

Primljen / Received: 26.2.2013.

Ispravljen / Corrected: 7.7.2013.

Prihvaćen / Accepted: 26.11.2013.

Dostupno online / Available online: 10.12.2013.

Dinamički planovi utemeljeni na ciklusima rada

Autori:



Dr.sc. **Dejan Marinković**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Beogradu
Građevinski fakultet
dejan@grf.rs



Doc.dr.sc. **Zoran Stojadinović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Beogradu
Građevinski fakultet
joka@grf.bg.ac.rs



Izv.prof.dr.sc. **Nenad Ivanišević**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Beogradu
Građevinski fakultet
nesa@grf.bg.ac.rs

Pregledni rad

[Dejan Marinković](#), [Zoran Stojadinović](#), [Nenad Ivanišević](#)

Dinamički planovi utemeljeni na ciklusima rada

U radu se predlaže novi pristup kratkoročnom planiranju nazvan PCR (planovi po ciklusima rada), koji se temelji na prostornim i tehnološkim ciklusima, kontinuiranim radnim procesima grupa i dnevnom planiranju. Predloženi novi pristup planiranju ispitan je na primjeru izgradnje sedam višekatnih građevina. Zaključeno je kako se primjenom PCR-a može uspješno utjecati na to da se prevladaju ograničenja postojećih pristupa planiranju na mikrorazini (dnevni zadaci, usklađivanje radnih grupa), unaprijedi proces izrade planova i poboljša produktivnost radova.

Ključne riječi:

kratkoročni planovi, radni proces, ciklus rada, produktivnost

Subject review

[Dejan Marinković](#), [Zoran Stojadinović](#), [Nenad Ivanišević](#)

Work cycle based scheduling

The paper proposes a new approach to short-term scheduling based on spatial and technological cycles, continuous crew flows and daily scheduling, named WCBS (Work Cycle Based Scheduling). Application of WCBS is shown on a case study of constructing seven multi-storey structures. It was concluded that WCBS helps overcome restrictions of existing approaches to micro scheduling (daily tasks and crew coordination), enhances the scheduling process and increases productivity of works.

Key words:

short-term schedules, workflow, work cycle, productivity

Übersichtsarbeit

[Dejan Marinković](#), [Zoran Stojadinović](#), [Nenad Ivanišević](#)

Auf Arbeitszyklen basierte dynamische Planung

In der vorliegenden Arbeit wird ein neues Verfahren kurzfristiger Planung vorgeschlagen, das sich AZBP (auf Arbeitszyklen basierte Planung) nennt und auf räumlichen und technologischen Zyklen, fließendem Wechsel der Teammitglieder, sowie kontinuierlicher Tagesplanung beruht. Anwendungen sind am Beispiel der Erbauung sieben mehrstöckiger Gebäude dargestellt. Es ist festgestellt worden, dass Einschränkungen bestehender Vorgänge der Mikroplanung (tägliche Aufgaben und Teamkoordination) überwunden werden können, sowie der Planungsprozess verbessert und die Arbeitsproduktivität erhöht werden können.

Schlüsselwörter:

kurzfristige Planung, Arbeitsablauf, Arbeitszyklus, Produktivität

1. Uvod

Istraživanja u svijetu pokazuju da u posljednjih nekoliko desetljeća, u većini zemalja, produktivnost u građevinarstvu ne prati rast produktivnosti u ostalim industrijskim granama [1-6]. U nekim od vodećih ekonomija svijeta čak je zabilježen i pad produktivnosti u građevinarstvu. U razdoblju od 1979. do 2005. u SAD-u je pad stope produktivnosti u građevinskoj industriji iznosio 0,84 % godišnje, a u Njemačkoj i Japanu 0,06 % godišnje [4]. Kao razlozi za neprimjereni rast produktivnosti u građevinarstvu i prepreke za njeno daljnje unaprjeđenje navode se: segmentirani i nedovoljno povezani procesi planiranja, financiranja, projektiranja, inženjeringa, nabave, izgradnje i održavanja, velik broj raznovrsnih sudionika u realizaciji projekata, nedovoljna zastupljenost novih tehnologija, neodgovarajuća kvaliteta i osposobljenost radne snage, rad na otvorenom prostoru, podložnost promjenama, nedostatak učinkovitih mjera za mjerenje dostignuća, nedovoljna ulaganja u istraživanja [1] i dr.

Više autora upozorava na neprimjerenost planiranje kao jedan od bitnih uzroka koji dovode do toga da se produktivnost u građevinarstvu ne unaprjeđuje [1, 6]. Uslijed toga dolazi do nepotpunog angažiranja radne snage tijekom radnog vremena (pojava zastoja u radu ili angažiranje smanjenim intenzitetom). Kvaliteta planova je jedan od važnih čimbenika za uspješnu realizaciju projekta, a posebno značenje imaju planovi koji se bave organizacijom posla i usklađivanjem grupa na mikrorazini. Međutim, građevinskoj industriji i dalje nedostaje učinkovit i praktičan sustav kratkoročnog planiranja kojim se mogu precizno opisati procesi grupa i rada na toj razini [7]. Opće prihvaćene tehnike planiranja utemeljene na metodi kritičnog puta (engl. *Critical Path Method* - CPM) prikladnije su za dugoročno planiranje nego za razinu detaljnog planiranja [8].

Građevinarstvo karakterizira statičnost proizvoda i dinamičnost proizvodnih snaga i procesa, što je oprečno ostalim industrijskim granama [9]. Zbog toga se ispravna rješenja u organizaciji posla u uspješnim industrijskim granama do sada nisu mogla jednostavno preslikati na građevinarstvo. U ovom se radu analiziraju postojeći sustavi planiranja i predlaže se novi sustav kratkoročnog planiranja nazvan PCR (planovi po ciklusima rada), kojim bi se prevladala ograničenja postojećih pristupa i stvorili uvjeti za veću primjenu pozitivne industrijske prakse, što bi povoljno utjecalo na produktivnost u građevinarstvu. Istraživanje je provedeno na primjerima izgradnje višekatnih zgrada, kao jednom od složenijih slučajeva za detaljno planiranje po grupama.

2. Metodologija istraživanja

U literaturi i praksi je uočeno da postoje problemi s unaprjeđivanjem produktivnosti u građevinarstvu [1-5], kao i veza između produktivnosti i planiranja [1, 6]. U ovom radu analizirane su postojeće metode planiranja, razmotrene su

njihove prednosti i nedostaci i provedena je njihova usporedba. Razmatrane su mogućnosti za unaprjeđenje postojećih pristupa planiranju i predložen je novi pristup utemeljen na planovima po ciklusima rada, koji je provjeren na gradilištima sedam zgrada visokogradnje.

Pretpostavka je da bi se njegovom primjenom moglo povoljno utjecati na to da se prevladaju ograničenja postojećih pristupa kratkoročnom planiranju i unaprjeđenje produktivnosti. Na osnovi dobivenih rezultata potvrđena je pretpostavka da primjena PCR-a dovodi do unaprjeđenja produktivnosti na gradilištima.

3. Postojeći pristupi planiranju u građevinarstvu

U suvremenoj praksi najčešće se primjenjuju sljedeći pristupi u planiranju: sustav posljednjih planera (engl. *Last Planner System* - LPS), upravljanje utemeljeno na lokacijama (engl. *Location Based Management* - LBM), 4D modeliranje (engl. *4D modeling*), kao i tradicijski pristup utemeljen na CPM-u.

3.1. Sustav posljednjih planera (LPS)

LPS predstavlja sustav planiranja kod kojeg su više razine planiranja povjerene glavnim planerima, a kratkoročno planiranje posljednjim planerima [10-12]. Posljednji planer je osoba ili skupina odgovorna za kontrolu proizvodne jedinice i završetak određenih zadataka na operativnoj razini [13]. Na taj je način predviđeno da se primjenom LPS-a osigura bolje uočavanje mikro uvjeta i ograničenja, kao i da se provede bolje usklađenje rada. U LPS-u su razvijeni srednjoročni planovi (engl. *Lookahead planning*) za razdoblje od četiri do šest tjedana, čija je osnovna funkcija pravodobno razmotriti i osigurati preduvjete za provedbu aktivnosti [14]. U tjednim planovima se razmatraju samo aktivnosti za koje su prethodno omogućeni preduvjeti. Tjedni planovi predstavljaju zajednički dogovor o zadacima za sljedeći tjedan, i on se usuglašava na tjednim sastancima [15]. Međutim, LPS nastavlja tradiciju CPM-a, ne uzimajući u obzir lokacije za aktivnosti [15].

3.2. Upravljanje utemeljeno na lokacijama (LBM)

U okviru ovog pristupa uspostavljaju se radni procesi koji se shvaćaju kao skupovi istorodnih aktivnosti koje se ponavljaju na različitim lokacijama i za koje su zadužene posebne radne brigade. Takvi radni procesi grafički se prikazuju pomoću linija na koordinatnom sustavu vrijeme – prostor [16, 17]. Lokacije su podijeljene po razinama i za svaki projekt se utvrđuje odgovarajuća struktura lokacija [18, 19]. U LBM-u su razvijeni alati za usklađivanje radnih procesa pri izradi planova, kao i sustav "alarma" koji prilikom izvođenja radova upozorava na prostorno-vremenska preklapanja uslijed različitog napredovanja radnih procesa [18]. U LBM-u se inzistira na uspostavljanju kontinuiranih radnih procesa što doprinosi nižim troškovima radne snage. Međutim, LBM ne zadire u

kratkoročno planiranje i sustav dnevnih zadataka, i zbog toga se predlaže zajednička primjena LPS-a i LBM-a, ali se naglašava da postavljene pretpostavke u vezi s poboljšanjem produktivnosti treba dalje istraživati [20].

3.3. 4D modeliranje

4D modeliranje predstavlja kombinaciju prostornih podataka i vremenskog rasporeda. Povezivanje se ostvaruje između građevinskih komponenti iz 3D CAD modela s aktivnostima iz dinamičkih planova [21-25]. 4D modeliranjem se utvrđuju prostorno-vremenska preklapanja aktivnosti i upućuje na pogreške u planovima koje treba ispraviti prije njihove realizacije [21, 24].

Building Information Modeling (BIM) predstavlja integrirani informacijski model građevine koji osim podataka o geometriji građevine i 3D elementima, sadrži i niz drugih parametara koji detaljno opisuju građevinu (prostorni odnosi, specifikacije, karakteristike građevinskih komponenti, recepture, količine i dr.) [26]. BIM objedinjuje podatke nužne za sudionike na projektu, pridonosi boljoj integraciji procesa projektiranja i izvođenja radova [27] i može se primijeniti tijekom cjelokupnog životnog ciklusa projekta [28]. Upotreba BIM-a pri 4D modeliranju (4D BIM) pomaže izvođačima i drugim sudionicima na projektu bolju koordinaciju i planiranje procesa izgradnje, učinkovitije donošenje odluka i provođenje procjena [27, 29-32].

Primjenom 4D modeliranja i simulacije može se smanjiti dio planiranja koje se obavlja na gradilištu i izbjeći učenje na pogreškama [33]. Isti autori navode da je izazov pronaći takav raspored rada, gdje grupe ne smetaju jedna drugoj i gdje je omogućen kontinuitet rada. Posebnu važnost za bolju organizaciju posla i razumijevanje planova od strane neposrednih izvršitelja imaju vizualizacije kratkoročnih planova [34]. Upravljanje radnim procesima može se podijeliti na makromenadžment i mikromenadžment [21]. Makromenadžment se vezuje za dugoročne planove i 4D modeliranje s ciljem dobivanja usklađenih radnih procesa,

a mikromenadžment se zasniva na principima LPS-a. U okviru mikromenadžmenta upućuje se na važnost dnevnog planiranja [21], ali se ne prikazuje način proračuna dnevnih zadataka i dnevnih lokacija.

3.4. Ograničenja postojećih pristupa

Primjenom LBM-a, LPS-a i 4D modeliranja mogu se dobiti primjereni dugoročni planovi. Ključna ograničenja postojećih pristupa odnose se na kratkoročno planiranje, odnosno planiranje na mikrorazini (dnevni planovi po grupama) [7, 15, 20, 35-37], gdje je organizacija posla i samo planiranje povjereno poslovođa (posljednji planeri), bez sustavnih pravila i indikatora. U praksi, ovi pojedinci mogu biti subjektivni i ne uvidjeti što je najbolje za projekt u cjelini [34, 38] i što sve može nepovoljno utjecati na produktivnost.

U tablici 1. prikazana je analiza razmatranih pristupa za planiranje s aspekta postojanja precizno definiranih procedura za upravljanje radnim grupama na mikrorazini. Može se uočiti da nijedan od postojećih pristupa ne obuhvaća izdvajanje prostorno-tehnoloških ciklusa rada, podjelu radnih procesa na potprocese radnih grupa i proračun dnevnog opsega posla. U pojedinim pristupima razmatra se problematika dnevnih lokacija i usklađivanje grupa na mikrorazini, ali samo na razini dogovora ili grafički, bez proračuna. Glavni je cilj ovog istraživanja prevladati navedena ograničenja u planiranju.

4. Novi pristup u kratkoročnom planiranju

Kad je riječ o izradi dugoročnih planova, postojeći pristupi planiranju zadovoljavaju u vezi s osiguranjem kontinuiranosti i usklađenosti radnih procesa. Za kratkoročne planove predložen je novi pristup koji se temelji na planovima po ciklusima rada (PCR), prevladavajući ograničenja postojećih pristupa planiranju na mikrorazini.

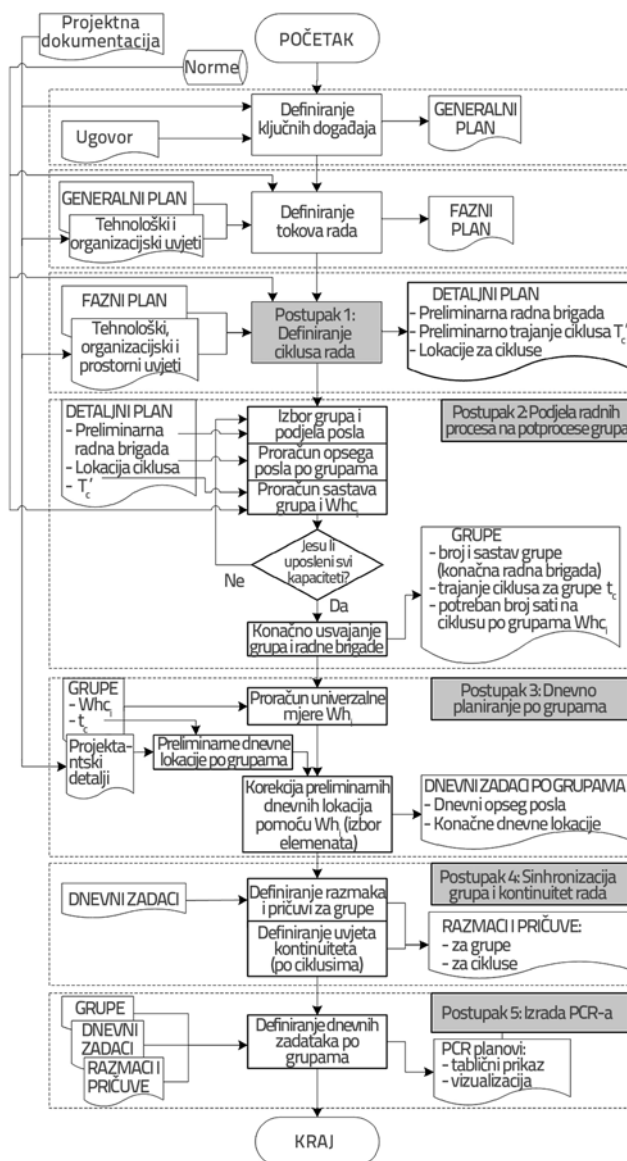
Za dugoročne planove predloženo je njihovo razvrstavanje u tri hijerarhijske razine (generalni, fazni i detaljni plan). Vertikalna povezanost između planova ostvarena je odgovarajućom

Tablica 1. Usporedni prikaz pristupa planiranju s aspekta precizno definiranih procedura za upravljanje radnim grupama na mikrorazini

Kriteriji Pristup planiranju	Radni proces	Prostorno-tehnološki ciklusi rada	Podjela radnog procesa na potprocese	Proračun dnevnih lokacija po grupama	Proračun dnevnog opsega posla po grupama	Usklađivanje na mikrorazini
LPS	ne	ne	ne	ne	ne	dogovor posljednjih planera
LBM	da	ne	ne	ne	ne	ne
LBM + LPS	da	ne	ne	ne	ne	dogovor posljednjih planera
4D modeliranje - makro i mikro menadžment	da	ne	ne	grafička podjela	ne	grafički i dogovor posljednjih planera
PCR – novi pristup	da	da	da	da	da	da; kvantitativno i grafički

strukturu planova. Generalni plan je definiran kao skup ključnih događaja na projektu. U faznom planu uspostavljaju se radni procesi koji predstavljaju tehnološke linije na projektu, a one realiziraju posebne organizacijske jedinice – radne brigade. Aktivnosti u detaljnom planu nastaju razlaganjem radnih procesa na cikluse koji podrazumijevaju zaokružene tehnološke i prostorne cjeline, sa skupom operativnih zadataka povjerenih jednoj radnoj brigadi (npr. kod višekatnih građevina ciklusi se odnose na etaže ili na dijelove etaže ako su dodijeljeni različitim brigadama). Dok ciklus predstavlja jednu aktivnost radne brigade na razini detaljnog plana, ta aktivnost se na razini PCR-a razlaže na skup dnevnih zadataka po grupama iz radne brigade.

U novopredloženom pristupu kratkoročnom planiranju (PCR) predviđeni su sljedeći postupci za njegovu izradu:



Slika 1. Postupci pri izradi PCR-a i veza s dugoročnim planovima

1. definiranje ciklusa,
2. podjela radnih procesa na potprocese i definiranje grupa,
3. dnevno planiranje,
4. usklađivanje grupa i osiguranje kontinuiteta rada i
5. izrada dinamičkog plana za ciklus.

Na slici 1. prikazan je dijagram procesa s postupcima za izradu PCR-a, kao i njihova veza s dugoročnim planovima.

4.1. Definiranje ciklusa

Definiranje ciklusa provodi se u fazi izrade detaljnog plana. PCR se priprema samo za različite cikluse (na primjer: konstrukcija podzemne etaže, tipskog kata i potkrovlja). Trajanje ciklusa T_c u detaljnom planu proračunava se na osnovi opsega posla, normi, ugovornih zahtjeva i uvjeta ograničenja. To trajanje je preliminarno i služi kao ulaz za proračune u PCR-u, nakon čega se određuje konačno trajanje i po potrebi korigira detaljni plan.

4.2. Podjela radnih procesa na potprocese i definiranje grupa

Svakom radnom procesu dodjeljuje se po jedna radna brigada koja se sastoji od više grupa. Podjelom poslova po grupama uspostavljaju se potprocesi. Grupe na svakom ciklusu jednog radnog procesa izvode istovrsne poslove, čime se ostvaruje specijalizacija rada, kao jedno od osnovnih načela industrijskog načina proizvodnje.

Proračun sastava radnih grupa obavlja se na osnovi pripadajućeg opsega posla na ciklusu, normativa i usvojenog trajanja ciklusa t_c za radne grupe koje odgovara trajanju ciklusa iz detaljnog plana T_c . Ako zaposlenost grupa ili struktura radnika nisu na zadovoljavajućoj razini, provodi se ponovna preraspodjela posla između grupa s istim vrstama radnika i postupak se ponavlja. Za proračun zaposlenosti kapaciteta U_c , grupe E_i u radu se predlaže odnos potrebnog broja radnih sati Whc_i i usvojenog broja radnih sati Whk_i za ciklus. Whc_i se određuje na osnovi opsega posla i normativa, a Whk_i na osnovi definiranog broja radnika, radnog vremena i t_c .

$$U_{c_i} = \frac{Whc_i}{Whk_i} \tag{1}$$

Zaposlenost kapaciteta se u okviru PCR-a koristi kao parametar za identifikaciju i mjerenje "rasipanja" radnih sati tijekom izrade planova, a također i tijekom izvođenja radova.

4.3. Dnevno planiranje

Kako bi se pristupilo izradi dnevnih planova za grupe, nužno je najprije utvrditi mjeru za dnevni opseg posla. Nakon toga se određuju dnevne lokacije i utvrđuju dnevni zadaci.

4.3.1. Proračun univerzalne mjere za dnevni opseg posla grupa

S obzirom na to da jedna grupa tijekom ciklusa izvodi više različitih pozicija radova, postavlja se pitanje kako ujednačiti njihove dnevne zadatke i kojom mjerom realno prikazati dnevni opseg posla. U sustavu PCR-a za to je predložena mjera pod nazivom dnevni fond radnih sati grupe Wh_i koja predstavlja odnos ukupno dodijeljenih normi sati Whc_i za grupu E_i na ciklusu i trajanja ciklusa t_c za tu grupu.

$$Wh_i = \frac{Whc_i}{t_c} \quad (2)$$

Navedena mjera predstavlja fond radnih sati koji određena grupa treba ostvariti svaki dan, a da pri tom dobivena produktivnost bude jednaka planiranoj.

4.3.2. Proračun dnevnih lokacija i dnevnih zadataka po grupama

Broj dnevnih lokacija usklađen je s trajanjem ciklusa za radne grupe t_c . Najprije se određuju preliminarne dnevne lokacije koje trebaju zadovoljiti projektnu, tehnološku i organizacijsku uvjete, a zatim se obavlja njihova korekcija u skladu s različitim koncentracijom posla na lokaciji ciklusa.

Svakoj se grupi E_i u okviru preliminarne dnevne lokacija po tehnološkom redoslijedu izvođenja dodjeljuju elementi sve dok zbroj njihovih potrebnih normi sati ne bude jednak dnevnom fondu radnih sati Wh_i . Ovako izdvojeni elementi određuju dnevni opseg posla, a prostor na kojem se nalaze predstavlja konačnu dnevnu lokaciju. Dnevni zadatak grupe određen je dnevnom lokacijom i dnevnim opsegom posla. U PCR-u dnevne lokacije se označavaju na arhitektonsko-građevinskoj osnovi objekta, kao i elementi konstrukcije koji se taj dan izvode.

Za većinu grupa mogu se uspostaviti jasno razgraničene jednodnevne lokacije, ali se u posebnim slučajevima mogu javiti višednevne lokacije. Za njih je karakteristično da se na malom prostoru javlja velika koncentracija posla (npr. jezgra dizala i stubišta), što zahtijeva izvođenje radova jedne grupe ili više njih, i to više dana na istoj lokaciji. U ovom slučaju uspostavljaju se mikrociklusi koji trebaju biti usklađeni s ostalim radovima na ciklusu. Raspodjela dnevnih zadataka za grupe u mikrociklusu provodi se po elementima, a razmaci između grupa osigurani su podjelom višednevnih lokacija na manje tehnološke cjeline na osnovi kojih se grupe mogu smjenjivati i tijekom jednog dana.

4.4. Usklađivanje grupa i osiguranje kontinuiteta rada

U PCR-u se inzistira na usklađivanju grupa unutar svakog radnog procesa. To podrazumijeva usklađivanje grupa unutar ciklusa i osiguranje kontinuiteta rada pri prelasku na sljedeći ciklus.

4.4.1. Usklađivanje grupa

Kako bi se osigurao usklađen rad grupa na ciklusu, potrebno je da njihovi radovi traju isto t_c i da se između grupa osiguraju odgovarajući prostorno-vremenski razmaci Z_i . Ti razmaci mogu biti posljedica tehnologije rada ili neusklađenosti dnevnih lokacija po obliku, veličini i položaju (L_z , slika 2.). Između grupa se može uvesti dodatno pričuveno vrijeme Bf_i (engl. *buffer*) koje služi za kompenzaciju mogućih kašnjenja. Prostorno-vremenski razmaci proizlaze iz konkretnih uvjeta, a dodatno pričuveno vrijeme po potrebi određuje planer. Grupe se uvode u ciklus po tehnološkom redoslijedu, a ovisnost između dvije susjedne grupe E_i i E_{i+1} može se prikazati na sljedeći način:

$$D(E_{i+1}) = D(E_i) + Z_i + Bf_i \quad (3)$$

gdje je:

$D(E_{i+1})$ – radni dan za grupu E_{i+1} ,

$D(E_i)$ – radni dan za grupu E_i ,

Z_i – prostorno-vremenski razmak između grupa E_i i E_{i+1} ,

Bf_i – pričuveno vrijeme između grupa E_i i E_{i+1} .

Radni dani računaju se s početkom radova na prvom ciklusu. Ukupno trajanje radova na ciklusu T_c sa m grupa može se prikazati kao:

$$T_c = t_c + \sum_{i=1}^{m-1} (Z_i + Bf_i) \quad (4)$$

Ovako dobiveno trajanje razlikuje se od preliminarne trajanja ciklusa T_c' iz početnog detaljnog plana pa je u tom smislu nužna korekcija detaljnog plana.

4.4.2. Osiguranje kontinuiteta rada grupa

Da bi grupe kontinuirano radile trebaju biti usklađene u okviru ciklusa i trebaju prelaziti na sljedeći ciklus bez zastoja. Kako bi se pri izradi konstrukcije kod višekratnih građevina omogućio kontinuirani prelazak grupa, nužno je da grupa E_m (koja posljednja počinje radove na jednom ciklusu) završi svoje radove bar na svojoj prvoj dnevnoj lokaciji prije nego što na istu lokaciju sljedećeg ciklusa prijeđe grupa E_1 (koja prva počinje sljedeći ciklus). U primjeru na slici 2. takva veza je uspostavljena između grupe tesara na vertikalnim elementima - $T_v(E_1)$ i grupe betoniraca na horizontalnim elementima - $B_h(E_2)$. Navedeni uvjet može biti proširen u smislu uvođenja prostorno-vremenskog razmaka Z_c i/ili pričuvnog vremena Bf_c između dva ciklusa. Na temelju toga definira se uvjet kontinuiteta:

$$D(E_m) + 1 + Bf_c + Z_c = D'(E_1) \quad (5)$$

gdje je:

$D(E_m)$ – radni dan za grupu E_m ,

$D'(E_1)$ – radni dan za grupu E_1 na sljedećem ciklusu.

Kako je za grupe na ciklusu usvojeno isto trajanje radova, uspostavljena ritmičnost se prenosi s prve grupe na ostale grupe iz ciklusa.

4.5. Izrada dinamičkog plana za ciklus

Na temelju rezultata proračuna iz prethodnih postupaka, glavni planer izrađuje planove po ciklusima rada (PCR) koji mogu biti prikazani: tablično, u obliku gantograma ili vizualizacijom. Za primjenu u praksi, 2D⁺ vizualizacija napredovanja radova (kombinacija 2D crteža i vremenskog plana) prilično je praktična jer je lako razumljiva za neposredne izvršitelje i ne zahtijeva informatičko znanje. Vizualizacija po grupama predstavlja planove njihovog rada na ciklusu, dok vizualizacija po radnim danima prikazuje kako je provedena usklađenost grupa.

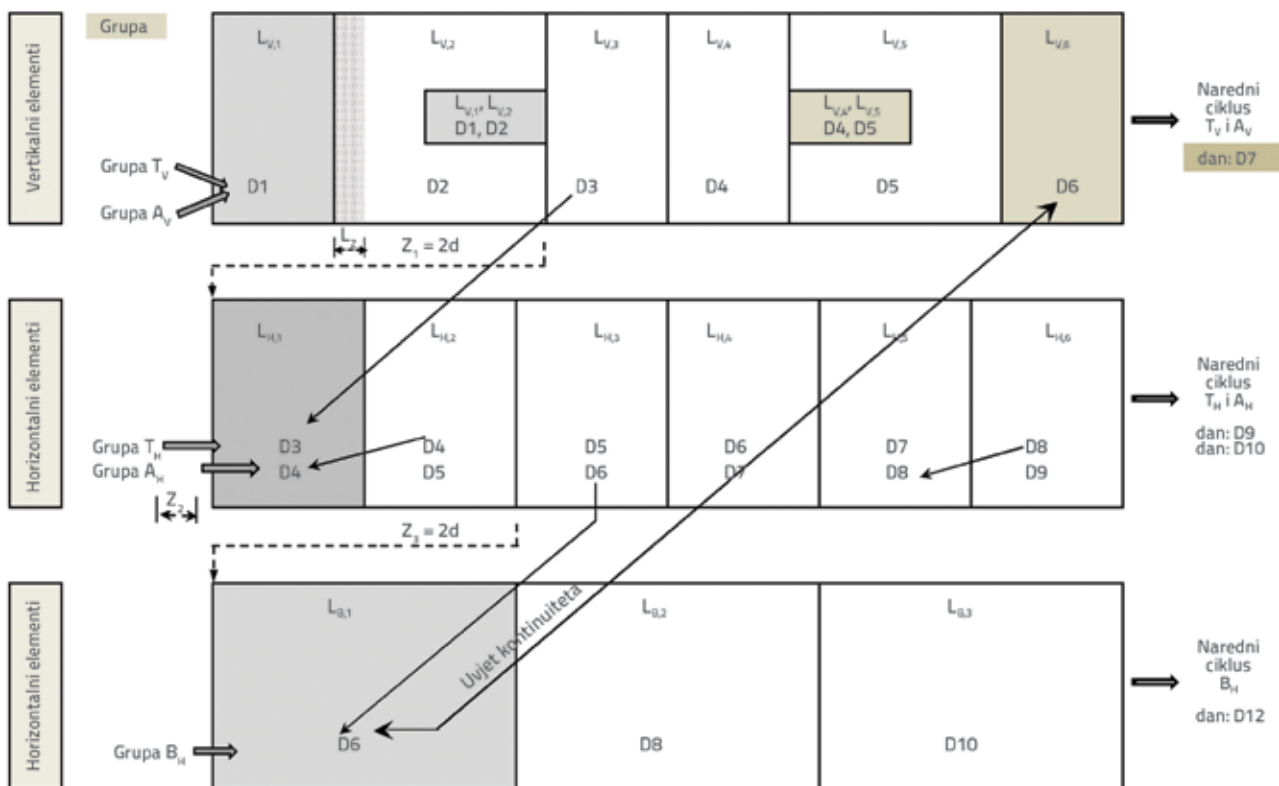
Na slici 2. prikazana je 2D⁺ vizualizacija za ciklus izrade konstrukcije tipskog kata stambenog objekta. Za izvođenje ciklusa predviđeno je pet radnih grupa: 1) tesari za vertikalne elemente T_v, 2) armirači za vertikalne elemente A_v, 3) tesari za horizontalne elemente T_h, 4) armirači za horizontalne elemente A_h, 5) betonirci za horizontalne elemente B_h. Na tlocrtu zgrade shematski su prikazane dnevne lokacije (L_{v,i}, L_{h,i} i L_{b,i}). Grupe s istim dnevnim lokacijama grupirane su i prikazane na jednom tlocrtu zgrade. Osim dnevnih lokacija, za svaku grupu prikazani su radni dani (D_r) mjereno od

početka prvoga ciklusa, kao i prostorno-vremenski razmaci između grupa (Z_i).

Za primjenu PCR-a posebno je značajna realizacija prvoga ciklusa koji se uspoređuje s pokusnom proizvodnjom u industriji, gdje treba uočiti nedostatke, uskladiti grupe, ukloniti odstupanja i dostići planirane zahtjeve proizvodnje. Zbog toga se predlaže da glavni planer tijekom prvoga ciklusa dnevno kontrolira kako se provodi realizacija planova. Nakon toga predlaže se da poslovođe obavljaju dnevnu kontrolu realizacije planova po grupama za koje su zaduženi. Pomoćnik inženjera gradilišta kontrolira rad poslovođe, objedinjuje sve podatke na dnevnoj razini i odgovoran je za dnevnu kontrolu planova. Glavni planer kontrolira rad pomoćnika inženjera gradilišta, kontrolira ostvarenje planova na tjednoj razini ili nakon svakog ciklusa, utvrđuje smjernice i, u slučaju odstupanja, predlaže korektivne mjere.

4.6. Korekcija dugoročnih planova

Rezultati proračuna (trajanje, sastav grupa, prostorno-vremenski razmaci, pričuvno vrijeme, resursi i dr.) iz PCR-a se unose u detaljni plan i provodi se ponovni proračun. Na taj način dobivaju se realni dugoročni planovi, uspostavlja se bolja vertikalna veza između različitih razina planiranja i stvaraju se preduvjeti za primjereniju kontrolu dugoročnih planova.



Slika 2. 2D⁺ vizualizacija PCR-a za tipski kat stambene zgrade

Tablica 2. Izvod iz PCR-a za izradu vertikalnih elemenata konstrukcije tipskog kata zgrade A₁

GRUPE	Dani Aktivnosti	CIKLUS				Potrebno za ciklus	Wh _k	U _c	
		d ₁	...	d ₈					
A _v = 3 armirača Vertikalni elementi		L(A _v) ₁	D ₁		L(A _v) ₈	D ₈			
	armiranje stupova	11 kom	30 h		7 kom	27,9 h	37 kom	237,9 h	240 h
		790 kg			480 kg		2597 kg		
armiranje zidova				267 kg	3866 kg				
T _{v1} = 3 tesara Stupovi		L(T _{v1}) ₁	D ₂		L(T _{v1}) ₈	D ₉			
	oplata (montaža i demontaža)	23,22 m ²	30 h		18,90 m ²	26,60 h	174,69 m ²	234,2 h	240 h
		betoniranje		1,89 m ³			2,36 m ³		
T _{v2} = 5 tesara Zidovi		L(T _{v2}) ₁	D ₂		L(T _{v2}) ₈	D ₉			
	montaža oplata	87,72 m ²	50 h			48,19 h	325,72 m ²	396,4 h	400 h
		demontaža oplata					126,80 m ²		
betoniranje					32,10 m ³				

5. Primjer primjene PCR-a

Novi pristup za kratkoročno planiranje PCR primijenjen je na izgradnji konstrukcija za sedam stambeno poslovnih zgrada ukupne površine 78.000 m². One imaju jednu podzemnu i šest do osam nadzemnih etaža, a tlocrtna površine su im od 900 m² do 2.300 m². Radi se o okvirnim konstrukcijama s jezgama za dizala i stubišta.

Prilikom izrade plana utemeljenog na PCR pristupu, primijenjeni su postupci navedeni u poglavlju 3. Ciklusi rada uspostavljeni su po etažama. U tablici 2. prikazan je izvod iz PCR-a za grupe na izradi vertikalnih elemenata konstrukcije tipskog kata objekta A₁, s površinom od 925 m².

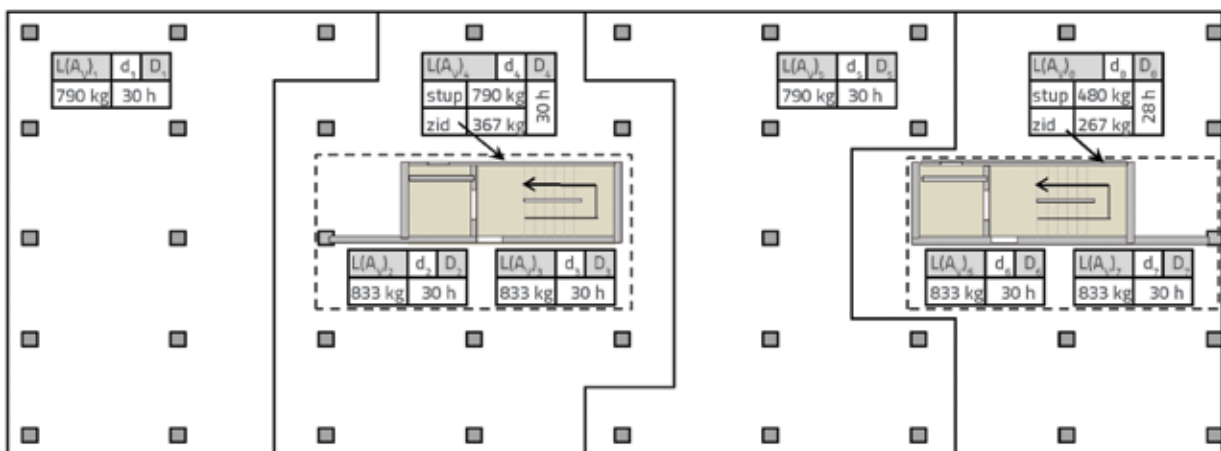
Za svaku grupu navedeni su: naziv i oznaka grupe, vrsta i broj radnika, elementi konstrukcije na kojima izvodi radove, aktivnosti grupe, dnevne lokacije, dnevni opseg posla, dnevni fond radnih sati Wh_r, radni dani u ciklusu d_j (mjereno od trenutka uvođenja

grupe na ciklus), radni dan D_k mjereno od početka prvoga ciklusa, količine radova i potrebni broj normi sati za ciklus, usvojen zbroj radnih sati za grupu Wh_k i zaposlenost kapaciteta U_c.

Za višednevne lokacije (jezgre stubišta i dizala) na objektu A₁ razrađeni su mikrociklusi i uklopljeni u osnovni ciklus. Za grupu tesara T_{v2} puna dnevna zaposlenost je postignuta kroz mikrocikluse (tesari izvode oplatu i betoniranje), a za grupu armirača A_v kroz cijeli ciklus (slika 3).

PCR je izrađen tako da broj radnika za svaku grupu bude nepromijenjen, da su sve grupe kontinuirano angažirane s konstantnom razinom opterećenja i s visokom razinom zaposlenosti kapaciteta (tablica 2.). Time su osigurani preduvjeti za najveću moguću produktivnost. Na ovaj je način sustavno izvršeno kratkoročno planiranje, što nije omogućeno ako se primjene drugi pristupi u planiranju.

Na slici 3. prikazana je 2D⁺ vizualizacija PCR-a za grupu armirača A_v.

Slika 3. 2D⁺ vizualizacija PCR-a za grupu armirača A_v pri izradi tipskog kata zgrade A₁

Tablica 3. Rezultati mjerenja ostvarene produktivnosti

Građevine	IP - indeks produktivnosti po ciklusima								IP ^{prosjeck} tradicijski pristup	IP ^{prosjeck} primjena PCR-a	Razlika
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈			
I) PCR od ciklusa C ₂ ili C ₃											
Zgrada A ₁	0,70	0,72	0,91	1,02	1,03	1,03			0,71	1,00	0,29
Zgrada A ₂	0,72	0,74	0,97	1,01	1,01	1,03			0,73	1,01	0,28
Zgrada B ₁	0,65	0,67	0,93	1,02	1,02	1,05			0,66	1,01	0,35
Zgrada B ₂	0,48	0,65	0,67	0,72	0,7	0,72			0,48	0,69	0,21
Zgrada D	0,75	0,95	1,01	1,03	1,03	1,02			0,75	1,01	0,26
II) PCR i obučene grupe											
Zgrada F ₁	0,95	1,01	1,09	1,12	1,1	1,12	1,09	1,12		1,11	
Zgrada F ₂	0,96	1,02	1,05	1,05	1,1	1,08	1,08	1,07		1,07	

Sobzirom na to da je jedan od osnovnih ciljeva PCR-a podizanje produktivnosti, prilikom ocjene učinaka primjene ovog pristupa u planiranju analiziran je odnos ostvarene i planirane produktivnosti. Za mjerenje produktivnosti usvojen je indeks produktivnosti (IP), koji predstavlja kvocijent potrebnih normi sati i ostvarenih sati za određeni posao [39]:

$$IP = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{k_j} (q_{i,j} * ns_{i,j})}{\sum_{j=1}^m os_j} \quad (6)$$

gdje je:

- q_{i,j} – izvedena količina posla na aktivnosti "i" koju izvodi grupa E_j,
- ns_{i,j} – normativ vremena za aktivnosti "i" koju izvodi grupa E_j,
- os_j – ostvareni sati grupe E_j,
- k_j – broj aktivnosti koje izvodi grupa E_j,
- m – broj grupa.

Ako je IP veće od 1, ostvarena produktivnost je veća od planirane. U tablici 3. prikazani su rezultati mjerenja ostvarene produktivnosti.

U prvom dijelu tablice 3. prikazane su građevine na kojima je dio etaža izveden prema tradicijskom pristupu u planiranju (osjenčani ciklusi), a dio etaža primjenom PCR-a (ostali ciklusi). Uspoređivanjem postignutih prosječnih produktivnosti ustanovljeno je da je primjenom PCR-a značajno povećana produktivnost (IP je uvećan za 0,21 do 0,35).

U šest analiziranih primjera primjenom PCR-a su ostvarene prosječne produktivnosti koje su za svaki objekt bile jednake ili iznad planirane produktivnosti izračunane u ugovornoj ponudi. Iznimku predstavlja izvođač na zgrade B₂, kod kojeg je uočeno poboljšanje, ali nisu dostignute planirane performanse zbog neprimjerene kvalitete i strukture radne snage. Međutim, to je pomoglo izvođaču uvidjeti realne mogućnosti i ograničenja svojih grupa i, s tim u vezi, donijeti strateške odluke.

U drugom dijelu tablice 3. prikazane su zgrade F₁ i F₂, na kojima su radove izvodile grupe obučene za primjenu PCR-a. Ostvarena prosječna produktivnost za te je grupe veća nego kod grupa koje su se prvi put susrele sa PCR-om.

Pri korištenju PCR-a na izgradnji analiziranih građevina pokazalo se da su izvođačima ovi planovi bili jasni (posebno 2D* vizualizacije) i da su ih brzo prihvaćali. Grupe su do kraja prvoga ciklusa dostizale dnevne performanse bliske maksimalnima. Posao na planiranju bio je znatno olakšan zbog ponavljanja ciklusa, kao i zbog činjenice da nije bilo potrebe za ozbiljnijim korigiranjem dugoročnih planova. Zahvaljujući strukturi podataka u PCR-u, dnevni učinci su bili lako mjerljivi, što je dodatno utjecalo na motivaciju grupa.

6. Zaključak

Primjenom postojećih pristupa u planiranju, ostvarenje uspješne građevinske proizvodnje u velikoj mjeri zavisi od sposobnosti i predanosti pojedinaca (planera i poslovođa). Predloženi novi pristup u kratkoročnom planiranju - PCR predstavlja sustavni pristup s pravilima po kojima se pripremaju kratkoročni planovi i indikatorima za proračun ključnih parametara. To omogućava kvantificiranost, ponovljivost i usporedivost kratkoročnog planiranja, čime se smanjuje subjektivnost i ovisnost o kvaliteti pojedinaca i povećava upotrebljivost ovih planova. PCR može pozitivno utjecati na veću primjenu industrijskih principa proizvodnje tijekom realizacije građevinskih projekata, što se ogleda kroz specijalizaciju rada, uspostavljanje ciklusa, izradu dnevnih planova, kontrolu dnevnih učinaka i pokusnu proizvodnju na prvom ciklusu. Takav pristup može pozitivno utjecati na poboljšanje performansi građevinske proizvodnje. PCR se oslanja na parametre koji se "projektiraju" po grupama na dnevnoj razini i obuhvaćaju: zaposlenost kapaciteta, različitu koncentraciju posla u prostoru, potrebni prostorno-vremenski razmak između grupa, uvjete kontinuiteta rada i usklađenost

grupa, pričuveno vrijeme za otklanjanje kašnjenja i drugo. Na taj način može se utjecati na poboljšanje kvalitete planova i stvaranje uvjeta za učinkovitu kontrolu njihove realizacije. PCR je usklađen s postojećim pristupima u planiranju i predstavlja njihovu daljnju razradu i dopunu jer omogućava da se prevladaju ograničenja postojećih pristupa glede planiranja na mikrorazini i upotpunjenje procesa izrade planova. Primjena PCR-a prikazana je na primjerima izgradnje konstrukcije sedam višekatnih zgrada. Rezultati pokazuju da se PCR može uspješno primijeniti za kratkoročno planiranje, da se njegovom primjenom može ostvariti povećanje produktivnosti

i da se mogu brzo dostići maksimalne performanse grupa. U analiziranim primjerima, na istim građevinama i uz istu radnu snagu izvođača radova, primjenom PCR-a povećan je indeks produktivnosti IP za 0,21 do 0,35 u odnosu na IP ostvaren na prethodnim etažama kada je primijenjen tradicijski pristup planiranju.

Predloženi pristup kratkoročnom planiranju PCR je primijenjen na izvođenje armiranobetonskih konstrukcija u visokogradnji. Pretpostavka je da se logika PCR pristupa, uz određene modifikacije, može primijeniti i na druge tipove građevina i vrste radova, što će biti predmet daljnjih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Committee on Advancing the Competitiveness and Productivity of the U.S. Construction Industry, National Research Council: Advancing the Competitiveness and Efficiency of the U.S. Construction Industry, National Academies Press, Washington, 2009.
- [2] Teicholz, P.: Labor productivity declines in the construction industry: causes and remedies, AECbytes Viewpoint, Issue 4, 2004.
- [3] Triplett, J., Bosworth, B.: Productivity in the U.S. Services Sector: New Sources of Economic Growth. Brookings Institution Press, Washington, 2004.
- [4] Harrison, P.: Can Measurement Error Explain the Weakness of Productivity Growth in the Canadian Construction Industry?, CCLS Research Report, No. 2007-01, 2007.
- [5] Pekuri, A., Haapasalo, H., Herrala, M.: Productivity and Performance Management – Managerial Practices in the Construction Industry, International Journal of Performance Measurement, Vol. 1, pp. 39-58, 2011
- [6] Koskenvesa, A., Koskela, L., Tolonen, T., Sahlstedt, S.: Waste and labor productivity in production planning case finnish construction industry, Proceedings IGLC-18, Technion, Haifa, Israel, pp. 477-486, 2010.
- [7] Brodetskaia, I., Sacksr R. and Shapira, A.: A workflow model for systems and interior finishing works in building construction, Construction Management and Economics, 29, pp. 1209-1227, 2011.
- [8] Yu, J.H., Lee, H.S., Kim, S.K., Kim, C.D., Suh, S.W., Kim, J.H.: Planning and monitoring the tact of work flow, Proceedings of the 21st ISARC, Jeju, South Korea, 2004.
- [9] Katavić, M.; Bošković, D.: Studij poslovnog upravljanja za hrvatske graditelje, Građevinar 59 (2007) 12, str. 1073-1080
- [10] Ballard, G.: The Last Planner System of production control, PhD thesis, University of Birmingham, Birmingham, UK, 2000.
- [11] Hamzeh, F., Bergsrom, E.: The Lean Transformation: A Framework for Successful Implementation of the Last Planner System in Construction, ASC Proceedings of the 46th Annual International Conference Hosted by Wentworth Institute of Technology, Boston, Massachusetts, 2010.
- [12] Hamzeh, F., Ballard, G., Tommelein, I.: Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow, Lean Construction Journal, pp. 15-34, 2012.
- [13] Ballard, G.: The Last Planner, Spring Conference of the Northern California Construction Institute, Monterey, 1994.
- [14] Ballard, G.: Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control, Proc. 5th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Constr., Gold Coast, Australia, pp. 1-13., 1997
- [15] Koskela, L., Stratton, R., Koskenvesa, A.: Last planner and critical chain in construction management: comparative analysis, Proceedings IGLC-18, Technion, Haifa, Israel, pp.538-547, 2010.
- [16] Kenley R., Seppanen, O.: Location-based management of construction projects: part of a new typology for project scheduling methodologies, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, pp. 2563-2570, 2009.
- [17] Lumsden, P.: The line of balance method, Pergamon Press, London, U.K., 1968
- [18] Seppanen, O.: Empirical research on the success of production control in building construction projects, PhD dissertation, Faculty of Engineering and Architecture, Helsinki University of Technology, 2009.
- [19] Kenley, R., Seppänen, O.: Location-Based Management for Construction Planning, Scheduling and Control, Spon Press London and New York, 2010.
- [20] Seppanen, O., Ballard, G., Pesonen, S.: The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System, Lean Construction Journal, pp 43-54, 2010.
- [21] Jongeling, R.: A Process Model for Work-Flow Management in Construction, Doctoral thesis, Luleå University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering, 2006.
- [22] Koo, B., Fischer, M.: Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, Journal of Construction Engineering and Management, 126(4), pp. 251-260, 2000.
- [23] Park, J., Kim, B., Kim, C., Kim, H.: 3D/4D CAD Applicability for Life-Cycle Facility Management, Journal of computing in civil engineering, march/april 2011, pp. 129-138.
- [24] Ashwin, M., Rahul, K., Charudatta, M.: An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects, Automation in Construction, Vol. 19, pp. 148-159, 2010.
- [25] Chau, K., Anson, M., Zhang, J.: Implementation of Visualization as Planning and Scheduling Tool in Construction, Building and Environment, Vol. 38, No. 5, pp. 713-719, 2003.

- [26] Wikipedia - Building information modeling, http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling#Definition, 12.6.2013.
- [27] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, Canada: John Wiley and Sons, 2011.
- [28] Lee, G., Sacks, R., Eastman, C.: Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system, *Automation in Construction*, 15(6), pp. 758-776, 2006.
- [29] Weygant, R.: BIM Content Development: Standards, Strategies, and Best Practices, New Jersey: John Wiley and Sons, 2011.
- [30] Succar, B.: Building Information Modelling framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders., *Automation in Construction*, 18 (3), pp. 357-375. 2009.
- [31] Hardin, B.: BIM and Construction Management Proven Tools, Methods, and Workflows, Indiana: Wiley Publishing, 2009.
- [32] Wakefield, R., Aranda, G., Fraser, J., Chevez, A., Crawford, J., Kumar, A., Froese, T., Gard, S., Nielsen, D., Betts, M., Smit, D.: Business Drivers for Building Information Modelling, Cooperative Research Centre, Construction Innovation, Australia, Brisbane, 2007.
- [33] Norberg, H., Jongeling, R., Olofsson, T.: Planning for cast-in-place concrete construction using 4D CAD models and Line-of-Balance scheduling, *Proceedings of the World IT Conference for Design and Construction, INCITE-ITCED 2006*, pp. 403-414, 2006.
- [34] Marinković, D.: Model za ocenu i kontrolu uspešnosti poslovanja malih i srednjih građevinskih preduzeća, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2008.
- [35] Kenley, R.: Project micromanagement: practical site planning and management of work-flow, 12th Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingor, Denmark, 2004.
- [36] Jongeling, R., Olofsson, T.: A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD, *Automation in Construction*, 16 (2007), pp. 189-198.
- [37] Hamzeh, F.: Improving Construction Workflow – The Role of Production Planning and Control, PhD Dissertation, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, 2009.
- [38] Stojadinović, Z.: Sistem upravljanja projektima izgradnje stambeno-poslovnih građevina na bazi integracije procesa projektovanja i građenja, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 2007.
- [39] Orczyk, J.: Progress Measurement and Earned Value (Chapter 14), *Skills & Knowledge of Cost Engineering*, 5th Edition, AACE International, ed. S. Amos, USA, pp. 14.1-14.6, 2004.