi krivinami z radiji v razmerju 2:1:3. S pomočjo geodetskih posnetkov smo definirali topografijo terena in izdelali vzdolžni profil ceste (Slika 5). Ob upoštevanju vijačenja ceste (Slika 6) nam je program izrisal prečne profile na razdaljah 20 m, ki so se ujemale s pridobljenimi načrti. S tem je bila cesta, ki nam je služila kot podloga za modeliranje podvoza določena.



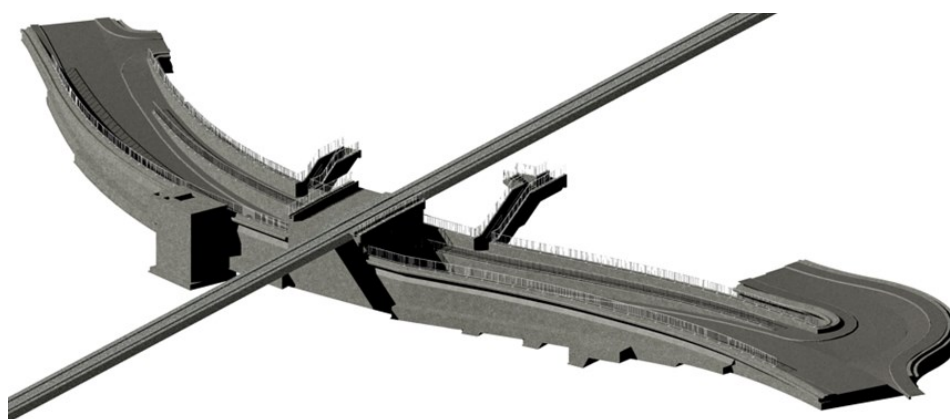
Slika 4. Cesta (situacija).



Slika 5. Vzdolžni profil ceste.



Slika 6. Vijačenje glavne ceste okoli osi.



Slika 7. 3D-model objekta Podvoz Grlava.

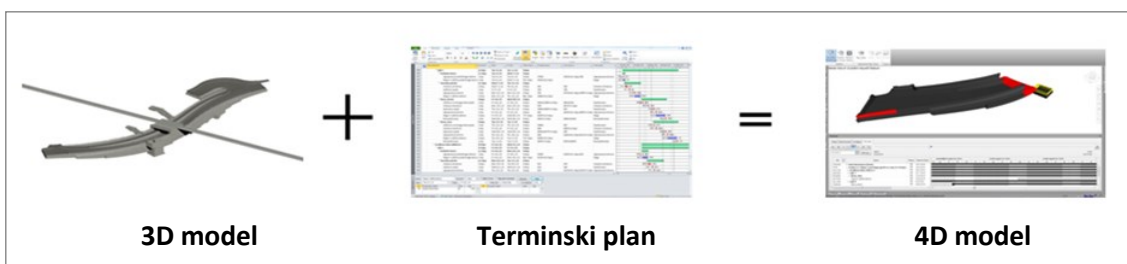
Ker orodja BIM zaradi njihove kompleksnosti ne omogočajo enostavnega prostega modeliranja (angl. *freeform modeling*), smo elemente, ki bi nam vzeli preveč časa v programu Revit modelirali v programu AutoCad Civil 3D. Ker slednji ne omogoča parametričnega modeliranja, smo geometrijo s pomočjo formatov DXF in SAT prenesli v Revit in jih opremili s parametri in informacijami. Za potrebe kasnejše terminske analize (BIM 4D) je bilo model potrebno sekcionirati glede na terminski plan. Tako imamo znotraj posameznega takta podložni beton, temeljno ploščo, desni zid, levi zid in vmesni zidec dvignjenega hodnika za pešce. Skupaj 3D model sestavlja 128 elementov (Slika 7).

Podroben model BIM 4D

4D model povezuje 3D model in terminski plan z namenom prikaza poteka gradnje objekta (Slika 8). 3D

(x,y,z) modelu torej dodamo četrto dimenzijo, to je čas (t). 4D-model prinaša koristi in prednosti v vseh fazah graditve objekta. Prav tako lahko model uporabimo pri novogradnjah in pri rekonstrukcijah. Glavne prednosti, ki jih prinaša izdelava in uporaba 4D BIM modela so:

- boljša komunikacija med vsemi deležniki pri graditvi objekta,
- predhodna analiza gradbenih aktivnosti na gradbišču,
- boljša koordinacija in organizacija na gradbišču,
- predhodno odkrivanje konfliktov na gradbišču,
- hitrejša in učinkovitejša odločitve o spremembah na gradbišču,
- povečanje produktivnosti na gradbišču,
- zmanjšanje trajanja gradnje objekta,
- uporaba v komercialne namene.



Slika 8. 4D-model za Podvoz Grlava.

Za uspešen doprinos uporabe 4D-modela ne zadostuje le predhodno izdelan model, ampak je potrebno 4D-model sproti posodabljati.

V [1] sta opisana dva načina za kreiranje 4D modela. Prvi način je ročni postopek, kjer iz 2D risb in terminskega plana, s pomočjo programov za vizualizacijo izdelamo 4D animacijo poteka gradnje. Drugi način je izdelava 4D modela s pomočjo 4D orodij. Znotraj programa za izdelavo 4D modela povežemo 3D-model s terminskim planom.

Predpogoj za izdelavo 4D-modela je natančen 3D-model, ki je ustrezno, glede na tehnologijo gradnje objekta, razdeljen na elemente. Za ponazoritev poteka gradnje mora imeti vsaka aktivnost v terminskem planu natančno določen začetek in konec aktivnosti. Ko so ti predpogoji izpolnjeni, moramo v 4D modelirniku povezati elemente s pripadajočimi aktivnostmi. To lahko storimo na ročni ali avtomatski način.

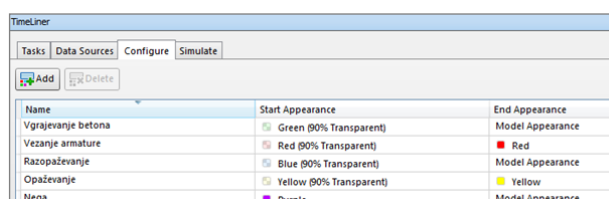
Pri izdelavi 4D modela podvoza Grlava smo terminski plan izdelali v programu Microsoft Project (Slika 9). Vsaki aktivnosti oziroma opravilu smo določili predvideno trajanje ter število ID za pripadajoči element. Opravilu smo prav tako v terminskem planu pripisali predhodno in naslednjo opravilo. Tako smo namreč pravilno sledili realnemu zaporedju gradnje objekta. Na koncu smo poiskali kritično pot (angl. critical path). Kritično pot sestavljajo medsebojno povezana opravila, njihov seštevek pa nam da celotno trajanje projekta. Zamujanje del pri kritičnem opravilu tako podaljšuje celotno trajanje projekta.

Za izdelavo 4D-modela smo uporabili program Navisworks Manage. V program smo uvozili terminski plan (uvoz datoteke MPP) in predhodno izdelan 3D-model v programu Revit (uvoz RVT datoteke).

Tabela 1. Definicija barv za elemente modela.

Vrsta del na elementu	Barva
začetek vezanja armature	svetlo rdeča
konec vezanja armature	temno rdeča
začetek opaževanja	svetlo rumena
konec opaževanja	temno rumena
vgrajevanje betona	zelena
začetek razopaževanja	svetlo modra
konec razopaževanja	temno modra
nega	vijolična

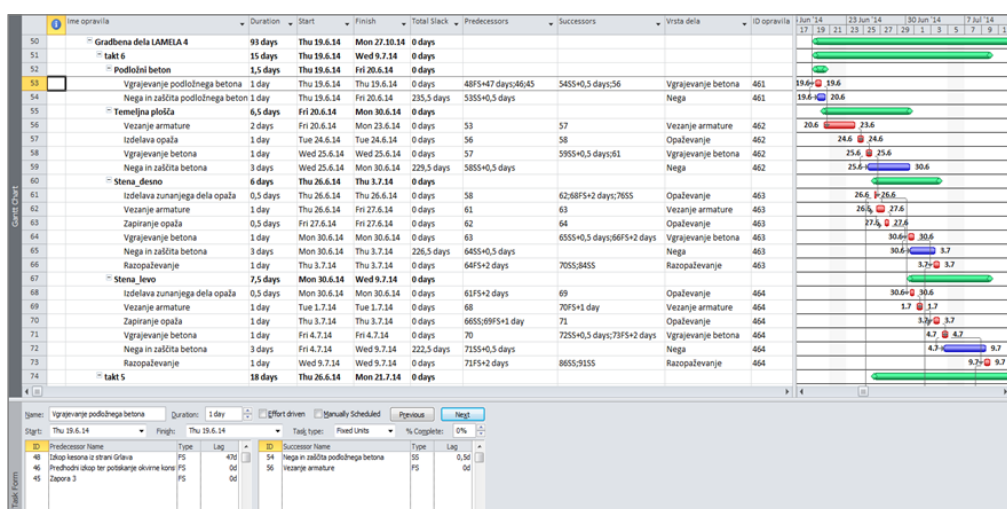
Za ponazoritev vrste del (izdelava opaža, vezanje armature, betoniranje, razopaževanje, nega betona) na posameznem elementu, smo znotraj programa določili različne barve (Tabela 1 in Slika 10).



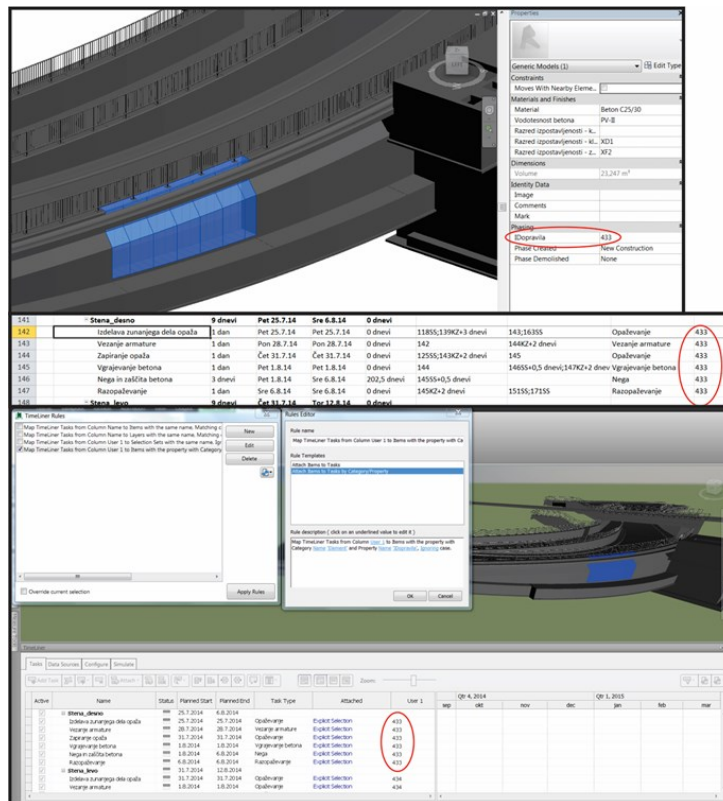
Name	Start Appearance	End Appearance
Vgrajevanje betona	Green (90% Transparent)	Model Appearance
Vezanje armature	Red (90% Transparent)	Red
Razopaževanje	Blue (90% Transparent)	Model Appearance
Opazevanje	Yellow (90% Transparent)	Yellow
Nega	Purple	Model Appearance

Slika 10. Določitev barv za elemente modela v NavisWorks.

Program samodejno poveže posamezne elemente 3D modela s pripadajočimi aktivnostmi v terminskem planu na podlagi ID števila (ukaz Auto Attach Using Rules). ID število elementa v programu Revit mora biti identično ID številu elementa v programu Microsoft Project. Po končanih uvozi in povezovanju elementov z opravili smo kreirali simulacijo gradnje kesona objekta (Slika 11).



Slika 9. Terminski plan takta 6 v gradbeni lameli 4.



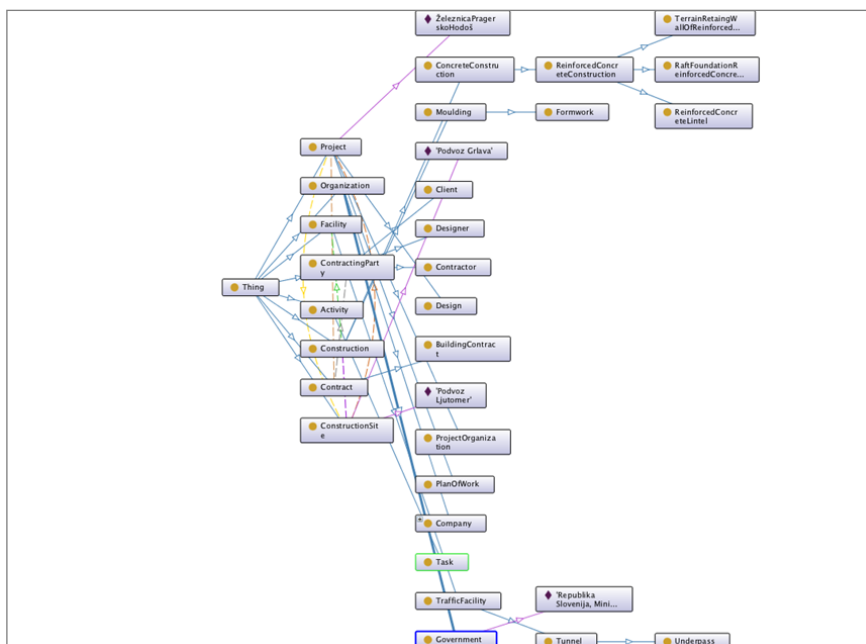
Slika 11. Pregled določitve ID opravila v programih Revit (zgoraj), MS Project (sredina) in Navisworks Manage (spodaj).

Upravljanje znanja v gradbenem projektu

Za upravljanje informacij, ki spremljajo gradbeni proces, smo v projektu DEGRIP uporabili in preizkusili brezplačni odprtokodni spletni portal MediaWiki z razširitvijo Semantic MediaWiki, ki je dostopen na spletnem naslovu kgpi.fg.um.si/DEGRIP.

Poleg portala, smo izdelali še model znanja gradbenega projekta (Slika 12), na katerem temelji struktura vsebine portala. Pri snovanju splošnega

gradbenega modela znanja smo uporabili standardizirani podatkovni slovar buildingSMART. Prav zaradi tega izdelani model znanja ni vezan le na specifični gradbeni projekt, temveč se ga lahko uporabi tudi pri drugih projektih. Model znanja smo nato preslikali v spletni portal v obliki kategorij, lastnosti in primerkov oz. prispevkov, ki smo jih uvrstili v ustvarjene kategorije. V prispevke smo dodali še semantične oznake in na ta način vsebino pomensko opisali.



Slika 12. Model znanja (grafični prikaz).

Smisel semantičnega spletnega portala je tudi v hitrem in razmeroma preprostem dostopu do informacij. Tako se informacije lahko samodejno prikazujejo glede na povezan pomen, ali pa uporabnik do njih dostopa s poizvedbami. Prikaz informacij ni omejen le na splošno besedilno obliko – npr. poizvedba o gradbenih objektih lahko namesto seznama objektov kot rezultat vrne zemljevid z označenimi lokacijami objektov. Klik na objekt lahko nato vodi do opisa gradbenega objekta, podobnih objektov, posameznih struktur, uporabljenih materialov, informacij o izvajalcih, in v splošnem do vseh informacij, ki so na kakršen koli način povezane z objektom.

Zaključne ugotovitve

Rezultate naše raziskave v sodelovanju s podjetjem SGP Pomgrad-Gradnje d.o.o. uvajamo v gradbeno prakso. S sodelovanjem v skupnem projektu bomo podjetju omogočili:

- Znanje o procesih, potrebnih za vpeljavo koncepta BIM v podjetje
 - Podroben terminski načrt gradnje bo podjetju koristil pri nadaljnji gradnji Podvoza Grlava in Podvoza Ljutomer (do zaključka sredi leta 2015)
 - 4D-model bo podjetje lahko uporabilo za spremljanje aktivnosti gradnje
- Znanje o programskih orodjih potrebnih za izdelavo 3D- in 4D-modelov
- Znanje o možnostih uporabe semantičnih tehnologij za boljše upravljanje znanja v gradbenih projektih
 - semantični portal bo podjetje uporabljalo kot vir informacij na gradbišču (za vodjo projekta, za vodjo gradbišča, za pomočnico vodje gradbišča)

Sodelovanje podjetja SGP Pomgrad-Gradnje d.o.o. v projektu DEGRIP ocenjujemo kot zelo konstruktivno, njihov prispevek pa kot zelo koristen za rezultate raziskave. Njihove ideje, komentarji in pričakovanja z vidika možne uporabe rezultatov v praksi so pomembno vplivali na potek in rezultate projekta.

Nadaljnje raziskave

Raziskava v okviru projekta DEGRIP je naletela na zelo pozitiven odziv pri partnerju projekta SGP Pomgrad-Gradnje d.o.o. Dogovorjeno je bilo, da bomo z raziskavami nadaljevali tudi po uradnem zaključku projekta. Dodatno želimo namreč izpopolniti naslednje rezultate projekta:

- izdelati funkcionalen 4D model za Podvoz Grlava in Podvoz Ljutomer,
- izpopolniti semantični portal,

- vzpostaviti aplikacijski strežnik za program, ki smo ga izdelali iz modela procesa.

Glede na to, da se gradnja Podvoza Grlava zaključuje sredi leta 2015, bi želeli v naslednjem letu pridobiti financiranje novega projekta v katerem bi izdelali še natančnejši 3D model za objekt črpališča (vključno s strojno opremo) za Podvoz Grlava. Prav tako bi želeli v novem projektu nadgraditi semantični portal z dodatno funkcionalnostjo, ki bi bila specifična za gradbene projekte (npr. razširitev za prikaz 3D in 4D modelov).

Literatura

1. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, vol. 2. 2011, pp. 1–650.
2. L. Kanapeckiene, A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, and M. Seniut, "Integrated knowledge management model and system for construction projects," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23. pp. 1200–1215, 2010.
3. B. Dave and L. Koskela, "Collaborative knowledge management - A construction case study," *Autom. Constr.*, vol. 18, pp. 894–902, 2009.
4. G. S. Coleman and J. W. Jun, "Interoperability and the construction process - A WHITE PAPER FOR BUILDING OWNERS AND PROJECT DECISION-MAKERS," 2012.
5. Q. Wang, M. El-Gafy, and J. Zha, "Bi-Level Framework for Measuring Performance to Improve Productivity of Construction Enterprises," in *Construction Research Congress 2010*, 2010, vol. 373, no. 41109, pp. 970–979.
6. M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, J. L. Dettbarn, and L. T. Gilday, *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U . S . Capital Facilities Industry*. NIST, 2004.
7. J. Tulke, M. Nour, and K. Beucke, "A Dynamic Framework for Construction Scheduling based on BIM using IFC," *IABSE Congress Report*, vol. 17. pp. 158–159, 2008.
8. J. Beetz, L. van Berlo, R. de Laat, and P. van den Helm, "bimserver. org—An Open Source IFC Model Server," in *Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference—Cairo, Egypt, 2010*, pp. 16–18.
9. M. Todorovič, "BIM.SI - blog on WordPress.com." [Online]. Available: <https://bimsi.wordpress.com/>. [Accessed: 23-Dec-2014].
10. R. M. Bloomberg, B. J. D., and R. D., "BIM Guidelines," 2012.