

# Modeli za brzu procjenu održivog vremena građenja

Diana Car-Pušić, Mladen Radujković

## Ključne riječi

održivo vrijeme građenja, cijena građenja, brza procjena, modeli, usporedna analiza, praktična uporabljivost

## Key words

sustainable construction time, construction price, rapid evaluation, models, comparative analysis, practical usability

## Mots clés

temps viable de construction, prix de construction, évaluation rapide, modèles, analyse comparative, utilité pratique

## Ключевые слова

поддерживаемое время строительства, стоимость строительства, быстрая оценка, модели, сравнительный анализ, практическая употребительность

## Schlüsselworte

abhaltbare Bauzeit, Baukosten, rasche Abschätzung, Modelle, vergleichende Analyse, praktische Nutzbarkeit

D. Car-Pušić, M. Radujković

Prethodno priopćenje

## Modeli za brzu procjenu održivog vremena građenja

Analizira se razvoj modela za brzu procjenu vremena građenja, te istražuje mogućnost razvoja i primjene izvornog modela pogodnog za primjenu u Hrvatskoj. Prikazane su glavne karakteristike najznačajnijih modela, te njihova usporedna analiza s ocjenom praktične uporabljivosti. Opisani su rezultati istraživanja provedenog u Hrvatskoj tijekom 2003/05., kojima su predloženi izrazi za proračune održivog roka građenja za nekoliko skupina građevina. Dan je primjer iz visokogradnje.

D. Car-Pušić, M. Radujković

Preliminary note

## Models for rapid evaluation of a sustainable construction time

Development of models for rapid evaluation of construction time is analyzed, and possibilities are studied for the development and use of the initial model suitable for use in Croatia. Main properties of the most significant models are presented, including comparative analyses and evaluation of practical usability. The authors present results obtained by the study conducted in Croatia in 2003/05, in which expressions are proposed for calculating sustainable construction times for several groups of buildings. An example from the sphere of building construction is given.

D. Car-Pušić, M. Radujković

Note préliminaire

## Les modèles pour l'évaluation rapide du temps viable de construction

Le développement des modèles pour l'évaluation rapide du temps de construction est analysé, et les possibilités sont étudiées pour le développement et l'emploi du modèle initial approprié pour l'utilisation en Croatie. Les propriétés principales des modèles les plus importantes sont présentées, y compris les analyses comparatives et l'évaluation de l'utilité pratique. Les auteurs présentent les résultats obtenus dans l'étude conduite en Croatie en 2003/05, au cours de laquelle les expressions ont été proposées pour le calcul du temps viable de construction pour quelques groupes de bâtiments. Un exemple du domaine de la construction de bâtiments est présenté.

Д. Цар-Пушич, М. Радујковић

Предварительное сообщение

## Модели по быстрой оценке поддерживаемого времени строительства

В работе анализируется модель по быстрой оценке времени строительства, а также исследуется возможность развития и применения оригинальной модели, подходящей для применения в Хорватии. Показаны главные характеристики самых значительных моделей, а также их сравнительный анализ с оценкой практической употребительности. Описаны результаты исследования, проведенного в Хорватии в течении 2003-2005 годов, которыми предложены решения для расчётов поддерживаемого времени строительства для нескольких категорий сооружений. Дан пример из высотного строительства.

D. Car-Pušić, M. Radujković

Vorherige Mitteilung

## Modelle für die rasche Abschätzung der abhaltbaren Bauzeit

Man analysiert die Entwicklung des Modells für die rasche Abschätzung der Bauzeit und ermittelt die Möglichkeit der Entwicklung und Anwendung des ursprünglichen Modells passend für die Anwendung in Kroatien. Dargestellt sind die Grundmerkmale der bedeutendsten Modelle, sowie deren vergleichende Analyse mit der Bewertung deren praktischer Nutzbarkeit. Beschrieben sind die Ergebnisse der Forschung, durchgeführt in Kroatien in der Zeit 2003/05., auf Grund deren die Formeln für die Berechnung der abhaltbaren Bauzeit für einige Bauwerksgruppen vorgeschlagen wurden. Vorgestellt ist ein Beispiel aus dem Hochbau.

Autori: Doc. dr. sc. **Diana Car-Pušić**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Viktora Cara Emina 5, Rijeka; prof. dr. sc. **Mladen Radujković**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

## 1 Uvod

Određivanje održivog roka građenja jedan je od najzahvatljivijih zadataka upravljanja građevinskim projektima. Pril definiranju međusobnih odnosa sudionici u građenju su gotovo isključivo fokusirani na cijenu građenja, dok je pitanje trajanja neopravdano zapostavljeno, pa se početni rok uglavnom određuje prema željama investitora ili iskustvu sa sličnih ranijih projekata, ali bez posebne stručne analize. Stoga se često događa da početni rok bude prekoračen ili mijenjan, ili ponekad čak postaje predmetom spora između ugovornih strana, jer prekoračenje vremena često rezultira povećanjem troškova koje mora pokriti netko od sudionika u procesu građenja.

Brojna istraživanja provedena u svijetu, ali i u Hrvatskoj, iskazuju učestalost i štetnost pojave prekoračenja roka (Frame, Standish Group, World Bank, Kaming, Assaf, Radujković). Istraživanje Svjetske banke provedeno na oko 1.600 projekata pokazuje 70 %-tno prosječno prekoračenje početno planiranog roka kod čak 88 % projekata [2]. Istraživanje provedeno u Hrvatskoj u razdoblju od 1996. do 1998. [9], pokazuje 60 %-tno prekoračenje vremena u fazi građenja kod 78 % od ukupno 333 razmatrana projekta. Studija *Standish group* pokazala je da samo oko 29% projekata potpuno zadovoljava sva tri poznata uvjeta – na vrijeme, unutar proračuna i prema specifikacijama – pri čemu se u otprilike 2/3 projekata pojavljuju ozbiljni problemi s rokom što je uzrokovalo da istraživači vrijeme proglase «ubojitim faktorom» [6].

## 2 Pregled modela za procjenu vremena građenja

Počeci sustavnog istraživanja vremena građenja radi pronalaženja odgovarajućega prognostičkog modela sežu u kasne šezdesete godine prošlog stoljeća. Pažnja istraživača bila je usmjerena na razvoj numeričkog modela koji će omogućiti brzu i realnu procjenu ili provjeru vremena građenja bez primjena tehnika detaljnog planiranja. Na taj se način već u prvoj fazi razvoja građevinskog projekta, fazi koncipiranja, može dobiti informacija o održivom roku građenja.

### 2.1 Modeli s jednom ili dvije nezavisne varijable

Prvi matematički model za procjenu trajanja građenja predložio je 1969. Bromilow koristeći se rezultatima istraživanja planiranih i stvarnih trajanja za 329 privatno i javno financiranih zgrada izgrađenih u Australiji u razdoblju od 1964. do 1967. godine [1]. Bromilow je utvrdio da se prosječno trajanje građenja može iskazati kao funkcija pripadajuće vrijednosti radova u sljedećem obliku:

$$T = KC^B \quad (1)$$

gdje je:

$T$  - trajanje građenja od otvaranja gradilišta do završetka radova izraženo u radnim danima

$C$  - cijena građevine u milijunima australskih dolara (A\$), korigirana indeksom rasta cijena jer je predložena formula nastala na obradi podataka iz šezdesetih godina

$K$  - konstanta prosječnog trajanja građenja u radnim danima za projekt vrijedan 1 milijun A\$ (za Australiju početni  $K=248$  radnih dana za zgrade)

$B$  - konstanta koja opisuje utjecaj vrijednosti projekta na trajanje njegova izvršenja (za Australiju početni  $B=0,30$ )

Pretvorboom početnog izraza (1) u oblik prirodnoga logaritma dobiva se sljedeći izraz:

$$\ln T = \ln K + B \ln C \quad (2)$$

Kako je model (2) linearan, za određivanje vrijednosti konstanti  $K$  i  $B$ , može se koristiti linearnom regresijom. U svojim istraživanjima Bromilow je tražio konstante za izračunavanje realnoga ugovornog vremena za koje je ustvrdio da je približno jednako prosječno ugovorenemu vremenu uvećanom za 20 %. S obzirom na pad vrijednosti novca i povećanje cijena, tijekom vremena se za milijun A\$ moglo graditi sve manje, pa su u kasnijim istraživanjima utvrđene izmijenjene vrijednosti konstante  $K$  npr. 204 (1986.). U istim naknadnim istraživanjima vrijednost konstante  $B$  potvrđena je kao nepromijenjena.

U kasnijim sličnim istraživanjima roka građenja utjecaj cijene građevine ostao je ključna varijabla. Istraživanje koje je 1983. proveo Ireland [13] na uzorku od 25 poslovnih višekatnica u Australiji, rezultiralo je sljedećim izrazom (cijena građevine iskazana je u milijunima A\$ i korigirana indeksom rasta cijena za lipanj 1979.):

$$T = 219C^{0,47} \quad (3)$$

Jedini model koji vrijeme građenja ne iskazuje eksplicitno, već preko brzine građenja koristeći se pritom kao varijablama fizičkim značajkama građevine, a ne njegovom cijenom, jest model koji je 1986. razvio Ireland [15]:

$$\log SPEED = -5,72956 + 2,96889(\log AREA)^{0,6124} + \frac{2,93390}{Storeys} \quad (4)$$

gdje je:

$AREA$  - planirana bruto ploština na dan

$Storeys$  - broj katova

Međutim, takav se tip modela nije dalje razvijao.

Kaka i Price [3] su 1991. istražili vjerodostojnost Bromilowa modela na uzorku od 661 građevine visokogradnje i 140 prometnica izvedenih u Velikoj Britaniji tijekom 1984.-1989. Radi kvalitativne prilagodbe modela,

te uvođenja lokalnih utjecaja, predložili su četiri kriterija klasifikacije građevina:

1. Tip ulaganja (javno, privatno)
2. Vrsta projekta (zgrade, inženjerske građevine)
3. Način ustupanja radova (otvoreni natječaj, pretkvalifikacija, prikupljanje ponuda)
4. Cijena (fiksna, promjenjiva).

Dobivene vrijednosti konstanti  $K$  i  $B$  za šest različitih tipova objekata, prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti  $B$  i  $K$  za razne tipove građevina [3, str. 398.]

Tip objekta	$K$	$B$
Javne zgrade s fiksnom ugovorenim cijenom	398,80	0,32
Javne zgrade s promjenjivom ugovorenim cijenom	486,70	0,21
Privatne zgrade s fiksnom ugovorenim cijenom	274,40	0,21
Privatne zgrade s promjenjivom ugovorenim cijenom	491,22	0,08
Objekti niskogradnje s fiksnom ugovorenim cijenom	258,10	0,47
Objekti niskogradnje s promjenjivom ugovorenim cijenom	436,30	0,44

U vezi s odnosom trajanja i vrijednosti projekta, Kaka i Price došli su do sljedećih glavnih zaključaka:

1. Vrsta ugovora, tip ulaganja i vrsta građevine imaju utjecaj na odnos trajanja i cijene.
2. Kod ugovora s fiksnom cijenom, trajanje projekta podložnije je promjenama zbog promjene vrijednosti, u odnosu na ugovore s promjenjivom cijenom.
3. Trajanje gradnje javnih zgrada dulje je i podložnije promjenama zbog promjene vrijednosti, nego kod privatnih zgrada. Ovo se praktično objašnjava većom brigom i pažnjom koju privatni ulagači poklanjaju održanju roka, kako bi troškovi bili što manji, a povrat investicije što brži.
4. Vrijeme gradnje inženjerske građevine kraće je od vremena gradnje zgrade iste novčane vrijednosti.

Najznačajniji je rezultat ovog istraživanja u tome što su utvrđeni bitno različiti odnosi trajanje/cijena za različite vrste građevina i različite modele ugovaranja i financiranja.

Chan i Kumaraswamy [5] proveli su nastavak istraživanja 1994. na uzorku od 111 građevinskih projekata u Hong Kongu svrstanih prema sličnoj podjeli u tri skupine (javne zgrade, privatne zgrade, inženjerske građevine).

Ispitivanjem vjerodostojnosti Bromilowa modela kroz proračune vrijednosti konstanti  $B$  i  $K$ , te koeficijenta korelacije  $R$  za početno procijenjene i za stvarne rokove i cijene, ustanovili su da, unatoč razlikama u tečaju i u troškovima građenja između različitih zemalja koje one-mogućavaju izravnu usporedbu numeričkih vrijednosti konstanti  $K$ , dobivene vrijednosti  $B$  i  $K$  se, uz određenu korekciju, mogu uspoređivati s onima iz prethodnih istraživanja koje je proveo Bromilow u Australiji. K tome, Chan i Kumaraswamy su došli do vrlo sličnih zaključaka što se tiče odnosa vrijeme/cijena između javnih i privatnih zgrada i uzroka tih razlika.

Daljnjom analizom postavili su tezu da vrijeme gradnje ne ovisi samo o cijeni, već i o nekim tehničkim pokazateljima pa su predložili sljedeće metodologije proračuna trajanja građenja:

- Vrijeme - ukupna bruto ploštine (*time-floor area model*)

$$T = LA^M \quad (5)$$

gdje je:

$A$  - ukupna bruto ploština zgrade u  $m^2$   
 $L, M$  - konstante koje korespondiraju konstantama  $K$  i  $B$  u *time-cost modelu*

- Vrijeme - broj katova (*time-number of storeys model*)

$$T = FS^G \quad (6)$$

gdje je:

$S$  - broj katova  
 $F, G$  - konstante koje korespondiraju konstantama  $K$  i  $B$  u *time-cost modelu*

Spoznavanjem dvaju utjecaja (cijene i ukupne bruto ploštine) na vrijeme građenja, isti su autori predložili model koji se oslanja na višestruku linearnu regresiju za dobivanje vrijednosti konstanti  $K, B$  i  $M$ .

$$T = KC^B A^M \quad (7)$$

Navedeni empirijski modeli mogu se primijeniti za planiranje vremena građenja ako se znaju osnovni parametri građevine te ako su prijašnjim istraživanjima ustanovljene vrijednosti konstanti za određenu vrstu građevina.

## 2.2 Modeli s više nezavisnih varijabli

Jedan od prvih problema uspostave modela s više nezavisnih varijabli bio je odabir odgovarajuće matematičke metode. Čitav niz istraživača, primjerice Weisberg, 1980., Ireland, 1983., Gilchrist, 1984., ponovno Ireland, 1985., Leedy, 1989., Nkado, 1992., nakon pomne analize ističu višestruku linearnu regresiju (VLR) kao najprikladniju metodu, čak i za statistički male uzorke. Prema njima višestruka linearna regresija omogućava izvođenje i pronalaženje najbolje kombinacije odnosa čak i među velikim brojem nezavisnih varijabli, ali također i selekciju

značajnih varijabli na temelju učestalosti njihova pojavljivanja u regresijskim jednakostima. Nužnost identifikacije varijabli koje mogu imati utjecaj na izvršenje projekta potvrdili su svojim istraživanjima Rowlinson 1988., Naoum 1991. i 1994., Walker 1994., Hashim 1996., Ashley 1987., Hughes 1989., i Liu 1995.

Stoga su svi do danas poznati modeli s više nezavisnih varijabli izvedeni primjenom parcijalne korelacije i višestruke linearne regresije. Primjenom parcijalne korelacije može se ustanoviti vjerojatnost asocijativnog pojavljivanja bilo kojih dviju varijabli.

Unutar ove skupine modela mogu se razlučiti dvije podskupine, i to:

- modeli orijentirani na skupine aktivnosti građenja
- modeli orijentirani na projektna obilježja.

### 2.2.1 Modeli orijentirani na skupine aktivnosti građenja

Nkado [4] prvi je predložio uspostavu tzv. informacijskog sustava vremena građenja u kojem su pohranjeni utjecajni podaci na vrijeme građenja za već završene građevine, koji mogu poslužiti za ranu procjenu rokova građenja budućih građevina. Glavna pretpostavka modela jest da se sve aktivnosti mogu grupirati u skupine koje postaju osnovne jedinice analize trajanja projekta. Preuzevši modificiranu Ormerodovu klasifikaciju iz 1983., Nkado je definirao sljedeće grupe aktivnosti pri građenju novih zgrada:

- pripremni radovi
- zemljani radovi i temeljenje
- nosiva konstrukcija
- pročeljni zidovi, krovopokrivački radovi i pročeljna stolarija
- završni radovi
- instalacije i pomoćni radovi.

Prema Nkadovu modelu, izvorno ustanovljenom na uzorku od dvadeset i devet poslovnih, privatno financiranih zgrada u Londonu i jugoistočnim regijama u Velikoj Britaniji, potrebno je prethodno odrediti vrijednosti dvanaest nezavisnih varijabli koje je podijelio u sljedeće dvije skupine:

#### Kvalitativne

- namjena zgrade
- tip nosive konstrukcije
- lokacija
- pristup gradilištu
- vrsta vanjskih zidova
- postojanje atrija
- udio instalacija

#### Kvantitativne

- broj katova
- visina zgrade

- tlocrtna ploština
- ukupna bruto tlocrtna ploština
- aproksimativna količina iskopa

Uvrštavanjem vrijednosti nezavisnih varijabli u formule izračunavaju se trajanja temeljnih grupa aktivnosti, vremenski pomaci početaka pojedinih grupa i ukupno trajanje građenja. Konstante koje se pojavljuju u modelu izračunavaju se primjenom višestruke linearne regresije za razmatranu skupinu građevina. Primjerice, Nkadov regresijski model za trajanje zemljanih radova i temeljenja glasi:

$$SUBST = -9,295 \times BACCESS + 0,000561 \times VOLEXCAV + 0,00208 \times AREAGR D + 29,987 \times LONDON + 8,852 \quad (8)$$

gdje je:

- SUBST* - zemljani radovi i temeljenje
- BACCESS* - loš pristup gradilištu
- VOLEXCAV* - olumen iskopa
- AREAGR D* - tlocrtna površina
- LONDON* - lokacija

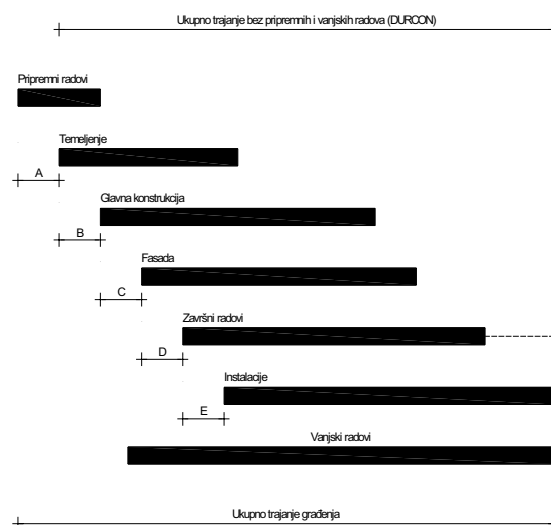
Ukupno trajanje građenja određuje se po formuli:

$$DURCON = MAX(B + C + D + FINISH; B + C + D + E + SERVICE) \quad (9)$$

*DURCON* - trajanje građenja bez pripremnih i vanjskih radova

- B, C, D, E* - pomaci grupa aktivnosti
- FINISH* - završni radovi
- SERVICE* - instalacije

Na ovaj način određene vrijednosti trajanja pojedinih skupina aktivnosti građenja i pomaka njihovih početaka dostatni su za konstruiranje okvirnoga dinamičkog plana kakav je prikazan na slici 1.



Slika 1. Pojednostavnjeni okvirni plan građenja utemeljen na grupama aktivnosti

Testiranje modela provedeno na uzorku od tri prije izgrađene poslovne zgrade nije pokazalo znatnija odstupanja između rokova dobivenih primjenom modela i onih koje su na temelju zadanih podataka pripremili planeri u svojim planovima. Odstupanja se kreću od  $\pm 3$  do  $\pm 10$  %, ovisno o količini informacija o projektu s kojima su planeri raspolagali (s ograničenim, odnosno dodatnim informacijama).

Chan i Kumaraswamy 1997. [10, 11]. razvijaju konceptijski vrlo sličan model za standardne stambene blokove tipa Harmony, visine 30 do 40 katova, izgrađene u Hong Kongu u razdoblju od 1990. do 1994. godine. Kao i Nkado [4], oni polaze od pretpostavke da se za određeni tip građevinasvi radovi mogu grupirati u nekoliko osnovnih skupina, a za konkretan slučaj to su temeljenje, nadtemeljna konstrukcija, glavna konstrukcija, instalacije i završni radovi, nakon čega treba utvrditi njihovo pojedinačno trajanje i međusobne pomake početaka te tako odrediti ukupno vrijeme izvođenja.

Od 94 varijabli u početnom regresijskom modelu, u završnim regresijskim jednakostima ukupno se pojavljuje 35 varijabli, od čega 21 kvantitativna i 14 kvalitativnih, pri čemu se 9 kvantitativnih varijabli mjeri ili izvodi izravno iz projektnog programa. Nadalje, na osnovi učestalosti pojavljivanja, većoj ili jednakoj 2, ustanovljeno je da je sedam varijabli najznačajnije za predviđanje trajanja građenja, a to su:

- ploština pročelja
- visina zgrade
- odnos ukupne bruto ploštine i broja katova
- tip temeljenja
- tijek informacija projektant/nadzor i izvoditelj
- uporaba predgotovljenih elemenata
- tip namjene: prodaja, najam.

Konačni model sadrži regresijske jednakosti za trajanja svake od pet skupina aktivnosti, četiri jednakosti za međusobne pomake njihovih početaka te tri jednakosti za ukupno trajanje. Neke od jednakosti su u logaritamskom obliku, kako bi se uvijek zadržala linearna zavisnost varijabli.

Jednakosti su za ukupno trajanje:

$$CONDUR = \text{MAX}(LAG2 + LAG3 + LAG4 + SERVICES; LAG2 + LAG3 + LAG4 + LAG5 + FINISHES) \quad (10)$$

$$\text{Log}_e EST\_TIME = 2,6031 + 0,0834 \log EST-COST + FAÇADE (0 \text{ predgotovljene elemente pročelja ; } 0,0497 \text{ bez predgotovljenih elemenata pročelja}) + 0,0024 HEIGHT + NATSITE (0,2352 \text{ za ravni teren ; } 0,2221 \text{ za zgradu; } 0 \text{ za kos teren}) + TYPESCH (-0,0453 \text{ za kupnju; } 0 \text{ za najam}) \quad (11)$$

$$\text{Log}_e ACT\_TIME = 3,0264 + 0,1236 \log ACT-COST + TYPESCH (-0,0544 \text{ za kupnju ; } 0 \text{ za najam}) + FAÇADE (predgotovljene elemente pročelja; 0,0666 \text{ bez predgotovljenih elemenata pročelja}) + 1,3E - 0,6 VOLTOTAL - 0,0003 GFA/NOSTOREY \quad (12)$$

gdje je:

<i>CONDUR</i>	ukupno trajanje građenja
<i>LAG2 – LAG5</i>	vremenski pomaci između pojedinih grupa aktivnosti
<i>FINISHES</i>	trajanje završnih radova
<i>EST_TIME</i>	procijenjeno cjelokupno vrijeme građenja iz ugovora
<i>ACT_TIME</i>	stvarno trajanje građenja ostvareno na gradilištu
<i>EST-COST</i>	procijenjeni troškovi građenja prema predračunu
<i>ACT-COST</i>	stvarno ostvareni troškovi građenja
<i>FAÇADE</i>	uporaba predgotovljenih pročeljnih elemenata
<i>HEIGHT</i>	visina objekta
<i>NATSITE</i>	konfiguracija lokacije
<i>TYPESCH</i>	tip namjene objekta
<i>VOLTOTAL</i>	ukupni volumen zgrade
<i>GFA/NOSTOREY</i>	ukupna bruto ploština/broj katova

*CONDUR* je ukupno trajanje građenja kad se uzmu u obzir trajanja pojedinih grupa aktivnosti i međusobni pomaci njihovih početaka. *EST\_TIME* je ukupno vrijeme građenja prema ugovoru, a *ACT\_TIME* je ukupno ostvareno vrijeme građenja, ne uzimajući u obzir trajanja pojedinih grupa aktivnosti i pomaka početaka, već samo određene značajke projekta, primjerice troškove, dimenzije građevine i dr.

### 2.2.2 Modeli orijentirani na projektna obilježja

Ovaj pristup temelji se na tvrdnji da svaki projekt ima karakterističnu skupinu obilježja – nezavisnih varijabli, «prediktora», koji u određenoj mjeri utječu na troškove i trajanje projekta. Tada je suština problema određenja prognostičkog modela upravo odabir najutjecajnijih nezavisnih varijabli i njihovih kombinacija te kvantifikacija njihova utjecaja.

Khosrowshahi i Kaka [7] su 1995. na ovim postavkama, uz primjenu višestruke linearne regresijske analize, razvili dva modela za procjenu troškova i trajanja projekata izgradnje stambenih zgrada u Velikoj Britaniji. S obzirom na veliki početni broj nezavisnih varijabli, odabrane su samo one najutjecajnije. Utjecaj pojedine nezavisne varijable ocijenjen je veličinom korigiranog koeficijenta

AR<sup>2</sup>. Iterativnim regresijskim postupkom dobiven je model za procjenu vremena građenja čiji je opći oblik:

$$\begin{aligned} \text{Exp}(\text{trajanje}) = & \text{const.} + \ln(\text{troškovi}) \times \text{koef. troškova} + \\ & \text{koef. horizontalnog pristupa} + \text{koef. složenosti proj.} + \\ & \text{koef. veličine proj.} + \text{koef. zahvata} + \text{koef. konst. materijala} \\ & + \text{broj jedinica} \times \text{koef.} + \text{koef. početnog mjeseca} \\ & + \text{koef. poremećaja} + \text{koef. međukat. konst.} \end{aligned} \quad (13)$$

Analiza je pokazala, da iako sve varijable u modelu daju znatan doprinos trajanju, ipak je dominantna veza trajanja i troškova, što su već prije utvrdili Kaka i Price [3].

Sličan pristup u formiranju modela zastupaju Dissanayaka i Kumaraswamy [12]. Oni kreću od početne pretpostavke da je za uspješnost projekta od velike važnosti odgovarajući «procurement system», koji definiraju prema tumačenju CIB W92 [8], kao «okvir unutar kojeg se odvija građenje». Unutar toga izdvajaju podsustave značajne za realizaciju projekta, osobito podjelu radova koja mora odgovarati svrsi, tip ugovora i modalitet plaćanja te korespondirajuće «procurement» varijable. Osim njih, autori uvode i «non-procurement» varijable orijentirane na projektna obilježja. Sve su one grupirane u tzv. «makrovarijable» koje se dijele u više «mikrovarijabli». Kao i u prijašnjim istraživanjima, trebalo je identificirati nezavisne varijable i njihove kombinacije koje najviše utječu na rok i troškove projekta.

Odabir značajnih makrovarijabli izvršen je izračunavanjem reprezentativne vrijednosti prema formuli:

$$\text{reprezent.vrij.} = \frac{\sum_{i=1}^N W_i X_i}{M \times N} \times 100 \quad (14)$$

gdje je:

$W_i$  - težina i-te varijable

$X_i$  - zbroj i-te varijable

$N$  - broj varijabli

$M$  - najveći mogući zbroj

Težina odgovarajuće mikrovarijable računa se s pomoću izraza:

$$w_i = -\frac{P_i}{P_{\max}} \quad (15)$$

gdje je  $p_i$  koeficijent korelacije između mikrovarijable i vremenskog indeksa, a  $p_{\max}$  maksimalna apsolutna vrijednost koeficijenta korelacije.

Vremenski indeks izračunava se po formuli:

$$\text{vremenski indeks} = \frac{\text{stvarno trajanje} \times 100}{\text{planirano trajanje}} \quad (16)$$

Regresijskom analizom na modelu s devetnaest odabranih varijabli, uz prethodnu provjeru multikolinearnosti,

ustanovljen je sljedeći model za izračunavanje vremenskog indeksa:

$$\begin{aligned} \text{Vrem.indeks} = & 77,8875 + 4,0573PCOMPLEX - \\ & 1,0573PDUR - 21,3222P-1 - 16,0903P-2 \\ & - 14,3525P-3 + 27,2936P-4 \end{aligned} \quad (17)$$

gdje je:

- $PDUR$  - planirano trajanje  
 $PCOMPLEX$  - reprezentativna vrijednost složenosti projekta  
 $CLTYPE$  - tip klijenta:  $P-1$  = razvojno-istraživačka kompanija;  $P-2$  = investitor  
 $P-3$ = lokalna ili centralna vlada;  $P-4$  = zakupac

Na temelju prethodne relacije proizlazi da utjecaj «procurement» varijabli nije tako izrazit kao utjecaj ostalih varijabli. Primjerice, vidi se da su planirano trajanje, složenost projekta i tip klijenta visoko korelirani s vremenskim indeksom, ili šire gledano, može se reći da vrijeme izvođenja znatno ovisi o projektnim karakteristikama te o karakteristikama klijenta i izvođača.

### 3 Usporedna analiza modela

Kod svih je modela uporabljena linearna regresijska analiza koju su svi istraživači [1, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14] ocijenili kao najprikladniji matematički pristup. Glavna je značajka modela s jednom ili dvije nezavisne varijable njihova jednostavnost, zbog čega su prikladni za praktičnu primjenu. Međutim, zbog tog pojednostavnjenja ne uzimaju se u obzir svi čimbenici koji utječu na vrijeme građenja, što može rezultirati manjom točnosti. Ovaj se nedostatak može prevladati uvođenjem više kriterija razredbe građevina i izračunavanjem odgovarajućih modelskih konstanti. Uvođenjem većeg broja varijabli, radi povećanja točnosti rezultata, modeli postaju sve složeniji, što bitno umanjuje mogućnost praktične primjene. Složeni prognostički modeli sastoje se od više regresijskih jednakosti, pri čemu se određena prednost može dati modelima orijentiranim na grupe aktivnosti, zbog toga što da-ju mogućnost izrade okvirnoga dinamičkog plana.

Glavnim nedostatkom svih modela može se smatrati njihova relativna prostorna i vremenska ograničenost. Naime, modelske konstante vrijede i prostorno i vremenski ograničeno, pa se zbog gospodarstvenih i financijskih razlika između pojedinih zemalja moraju za određenu zemlju ili područje posebno izračunavati i nakon toga, tijekom vremena, usklađivati s indeksom rasta cijena. Nasuprot tome, najznačajnije pozitivno obilježje ovih modela jest mogućnost brze procjene ili provjere vremena građenja, osobito u uvjetima kada ne postoji dovoljno podataka za izradu dinamičkog plana.

Tablica 2. Pregled utjecajnih parametara za procjenu vremena građenja [16. str, 22.]

MODEL	AUTOR	GOD.	UTJECAJNI PARAMETRI																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$T = KC^B$	Bromilow	1969.	■																
$T = FS^C$	Chan, Kumaraswamy	1995.		■															
$T = LA^M$	Chan, Kumaraswamy	1995.			■														
$T = KC^B A^M$	Chan, Kumaraswamy	1995.	■			■													
Log SPEED = $-5,72956+2,96889(\log AREA)0,6124+2,93390/Storeys$	Ireland	1986.	■	■					■										
više regresijskih jednakosti	Nkado	1992.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
više regresijskih jednakosti	Chan, Kumaraswamy	1997.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Exp (trajanje) = const. + ln(troškovi)*koef.+koef.horizont.pristupa + koef.složenosti proj. + koef.veličine proj. + koef.vrste zahvata + koef. materijala konst. + broj jedinica*koef. + koef.početnog mjeseca + koef. poremećaja + koef. međukatne konstrukcije	Khosrowshahi, Kaka	1995.	■																
Vremenski indeks = $77,8875 + 4,0573PCOMPLEX - 1,0573 PDUR - 21,3222P-1 - 16,0903P-2 - 14,3525P-3 + 27,2936P-4$	Dissanayaka, Kumaraswamy	1997.			■							■	■						
Vremenski indeks = Stvarno trajanjex100 / Planirano trajanje																			

## Utjecajni parametri

Kvantitativni				Kvalitativni			
1. Vrijednost projekta	5. Bruto tlocrtna površina	9. Visina zgrada	13. Namjena/tip				
2. Broj katova	6. Bruto površina/dan	10. Obilježja projekta	14. Tehnička obilježja				
3. Planirano trajanje	7. Količina oskopa	11. Lokacija objekta	15. Pristup gradilištu				
4. Ukupna bruto površina	8. Površina fasade	12. Tip investitora	16. Kooperanti				
			17. Komunikacija				

#### 4 Razvoj i primjena modela za brzu procjenu vremena građenja u Hrvatskoj

##### 4.1 Istraživanje procjene vremena građenja u Hrvatskoj

Tijekom 2003.-2005. su provedena u Hrvatskoj istraživanja mogućnosti razvoja modela brze procjene vremena građenja [9,16]. Uzimajući u obzir rezultate usporedbene analize modela iz svjetske prakse, te odnos jednostavnosti i točnosti, kao najbolji uzor pokazali su se modeli s jednom varijablom, točnije model prema Bromilowu. S obzirom na to da Bromilowov «time-cost» model sadrži konstante  $K$  i  $B$ , koje su odraz više gospodarskih značajki određene sredine, jednostavno preuzimanje ovih konstanti izračunanih za neku drugu sredinu nije opravdano. Osim toga, ove konstante zbog rasta cijena tijekom vremena i zastarijevaju te ih stoga treba ažurirati.

Prema raspoloživim spoznajama ove konstante u Hrvatskoj dosad nisu računane i objavljene za širu primjenu ni za jednu grupu građevina. U provedenim istraživanjima obrađeno je nekoliko skupina tipičnih zgrada, prometnica i hidrotehničkih građevina, ali se u nastavku prikazuje postupak i dobivene nove formule samo za zgrade. Naime, predviđanje trajanja točnije je za zgrade nego za inženjerske građevine, čije je izvođenje više pod negativnim utjecajem vremenskih uvjeta, uvjeta tla i dr. [3]. Formule su provjerene na primjerima iz prakse i daju zadovoljavajuće rezultate.

##### 4.2 Baza podataka za zgrade

Za potrebe istraživanja prikupljena je baza podataka o ugovorenim i ostvarenim cijenama i vremenima

građenja za veći broj stambeno-poslovnih višekratnica. Cilj je bio formirati bazu za što sličnije zgrade, jer će tada i konstante  $K$  i  $B$  biti točnije za zgrade tih obilježja. Nakon detaljne analize uvjeta planiranja i izvršenja svake zgrade, iz baze su isključene one u kojima su ustanovljena ekstremna vremenska prekoračenja, a u preostalim izabranih deset primjera ustanovljena je prosječna razina djelovanja rizika.

Razmatrane su zgrade građene na klasičan način, armiranobetonske nosive konstrukcije, od opeke i uobičajene standardne razine kvalitete obrtničkih i završnih radova, bruto ploštine između 5.000 – 10.000 m<sup>2</sup>, prosječne ugovorene vrijednosti od 4.000,00 kn/m<sup>2</sup> bruto ploštine. Istraživanjem su obuhvaćeni projekti ukupne ugovorne vrijednosti od približno 12,5-48 milijuna kuna.

Ugovorene i ostvarene cijene građenja korigirane su odgovarajućim indeksom rasta cijena i iskazane u milijunima kuna. Zbog toga vrijednost izračunane konstante  $K$  znači potreban broj dana da se izvrše radovi vrijedni 1.000.000,00 kn.

##### 4.3 Algoritam modela «vrijeme-novac» za brzu procjenu vremena građenja

Primjena predloženog modela odvija se u sljedećim koracima:

- 1) Korigiranje cijena indeksom rasta cijena u odnosu na promatrano razdoblje i iskazivanje cijena u odgovarajućoj novčanoj jedinici za koju se želi iskazati vrijednost  $K$  (ovdje će biti iskazana u milijunima kuna)

- 2) Izračunavanje prirodnih logaritama cijena i vremena –  $\ln C_{UG}, \ln T_{UG}, \ln C_{OS}, \ln T_{OS}$
- 3) Provjera linearne zavisnosti među varijablama cijena-vrijeme:
  - a) vizualnom ocjenom  $x - y$  dijagrama
  - b) kvantificiranjem intenziteta veze s pomoću koeficijenta regresije  $R$
- 4) Provođenje regresijske analize i utvrđivanje jednadžbe pravca procjenitelja
- 5) Testiranje nulte hipoteze  $H_0 : \beta_1 = 0$  (18)
- 6) Određivanje intervala povjerenja za nagib i odsječak
- 7) Izračunavanje reziduala i koeficijenta determinacije
- 8) Provjera rezultata s pomoću reziduala crtanjem i ocjenom dijagrama  $\hat{y} - \hat{e}$  tj. procijenjena vrijednost varijable  $y$  prema pripadajućem rezidualu.

Ako točke u dijagramu ne pokazuju neki znakovit raspored, uzorak, već su rasute bez reda, znači da se radi o slučajnim pogreškama

- 9) Ako je model na temelju prethodnog ocijenjen prikladnim, usvajaju se procjene pokazatelja za nagib i odsječak te maksimalne i minimalne vrijednosti iz intervala povjerenja.

10) Izračunavaju se vrijednosti konstanti  $K_{UG}, B_{UG}, K_{OS}$  i  $B_{OS}$  i uvrštavanjem procijenjenih vrijednosti pokazatelja za nagib i odsječak tako da je:

$$\ln K = \beta_0 \quad (19)$$

$$K = e^{\beta_0} \quad (20)$$

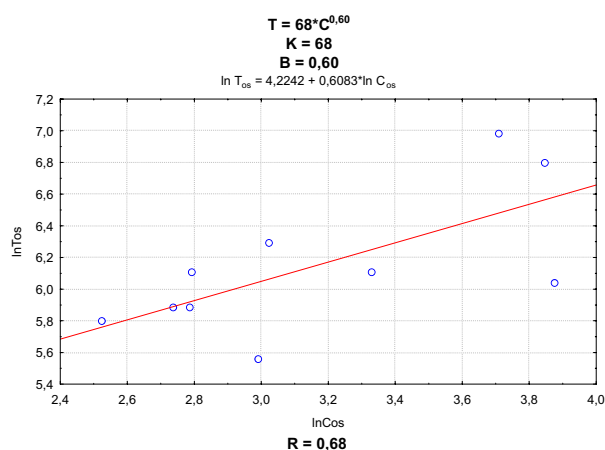
$$B = \beta_1 \quad (21)$$

#### 4.3.1 Opis postupka primjene modela “vrijeme-novac” za zgrade

Nakon korigiranja cijena indeksom rasta cijena, te izračunavanja prirodnih logaritama vremena i cijena, za bazu podataka i za ugovorene i za ostvarene vrijednosti provedena je vizualna ocjena  $\ln C - \ln T$  dijagrama i izračunani su koeficijenti korelacije, kako bi se provjerila linearna funkcijska zavisnost. Utvrđeni su koeficijenti korelacije koji iznose  $R = 0,60$  za ugovorene vrijednosti, te  $R = 0,68$  za ostvarene vrijednosti, što dopušta primjenu linearne aproksimacije.

Na slici 2. prikazane su vrijednosti prirodnih logaritama ostvarenih cijena i vremena građenja te njihov pravac procjenitelj.

Provedenom regresijskom analizom dobiveni su regresijski pokazatelji pravaca procjenitelja, tj. nagib i odsječak te granične vrijednosti 95%-tnog intervala povjerenja



Slika 2. Dijagram « $\ln C_{os} - \ln T_{os}$ » za stambeno-poslovne višekatnice

Izračunani su i koeficijenti determinacije, te izvršena provjera reziduala kako bi se provjerila polazna hipoteza da reziduali imaju slučajni karakter. Provjera reziduala prikazana je crtanjem dijagrama “procijenjene vrijednosti  $\ln T$  - reziduali”, te dodatna provjera reziduala crtanjem dijagrama “redni broj zgrade – reziduali”. Ova je dodatna provjera napravljena zbog karakterističnog (na prvi pogled neslučajnog) rasporeda točaka u prethodnome dijagramu.

Uvrštavanjem vrijednosti nagiba  $\hat{\beta}_1$  i odsječaka  $\hat{\beta}_0$  u izraze  $\ln K = \beta_0$ ,  $K = e^{\beta_0}$  i  $B = \beta_1$  dobivene su vrijednosti konstanti njihovim uvrštavanjem u osnovnu formulu  $T = K * C^B$  dobivena je formula za brzu procjenu vremena građenja. Vrijednosti konstanti i formula prikazane su na slici 2.

Regresijska analiza izvršena za ugovorene vrijednosti za koje je dobiven koeficijent korelacije 0,60, te vrijednosti konstanti  $K = 114$  i  $B = 0,40$ . Usporedni prikaz ovih pokazatelja dan je u tablici 3.

Tablica 3. Regresijski pokazatelji za stambeno-poslovne višekatnice

POKAZATELJ	UGOVORENE VRIJEDNOSTI	RAČUNSKE (OSTVARIVE) VRIJEDNOSTI
R	0,60	0,68
K	114	68
B	0,40	0,60
$T = K * C^B$	$T_{ug(rac)} = 114 * C^{0,40}$	$T_{rac} = 68 * C^{0,60}$

Formule su primijenjene na prethodnu bazu podataka. Primjenom formule

$T_{ug} = 114 * C^{0,40}$  dobivena su računska ugovorna vremena, dok su primjenom formule  $T_{rac} = 68 * C^{0,60}$  dobivena računska vremena na bazi ostvarenih vrijednosti (ostva-



riva vremena). Proračunan je omjer proračunskih  $T_{rac}$  (ostvarivih) i ostvarenih vrijednosti  $T_{os}$  i ustanovljeno je prosječno odstupanje od oko 16% u rasponu od 0,877 do 1,885, sa standardnim odstupanjem (standardnom devijacijom) 0,334. Ovo odstupanje upućuje na potrebu uvođenja dodatnih koeficijenata korekcije, kojima bi projektni menadžer, procjenjujući mogućnosti investitora i izvođača, organizaciju i planiranu tehnologiju izvođenja, uvjete okruženja, očekivane rizike i druge mjero-davne pokazatelje korigirao proračunsko vrijeme  $T_{rac}$  i tako konačno dobio održivo vrijeme građenja. Dakle, održivo je vrijeme građenja:

$$T_{od} = T_{rac} \times k \quad (22)$$

$K$  je umnožak koeficijenata korekcije. Preliminarna istraživanja ukazuju na potrebu uvođenja koeficijenta organizacije projekta  $k_{og}$  s vrijednostima u rasponu od 0,9 do 1,2, te koeficijenta procjene rizika u rasponu od 1,00 do 1,30. Treba istaknuti da bi uvođenje koeficijenata korekcije, njihove vrste i vrijednosti, trebalo posebno istražiti.

Primjenom formula na bazu podataka za stambeno-poslovne višekatnice dobivaju se rezultati prikazani u tablici 4.

#### 4.3.3 Osvrt na dobivene rezultate i zaključci

Dobiveni rezultati upućuju na nekoliko zaključaka:

1. Dobive konstante  $K$  i  $B$  reprezentiraju prosječne odnose cijena i vremena građenja za skupinu stambeno-poslovnih višekatnica, prosječne ugovorene cijene 25 mil. kuna (raspon od približno 15-45 milijuna kuna), tj. 4.000,00 kn/m<sup>2</sup> bruto razvijene ploštine.

2. Kako konstante  $K$  i  $B$  odražavaju gospodarske i druge značajke zemlje u kojoj su izračunane, one se ne mogu jednostavno preuzeti i primijeniti. Dosad se ove konstante u Hrvatskoj nisu računale, tako da ovdje dobiven model predstavlja nov model za brzu procjenu vremena građenja stambeno-poslovnih višekatnica u Hrvatskoj.
3. Veći broj zgrada i homogenije baze podataka omogućuju izračunavanje točnijih konstanti  $K$  i  $B$  za određenu vrstu građevina.
4. Uvidom u dobivene konstante  $B$  za ugovorene i ostvarene vrijednosti vidi se da je u stvarnosti veći utjecaj vrijednosti projekta na trajanje njegova izvršenja od onog koji se procjenjuje pri ugovaranju. Ovo se kod zgrada može tumačiti i raznovrsnošću i velikim brojem obrtničkih i završnih radova.
5. Uspoređujući s dobivenim vrijednostima u inozemstvu, konstante  $K$  i  $B$  su više, što upućuje na nižu produktivnost i lošiju organizaciju rada.
6. Rezultati u tablici 4. pokazuju da su računski dobivena vremena građenja dobivena primjenom nove formule otprilike 16% veća od realno ostvarenih u rasponu približno 0,9-1,9. Ova činjenica upućuje na potrebu uvođenja dodatnih koeficijenata korekcije. Preliminarna istraživanja pokazuju sljedeće vrijednosti: koeficijent organizacije projekta  $k_{og}$  [0,9; 1,2], koeficijent procjene djelovanja rizika  $k_r$  [1; 1,3]. Valja istaknuti da bi uvođenje koeficijenata korekcije, njihove vrste i vrijednosti trebalo posebno istražiti.

Tablica 4. Prikaz i usporedba vremena građenja za stambeno poslovne višekatnice

Red.br.	Ostvareno	$C_{ug}$	$T_{ug} (rač) = 114 * C_{ug}^{0,40}$	$T_{rac} = 68 * C_{ug}^{0,60}$	$T_{rac}/T_{os}$	$T_{rac}/T_{ug}(rač)$
Objekta	Vrijeme / $T_{os}$ /					
1.	600	44,78	521,60	665,52	1,109	1,276
2.	540	30,69	448,44	530,53	0,982	1,183
3.	390	19,22	371,88	400,65	1,027	1,077
4.	450	27,94	431,91	501,47	1,114	1,161
5.	360	16,84	352,73	370,10	1,028	1,049
6.	210	18,83	368,85	395,75	1,885	1,073
7.	420	48,14	536,92	695,04	1,655	1,295
8.	480	20,89	384,49	421,18	0,877	1,095
9.	360	15,43	340,61	351,18	0,975	1,031
10.	330	12,48	312,89	309,20	0,937	0,988
<i>Napomena:</i> vrijeme je iskazano u danima $C_{ug}$ = ugovorna cijena građenja korigirana indeksom rasta cijena u milionima kuna; $T_{os}$ = ostvareno vrijeme građenja $T_{ug}(rač)$ = računsko ugovorno vrijeme građenja $T_{rac}$ = računsko vrijeme građenja (ostvarivo)				prosjeak	1,159	1,123
				min	0,877	0,988
				max	1,885	1,295
				stand.devijacija	0,334	0,103

## 5 Zaključak

Istraživani regresijski prognostički modeli pogodni su za brzu procjenu ili provjeru vremena građenja. Oni ne mogu zamijeniti tehnike detaljnog planiranja, ali mogu dobro poslužiti projektnim menadžerima, investitorima i izvođačima u situaciji kad je potrebna brza procjena ili provjera nekog vremena. To je mnogo kvalitetnija opcija od one uobičajene u građevinskoj praksi da se neki rokovi određuju paušalno, na temelju iskustva ili želja pojedinaca.

Kao njihov određeni nedostatak treba istaknuti relativnu prostornu i vremensku ograničenost, s obzirom na to da

konstante u modelima nisu univerzalno primjenjive, već odražavaju gospodarske i druge značajke prostora te ih treba za svako područje posebno određivati i vremenski ažurirati. Uključivanjem strukovnih organizacija ili komora ovaj nedostatak bi se mogao lako riješiti, to više što usporedba vrijednosti konstanti različitih zemalja i područja upućuje i na određene zaključke što se tiče gospodarskih karakteristika, načina i produktivnosti građenja.

Dosad se ove konstante u Hrvatskoj nisu računale, tako da je ovdje dobiven model nov model za brzu procjenu vremena građenja stambeno-poslovnih višekratnica u Hrvatskoj.

## LITERATURA

- [1] Bromilow, F. J.; Hinds, M. F.; Moody, N. F.: *AIQS Survey of Building Contract Time Performance*, The Building Economist 19 (1980.) 2, 79 – 82.
- [2] World Bank; *Annual Review of Project Performance Results*, Operational Department, World Bank, 1990.
- [3] Kaka, A. P.; Price, A. D. F.: *Relationship between value and duration of construction projects*, Construction Management and Economics 9 (1991.), 4, 383. – 400.
- [4] Nkado R. N.: *Construction time information system for the building industry*, Construction Management and Economics 10 (1992.), 489. – 509.
- [5] Chan D.W.M.; Kumaraswamy M. M.: *A study of the factors affecting construction durations in Hong Kong*, Construction Management and Economics 13 (1995.), 319.-333.
- [6] Standish Group: *Chaos Report: A Recipe for Success*, (2004.); The Standish Group International, INC, USA
- [7] Khosrowshahi F.K.; Kaka A.P.: *Estimation of Project Total Cost and Duration for Housing Projects in the U.K.*, Building and Environment 31 (1996.) 4, 375.-383.
- [8] Sharif A, Morledge R.: *Procurement Strategies: The Dependency Linkage*, CIB W92, North Meets South, Procurement Systems Symposium, Durban, South Africa, 1996., 566.-577.
- [9] Radujković, M; Upravljanje rizikom i resursima kod građevinskih projekata, znanstvenoistraživački projekt MZITRH, 2002-2005, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [10] Chan D.W.M.; Kumaraswamy M.M.: *Modelling and predicting construction durations in Hong Kong public housing*, Construction Management and Economics (1999.), 17, 351.-362.
- [11] Chan D.W.M.; Kumaraswamy M.M.: *Forecasting construction durations for public housing projects: a Hong Kong perspective*, Building and Environment 34 (1999.), 5, 633. – 646.
- [12] Dissanayaka S.M. Kumaraswamy M.M., *Comparing contributors to time and cost performance in building projects*, Building and Environment 34 (1999.), 31.-42.
- [13] Chan, A. P. C.: *Time-cost relationship of public sector projects in Malaysia*, International Journal of Project Management 19 (2001.), 4, 223. – 229.
- [14] Chan D.W.M.; Kumaraswamy M.M.: *Compressing construction durations: lessons learned from Hong Kong building projects*, International Journal of Project Management 20 (2002.), 1, 23. – 35.
- [15] Kenley, R.: *Financing construction*, SPON Press 2003., 137.-160.
- [16] Car-Pušić, D; *Metodologija planiranja održivog vremena građenja*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004.