

Modeli za brzu procjenu održivog vremena građenja

Diana Car-Pušić, Mladen Radujković

Ključne riječi

održivo vrijeme građenja, cijena građenja, «time-cost» model, linearna regresija, konstante

D. Car-Pušić, M. Radujković

Modeli za brzu procjenu održivog vremena građenja

U radu se analizira 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 sa ocjenom praktične uporabljivosti. Opisani su rezultati istraživanja provedenog u Hrvatskoj tijekom 2003/05. godine, kojima su predloženi izrazi za proračune održivog roka građenja za nekoliko skupina građevinskih objekata. Primjer prijedloga prikazan je za objekte visokogradnje.

Autori: doc. dr. Diana Car-Pušić, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Viktora Cara Emina 5; prof. dr. Mladen Radujković, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Fra Andrije Kačića-Miošića 26

1 Uvod

Određenje održivog roka građenja jedan je od najzahtjevnijih zadataka upravljanja građevinskim projektima. Prilikom definiranja međusobnih odnosa sudionici u građenju su gotovo isključivo fokusirani na cijenu građenja, dok je pitanje trajanja neopravdano zapostavljeno, pa se početni rok u pravilu 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, ukazuju na učestalost i štetnost pojave prekoračenja roka (Frame, Standish Group, World Bank, Kaming, Assaf, Radujković). Istraživanje Svjetske banke provedeno na oko 1.600 projekata, ukazuje na 70 %-tno prosječno prekoračenje početno planiranog roka kod čak 88 % projekata [2]. Istraživanje provedeno u Hrvatskoj u razdoblju od 1996-1998. [9] ukazuje na 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 oko 2/3 projekata javljaju ozbiljni problemi s rokom što je uzrokovalo da istraživači vrijeme proglaše «ubojitim faktorom» [6].

2 Pregled modela za procjenu vremena građenja

Počeci sustavnog istraživanja vremena građenja s ciljem pronalaženja odgovarajućeg 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 način se 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 rezultate istraživanja planiranih i stvarnih trajanja za 329 privatno i javno financiranih zgrada izgrađenih u Australiji u periodu 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 izražena u radnim danima

C = cijena objekta u milionima 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 milion A\$ (za Australiju početni $K=248$ radnih dana za zgrade)

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

Pretvorbom početnog izraza (1) u formu prirodnog 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 linearna regresija. U svojim istraživanjima Bromilow je tražio konstante za izračunavanje realnog ugovornog vremena za kojeg je utvrdio da je približno jednako prosječno ugovorenom vremenu uvećanom za 20 %. S obzirom na pad vrijednosti novca i povećanje cijena tijekom vremena se za 1 milion A\$ moglo graditi sve

manje, pa su u kasnijim istraživanjima utvrđene izmijenjene vrijednosti konstante K na npr. 204 (1986. g.). U istim naknadnim istraživanjima vrijednost konstante B potvrđena je kao nepromijenjena.

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

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

Jedini model koji vrijeme građenja ne iskazuje eksplicitno, već preko brzine građenja koristeći pritom kao varijable fizičke značajke objekta, a ne njegovu cijenu, jest model kojeg je 1986. g. razvio Ireland [15]:

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

gdje je:

AREA = planirana bruto površina na dan

Storeys = broj katova

Međutim, ovakav se tip modela nije dalje razvijao.

Kaka i Price [3] su 1991. g. istražili vjerodostojnost Bromilowog modela na uzorku od 661 objekta visokogradnje i 140 prometnica izvedenih u Velikoj Britaniji tijekom 1984-1989. U cilju kvalitativne prilagodbe modela, te uvođenja lokalnih utjecaja, predložili su četiri kriterija klasifikacije objekata:

1. Tip ulaganja (javno, privatno)
2. Vrsta projekta (zgrade, objekti niskogradnje)
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 objekata [3, str. 398.]

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

U vezi odnosa trajanja i vrijednosti projekta Kaka i Price su došli do sljedećih glavnih zaključaka:

1. Vrsta ugovora, tip ulaganja i vrsta objekta imaju utjecaj na odnos trajanja i cijene objekta.
2. Kod ugovora s fiksnom cijenom, trajanje projekta je podložnije promjenama uslijed promjene vrijednosti, u odnosu na ugovore s promjenjivom cijenom.
3. Trajanje gradnje javnih zgrada, dulje je i podložnije promjenama uslijed 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 niskograđevnog objekta kraće je od vremena gradnje zgrade iste novčane vrijednosti.

Najznačajniji rezultat ovog istraživanja je što su utvrđeni bitno različiti odnosi trajanje/cijena za različite vrste građevinskih objekata 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, niskogradnje). Ispitivanjem vjerodostojnosti Bromilowog 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 onemogućavaju 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 u pogledu odnosa vrijeme/cijena između javnih i privatnih zgrada, kao i uzroka tih razlika.

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

- Vrijeme - ukupna brutto površina («time- floor area» model)

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

gdje je:

A = ukupna brutto površina zgrade u m^2

L, M = konstante koje korespondiraju konstantama K i B u «time-cost» modelu

- Vrijeme - broj etaža («time-number of storeys» model)

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

gdje je:

S = broj etaža

F, G = konstante koje korespondiraju konstantama K i B u «time-cost» modelu

Sagledavanjem dva utjecaja (cijene i ukupne brutto površine) na vrijeme građenja isti autori su 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 koristiti za planiranje vremena građenja, ako se znaju osnovni parametri objekta, te ako su ranijim istraživanjima ustanovljene vrijednosti konstanti za određenu vrstu građevinskih objekata.

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 njihovog 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; 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 koje dvije varijable.

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] je prvi predložio uspostavu tzv. informacijskog sustava vremena građenja u kojem su pohranjeni utjecajni podaci na vrijeme građenja za već završene objekte, koji mogu poslužiti za ranu procjenu rokova građenja budućih objekata. Glavna pretpostavka modela je 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 kod građenja novih zgrada:

1. Pripremni radovi
2. Zemljani radovi i temeljenje
3. Nosiva konstrukcija
4. Fasadni zidovi, krovopokrivački radovi i fasadna stolarija
5. Završni radovi
6. Instalacije i pomoćni radovi

Prema Nkadovom 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

1. Namjena zgrade
2. Tip nosive konstrukcije
3. Lokacija
4. Pristup gradilištu
5. Vrsta vanjskih zidova
6. Postojanje atrija
7. Učešće instalacija

Kvantitativne

8. Broj katova
9. Visina zgrade
10. Tlocrtna površina

11. Ukupna brutto tlocrtna površina
12. 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 objekata. Primjerice, Nkadov regresijski model za trajanje zemljanih radova i temeljenja glasi:

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

gdje je:

SUBST = zemljani radovi i temeljenje

BACCESS = loš pristup gradilištu

VOLEXCAV = volumen iskopa

AREAGRD = tlocrtna površina

LONDON = lokacija

Ukupno trajanje građenja određuje se po formuli:

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

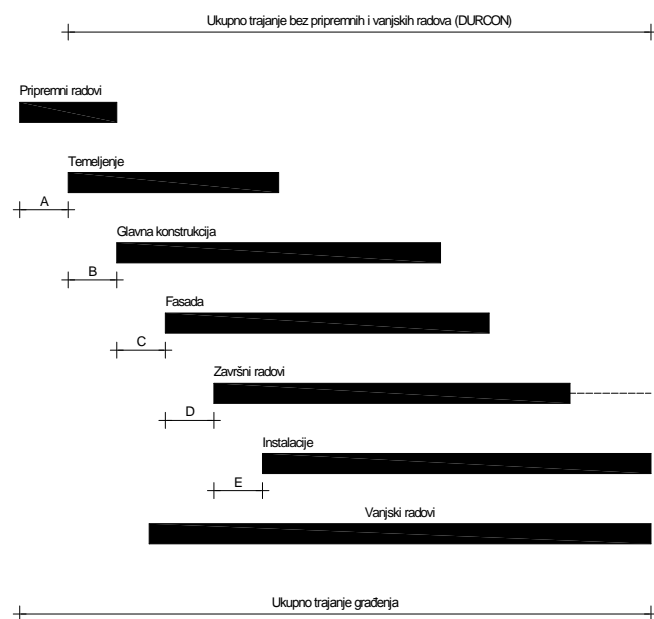
DURCON = trajanje građenja bez pripremnih i vanjskih radova

B, C, D, E = pomaci grupa aktivnosti

FINISH = završni radovi

SERVICE = instalacije

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



Sl. 1. Pojednostavljeni okvirni plan građenja utemeljen na grupama aktivnosti

Testiranje modela provedeno na uzorku od tri ranije izgrađene poslovne zgrade nije pokazalo značajnija odstupanja između rokova dobivenih primjenom modela i onih koje su na temelju zadanih podataka pripremili planeri u svojim planovima. Odstupanja se kreću od ± 3 do ± 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 periodu od 1990. do 1994. godine. Kao i Nkado [4], oni polaze od pretpostavke da se za određeni tip objekata, svi 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 i 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 direktno iz projektnog programa. Nadalje, bazirajući se na učestalosti pojavljivanja, većoj ili jednako 2, ustanovljeno je da je sedam varijabli najznačajnije za predviđanje trajanja građenja, a to su:

1. površina fasade
2. visina zgrade
3. odnos ukupne brutto površine i broja katova
4. tip temeljenja
5. tijek informacija projektant /nadzor i izvoditelj
6. korištenje prefabrikata
7. tip korištenja: prodaja, najam

Konačni model sadrži regresijske jednakosti za vrijeme 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 za ukupno trajanje su:

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

$$\begin{aligned} \text{Log}_e \text{EST_TIME} = 2,6031 + 0,0834 \log \text{EST-COST} + \text{FAÇADE} (0 \text{ za fasadne} \\ \text{prefabrikate ; } 0,0497 \text{ bez fasadnih prefabrikata) } + 0,0024 \text{ HEIGHT} + \text{NATSITE} \\ (0,2352 \text{ za ravan teren ; } 0,2221 \text{ za zgradu; } 0 \text{ za kos teren) } + \text{TYPESCH} (-0,0453 \text{ za} \\ \text{kupnju; } 0 \text{ za najam}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Log}_e \text{ACT_TIME} = 3,0264 + 0,1236 \log \text{ACT-COST} + \text{TYPESCH} (-0,0544 \text{ za kupnju ;} \\ 0 \text{ za najam) } + \text{FAÇADE} (\text{ za fasadne prefabrikate; } 0,0666 \text{ bez fasadnih prefabrikata) } \\ + 1,3E - 0,6 \text{ VOLTOTAL} - 0,0003 \text{ GFA/NOSTOREY} \end{aligned} \quad (12)$$

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>	=	korištenje prefabriciranih fasadnih elemenata
<i>HEIGHT</i>	=	visina objekta
<i>NATSITE</i>	=	konfiguracija lokacije
<i>TYPESCH</i>	=	tip korištenja objekta
<i>VOLTOTAL</i>	=	ukupni volumen zgrade
<i>GFA/NOSTOREY</i>	=	ukupna brutto npovršina/nroj 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 imajući u vidu trajanja pojedinih grupa aktivnosti i pomaka početaka, već samo određene značajke projekta, primjerice troškove, dimenzije objekta i dr.

2.2.2 Modeli orijentirani na projektne obilježja

Ovaj pristup temelji se na tvrdnji da svaki projekt ima karakterističnu skupinu obilježja, značajki – nezavisnih varijabli, «prediktora», koja u određenoj mjeri utječu na troškove i trajanje projekta. Tada je suština problema određenja prognostičkog modela upravo odabir najutjecajnijih nezavisnih varijabli, kao i njihovih kombinacija, te kvantifikacija njihovog 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 objekata 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^2 . Iterativnim regresijskim postupkom dobiven je model za procjenu vremena građenja čiji je opći oblik:

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

Analiza je pokazala, da iako sve varijable u modelu daju značajan doprinos trajanju, ipak je dominantna veza trajanja i troškova, što su već ranije 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», kojeg 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. Pored njih, autori uvode i «non-procurement» varijable orjentirane 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 imaju najveći utjecaj na rok i troškove projekta.

Odabir značajnih makrovarijabli izvršen je izračunavanjem reprezentativne vrijednosti po 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 pomoću sljedećeg izraza:

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

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:

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

Regresijskom analizom na modelu s devetnaest selektiranih varijabli, uz prethodnu provjeru multikolinearnosti, ustanovljen je sljedeći model za izračunavanje vremenskog indeksa:

$$\text{Vrem.indeks} = 77,8875 + 4,0573PCOMPLEX - 1,0573PDUR - 21,3222P-1 - 16,0903P-2 - 14,3525P-3 + 27,2936P-4$$

(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, vidljivo je da su planirano trajanje, složenost projekta i tip klijenta visoko korelirani s vremenskim indeksom, ili šire

gledano, može se reći da vrijeme izvođenja značajno zavisi o projektnim karakteristikama, te o karakteristikama klijenta i izvođača.

3 Usporedna analiza modela

Kod svih modela korištena je linearna regresijska analiza koju su svi istraživači [1, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14] ocijenili kao najprikladniji matematički pristup. Glavna značajka modela s jednom ili dvije nezavisne varijable je njihova jednostavnost, zbog čega su prikladni za praktičnu primjenu. Međutim, zbog tog pojednostavnjenja ne uzimaju se u obzir svi čimbenici koji utječu na vrijeme gradnje, što može rezultirati manjom točnosti. Ovaj se nedostatak može prevladati uvođenjem više kriterija klasifikacije objekata i izračunavanjem odgovarajućih modelskih konstanti. Uvođenjem većeg broja varijabli, s ciljem 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 daju mogućnost izrade okvirnog dinamičkog plana.

Generalnim nedostatkom svih modela može se smatrati njihova relativna prostorna i vremenska ograničenost. Naime, modelske konstante vrijede, i prostorno i vremenski ograničeno, te se zbog gospodarstvenih i financijskih razlika između pojedinih zemalja, moraju za određenu zemlju ili područje moraju posebno izračunavati i nakon toga, tijekom vremena, usklađivati sa indeksom rasta cijena. Nasuprot tome, najznačajnije pozitivno obilježje ovih modela je mogućnost brze procjene ili provjere vremena građenja, naročito 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.	█																
$T = FS^G$	Chan, Kumaraswamy	1995.	█	█															
$T = LA^M$	Chan, Kumaraswamy	1995.				█													
$T = KC^B A^M$	Chan, Kumaraswamy	1995.	█			█													
Log SPEED = -5,72956+2,96889(logAREA)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 Vremenski indeks = Stvarno trajanjex100 / Planirano trajanje	Dissanayaka, Kumaraswamy	1997.			█						█		█						

Utjecajni parametri

Kvantitativni

- 1 Vrijednost projekta
- 2 Broj katova
- 3 Planirano trajanje
- 4 Ukupna bruto površina
- 5 Bruto tlocrtna površina
- 6 Bruto površina/dan
- 7 Količina oskopa
- 8 Površina fasade

Kvalitativni

- 10 Obilježja projekta
- 11 Lokacija objekta
- 12 Tip investitora
- 13 Namjena/tip
- 14 Tehnička obilježja
- 15 Pristup gradilištu
- 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 2003-05. g. provedena su 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 sa jednom varijablom, točnije model po Bromilowu. S obzirom da Bromilowov «time-cost» model sadrži konstante K i B, koje su odraz više gospodarskih značajki određene sredine, jednostavno preuzimanje ovih konstanti izračunatih za neku drugu sredinu, nije opravdano. Pored toga, ove konstante, zbog rasta cijena tijekom vremena i zastarijevaju, te ih stoga treba ažurirati.

Prema raspoloživim saznanjima ove konstante u Hrvatskoj dosad nisu računane i objavljene za širu primjenu ni za jednu grupu građevinskih objekata. U provedenim istraživanjima obrađeno je nekoliko skupina tipičnih objekata visokogradnje, prometnica i hidrotehničkih građevina, ali se u nastavku prikazuje postupak i dobivene nove formule samo za visokogradnje. Naime, predviđanje trajanja točnije je za zgrade nego za objekte niskogradnje, 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 objekte visokogradnje

Za potrebe istraživanja prikupljena je baza podataka o ugovorenim i ostvarenim cijenama i vremenima građenja za veći broj stambeno-poslovnih višekatnica. Cilj je bio formirati bazu za što sličnije objekte, jer će tada i konstante K i B biti točnije za objekte tih značajki. Nakon detaljne analize uvjeta planiranja i izvršenja svakog objekta, iz baze su isključeni svi objekti u kojima su ustanovljena ekstremna

vremenska prekoračenja, a u preostalim izabranim deset primjera ustanovljena je prosječna razina djelovanja rizika.

Razmatrani su objekti građeni na klasičan način, armirano-betonske nosive konstrukcije, od opeke i uobičajene standardne razine kvalitete obrtničkih i završnih radova, bruto površine između 5. 000 – 10. 000 m², prosječne ugovorene vrijednosti od 4.000,00 kn/m² bruto površine. Istraživanjem su obuhvaćeni projekti ukupne ugovorne vrijednosti od cca 12,5-48 miliona kuna.

Ugovorene i ostvarene cijene građenja korigirane su odgovarajućim indeksom rasta cijena i iskazane u milionima kuna. Zbog toga, vrijednost izračunate 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 milionima 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 pomoću koeficijenta regresije R
- 4) Provođenje regresijske analize i utvrđivanje jednadžbe pravca procjenitelja
- 5) Testiranje nulte hipoteze

$$H_0 : \beta_1 = 0 \quad (18)$$

- 6) Određivanje intervala povjerenja za nagib i odsječak

- 7) Izračunavanje reziduala i koeficijenta determinacije
- 8) Provjera rezultata pomoću reziduala crtanjem i ocjenom dijagrama $\hat{y} - \hat{\epsilon}$ tj. procijenjena vrijednost varijable y prema pripadajućem rezidualu. Ukoliko 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} uvrštavanjem procijenjenih vrijednosti pokazatelja za nagib i odsječak tako da je:

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

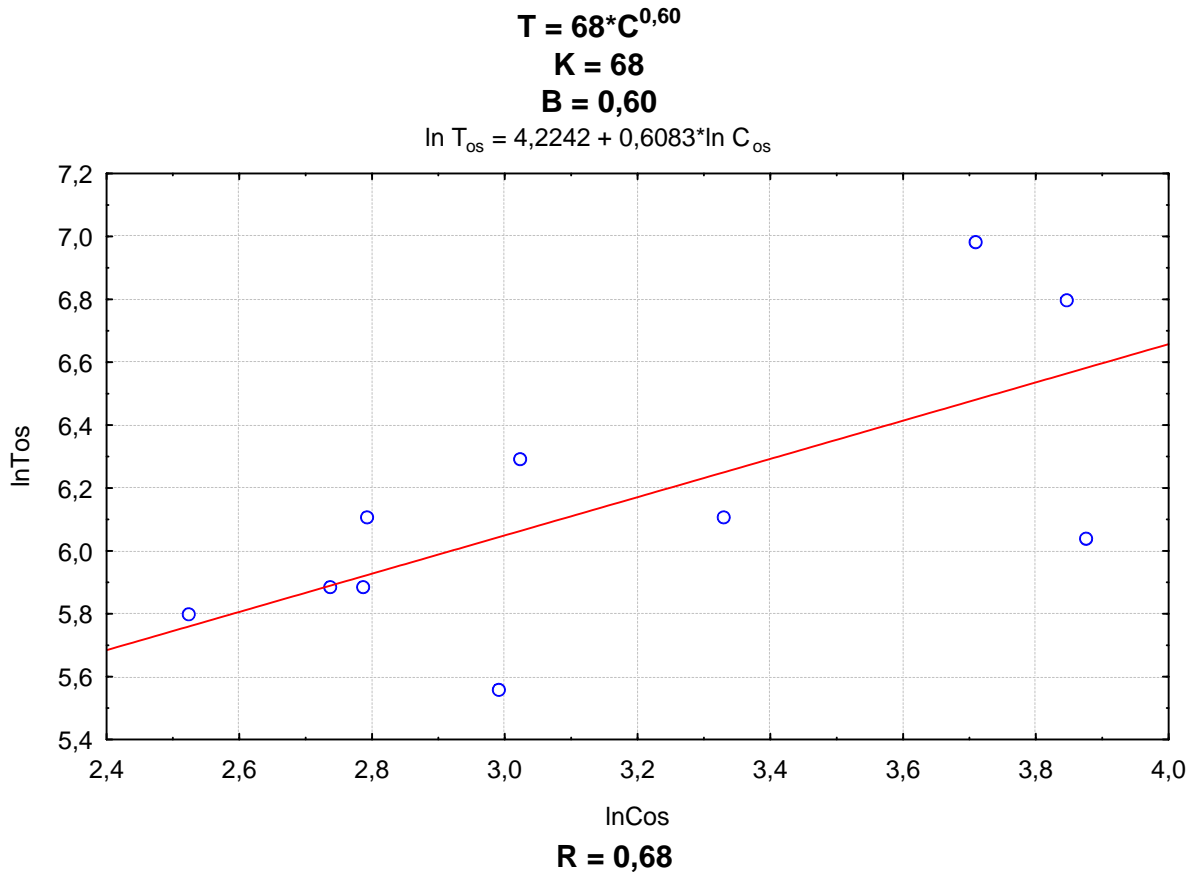
$$K = e^{\beta_0} \quad (20)$$

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

4.3.1 Opis postupka primjene modela “ vrijeme-novac” za objekte visokogradnje

Nakon korigiranja cijena indeksom rasta cijena, te izračunavanja prirodnih logaritama vremena i cijena, za bazu podataka i to, kako za ugovorene, tako i za ostvarene vrijednosti izvršena je vizualna ocjena $\ln C - \ln T$ dijagrama i izračunati 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 sl. 2. prikazane su vrijednosti prirodnih logaritama ostvarenih cijena i vremena građenja, te njihov pravac procjenitelj.



Sl. 2. Dijagram «ln C_{os} – ln T_{os}» za stambeno-poslovne višekratnice

Provedenom regresijskom analizom dobiveni su regresijski pokazatelji pravaca procjenitelja, tj. nagib i odsječak, kao i granične vrijednosti 95%-tnog intervala povjerenja. Izračunati su i koeficijenti determinacije, te izvršena provjera reziduala kako bi se provjerila polazna hipoteza da reziduali imaju slučajan karakter. Provjera reziduala vršena je crtanjem dijagrama “procijenjene vrijednosti ln T - reziduali”, te dodatna provjera reziduala crtanjem dijagrama “redni broj objekta – reziduali”. Ova je dodatna provjera napravljena zbog karakterističnog (na prvi pogled neslučajnog) rasporeda točaka u tom dijagramu.

Uvrštavanjem vrijednosti nagiba $\hat{\beta}_1$ i odsječaka $\hat{\beta}_0$ u izraze $\ln K = \beta_0$ $K = e^{\beta_0}$ i $B = \hat{\beta}_1$ 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 je i za ugovorene vrijednosti za koje je dobiven koeficijent korelacije 0,60, te vrijednosti konstanti $K = 114$ i $B = 0,40$. Usporedni prikaz ovih pokazatelja dat je u tablici 3.

Tablica 3. Regresijski pokazatelji za stambeno-poslovne višekratnice

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

Formule su primijenjene na prethodnu bazu podataka. Primjenom formule

$T_{ug} = 114 \cdot C^{0,40}$ dobivena su računska ugovorna vremena, dok su primjenom formule $T_{rac} = 68 \cdot C^{0,60}$ dobivena računska vremena na bazi ostvarenih vrijednosti (ostvariva vremena). Izračunat je omjer računskih T_{rac} (ostvarivih) i ostvarenih vrijednosti T_{os} i ustanovljeno je prosječno odstupanje od oko 16 b% 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 manager, procjenjujući mogućnosti investitora i izvoditelja, organizaciju i planiranu tehnologiju izvođenja, uvjete okruženja, očekivane rizike i druge mjerodavne pokazatelje korigirao računsko vrijeme T_{rac} i tako konačno dobio održivo vrijeme građenja. Dakle, održivo vrijeme građenja je:

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

K je produkt 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 naglasiti 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.

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

RED.BR. OBJEKTA	OSTVARENO VRIJEME / T _{os} /	C _{ug}	T _{ug (rač)} =114*C _{ug} ^{0,40}	T _{rač} =68*C _{ug} ^{0,60}	T _{rač} /T _{os}	T _{rač} /T _{ug(ráč)}
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
				prosjeak	1,159	1,123
				min	0,877	0,988
				max	1,885	1,295
				stand.devijacija	0,334	0,103

Napomena: vrijeme je iskazano u danima

C_{ug} = ugovorna cijena građenja korigirana indeksom rasta cijena u milionima kuna

T_{os} = ostvareno vrijeme građenja

T_{ug(ráč)} = računsko ugovorno vrijeme građenja

T_{rač} = računsko vrijeme građenja (ostvarivo)

Izračunat je i odnos T_{rač} (ostvarivih) i računskih ugovornih T_{ug(ráč)} vremena građenja, te je ustanovljeno da su ostvariva vremena za prosječno 12 % veća od ugovornih, ili, drugim riječima, ugovorna vremena su za oko 12 % kraća od realno ostvarivih za uobičajenu

razinu rizika. Raspon odstupanja je od 0,988 do 1,123, a standardno odstupanje iznosi 0,103.

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 cca 15-45 miliona kuna), tj. 4.000,00 kn/m² brutto razvijene površine.
2. Kako konstante K i B odražavaju gospodarske i druge značajke zemlje u kojoj su izračunate, one se ne mogu jednostavno preuzeti i primijeniti. Dosad ove konstante u Hrvatskoj nisu računane, tako da ovdje dobiven model predstavlja novi model za brzu procjenu vremena građenja stambeno-poslovnih višekatnica u Hrvatskoj.
3. Veći broj objekata i homogenije baze podataka omogućuju izračunavanje točnijih konstanti K i B za određenu vrstu objekata.
4. Uvidom u dobivene konstante B za ugovorene i ostvarene vrijednosti vidljivo je da je u stvarnosti veći utjecaj vrijednosti projekta na trajanje njegovog izvršenja od onog koji se procjenjuje kod ugovaranja. Ovo se kod objekata visokogradnje može tumačiti i raznovrsnošću i velikim brojem obrtničkih i završnih radova.
5. Uspoređujući s vani dobivenim vrijednostima, konstante K i B su više, što upućuje na nižu produktivnost i lošiju organizaciju rada .
6. Rezultati u tablici 4. ukazuju da su računski dobivena vremena građenja dobivena primjenom nove formule za cca 16 % veća od realno ostvarenih u rasponu od cca 0,9-1,9. Ova činjenica upućuje na potrebu uvođenja dodatnih koeficijenata korekcije. Preliminarna istraživanja pokazuju slijedeće vrijednosti koeficijent organizacije projekta k_{og} [0,9 ; 1,2] , koeficijent procjene djelovanja rizika k_r [1; 1,3] Treba naglasiti da bi uvođenje koeficijenata korekcije, njihove vrste i vrijednosti, trebalo posebno istražiti.

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 izvoditeljima u situaciji kad je potrebna brza procjena ili provjera nekog vremena. To je daleko 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 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. Uključenjem strukovnih organizacija ili komora ovaj nedostatak bi se mogao lako riješiti, tim više što usporedba vrijednosti konstanti različitih zemalja i područja upućuje i na određene zaključke u pogledu gospodarskih karakteristika, načina i produktivnosti građenja.

Dosad ove konstante u Hrvatskoj nisu računate, tako da ovdje dobiven model predstavlja novi model za brzu procjenu vremena građenja stambeno-poslovnih višekatnica 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.

Popis priloga (tablice i slike)

	Tablice	Str.
Tablica	1. Vrijednosti B i K za razne tipove objekata [3, str. 398.]	5.
	2. Pregled utjecajnih parametara za procjenu vremena građenja [16, str. 22]	16.
	3. Regresijski pokazatelji za stambeno-poslovne višekatnice	21.
	4. Prikaz i usporedba vremena građenja za stambeno-poslovne višekatnice	22.
	 Slike	
Slika	1. Pojednostavljeni okvirni plan građenja utemeljen na grupama aktivnosti	10.
	2. Dijagram « $\ln C_{os} - \ln T_{os}$ » za stambeno-poslovne višekatnice	20.

