

Mr. ŽELJKO KERKEZ  
Visoke vojnotehničke škole KoV JNA  
Zagreb, Ilica 256/b

Promet i prostor  
Pregledni rad  
UDK: 625.712.6  
Primljeno: 04.01.1991.  
Prihvaćeno: 25.01.1991.

## MODEL DIMENZIONIRANJA OPTIMALNE VELIČINE PARKIRALIŠTA

### SAŽETAK

U radu je predložen model određivanja optimalnog broja parkirališnih mjesta iz uvjeta visoke razine usluge korisnika i pozitivnih ekonomskih učinaka rada parkirališta. Značajke rada parkirališta dobivene su simulacijom na modelu uz variranje ulaznih parametara kao što su: intenzitet ulaznog toka, vrijeme parkiranja, broj parkirališnih mjesta i dr. Provjera rezultata obavljena je primjenom ekonomskih metoda.

### UVOD

Naglo povećanje broja motornih vozila u svijetu, pa i u nas, uzrokovalo je teške probleme glede nesmetanog odvijanja prometa u gradovima, posebice pri pronalaženju slobodnog prostora za njihovo parkiranje. Posljedice toga su: zakrčenost prometnica, smanjenje propusne moći, smanjenje brzine kretanja, povećani troškovi eksploatacije, povećanje broja prometnih nezgoda i dr.

Problem parkiranja vozila posebice je izražen u središnjim dijelovima gradova, zbog velike koncentracije aktivnosti a maloga raspoloživog prostora za parkiranje vozila što se koristi pri obavljanju tih aktivnosti. Postojeći prostori za parkiranje, po svom kapacitetu i razmještaju, ne zadovoljavaju ni sadašnje a kamoli buduće potrebe. Da bi se te posljedice izbjegle, potrebno je osigurati odgovarajuće posebne prostore za parkiranje vozila izvan kolnika kao što su parkirališta i garaže.

Pri projektiranju novih ili rekonstrukciji postojećih prostora za parkiranje potrebno je utvrditi sve relevantne parametre koji utječu na proces parkiranja, da bi se definirala optimalna veličina objekata za parkiranje.

Kako su istraživanja u stvarnim uvjetima veoma skupa i dugotrajna, za rješavanje problema u prometu i transportu najčešće se primjenjuje metoda simulacijskog modeliranja.

### 1. MODELIRANJE RADA PARKIRALIŠTA

Na parkiralište koje ima  $N$  parkirališnih mjesta pristižu vozila u slučajnom trenutku radi parkiranja. Vozilo koje stiže na parkiralište u trenutku kada je slobodno makar i jedno mjesto za parkiranje prima se na usluživanje do kraja. Ako vozilo ne zatekne ni jedno slobodno mjesto, napušta parkiralište neusluženo, tj. dobiva ot-

kaz. Prema navedenim značajkama, parkiralište predstavlja višekanalni sustav masovnog usluživanja (SMO) s otkazima [1].

Vozila stižu na parkiralište s vremenskim intervalom  $t$  i intenzitetom ulaznog toka  $\lambda$ , a na mjestu parkiranja zadržavaju se vrijeme  $\tau$  (sl. 1).

Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da je ulazni tok vozila jednostavan, s eksponencijalnom raspodjelom vremena stizanja između vozila  $t$  i intenzitetom  $\lambda$  voz./h [5]. Interval nailaska vozila na parkiralište modelira se na ovaj način [6]:

$$t = -\frac{60}{\lambda} \ln \gamma \quad [\text{min}] \quad (1)$$

gdje je:

$t$  - interval nailaska vozila na parkiralište, min  
 $\lambda$  - intenzitet ulaznog toka vozila, voz./h  
 $\gamma$  - slučajni broj ravnomjerno raspoređen na intervalu (0,1).

Raspodjela vremena parkiranja vozila nije poznata. Pretpostavlja se da vrijeme parkiranja vozila na parkiralištu ima eksponencijalnu (normalnu) raspodjelu.

Eksponencijalno raspoređeno vrijeme parkiranja modelira se na ovaj način [6]:

$$\tau = -\tau_{sr} \ln \gamma \quad [\text{min}] \quad (2)$$

gdje je:

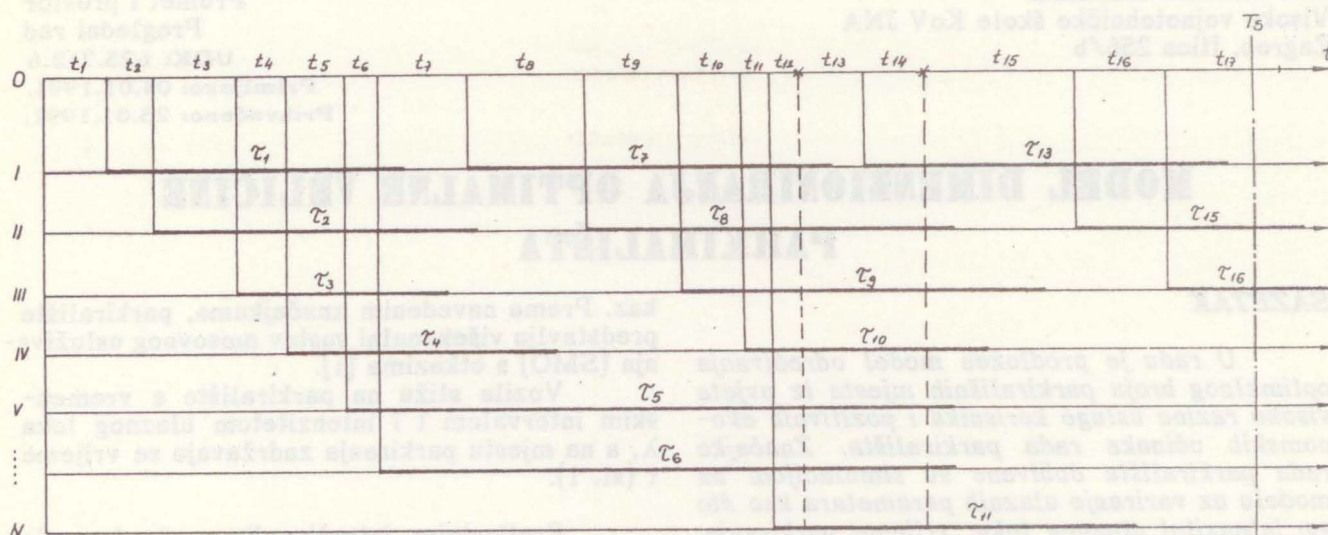
$\tau$  - vrijeme parkiranja vozila, min  
 $\tau_{sr}$  - srednje vrijeme parkiranja vozila, min  
 $\gamma$  - slučajni broj na intervalu (0,1)

Normalno raspoređeno vrijeme parkiranja modelira se na sljedeći način [6]:

$$\tau = \mu_{\tau} + \sigma_{\tau} \cdot \left( \sum_{i=1}^{12} \gamma_i - 6 \right) \quad [\text{min}] \quad (3)$$

gdje je:

$\tau$  - vrijeme parkiranja vozila, min  
 $\mu_{\tau}$  - matematičko očekivanje vremena parkiranja, min



Slika 1. Shema rada parkirališta

$\sigma_{\tau}$  - standardno odstupanje vremena parkiranja, min  
 $\gamma_i$  - slučajni broj na intervalu (0,1)

Kako se radi o stacionarnom režimu rada, značajke rada parkirališta izračunavaju se kao srednje vrijednosti jedne dostatno duge realizacije, a ne skupa realizacija. Srednje vrijednosti se dobivaju kao srednje veličine po vremenu. Da bi se ta mogućnost mogla koristiti, uz osobinu stacionarnosti, proces mora posjedovati i ergodično svojstvo, tj. da nakon isteka dostatno dugog vremena stanje sustava ne zavisi od početnih uvjeta [1].

Na temelju definiranih intervala nailaska vozila i vremena parkiranja razrađen je ukupni model za simulaciju rada parkirališta čiji je blok-dijagram prikazan na slici 2, a izlazni rezultati u tablici 1. Za simulaciju rada parkirališta potrebno je definirati sljedeće ulazne parametre:  
 -  $\lambda$ , intenzitet ulaznog toka vozila, voz./h,  
 -  $\tau$ , srednje vrijeme parkiranja vozila, min,  
 - N, broj parkirališnih mjesta,  
 - T, vrijeme simulacije (rada parkirališta), h.

Ako se usporede rezultati simulacije za eksponencijalnu i normalnu raspodjelu vremena parkiranja, može se zaključiti da se zakonitosti promjene parametara rada parkirališta i njihove numeričke vrijednosti neznatno razlikuju.

## 2. ODREĐIVANJE OPTIMALNOG BROJA MJESTA ZA PARKIRANJE

Određivanje optimalnog broja mjesta za parkiranje zahtijeva uvažavanje svih čimbenika koji utječu na rad parkirališta. Optimalan broj mjesta na parkiralištu je onaj koji pruža zadovoljavajuću razinu usluge korisniku, a istodobno donosi dobre ekonomske učinke vlasniku, tj. mali broj neusluženih vozila a veliki broj zauzetih parkirališnih mjesta.

Kako ostvarena zarada mora biti veća od ukupnih troškova rada parkirališta ili jednaka njima, optimalan broj mjesta na parkiralištu (garaži) određuje se prema [4]:

Tablica 1. Vrijednosti parametara rada parkirališta dobiveni simulacijom

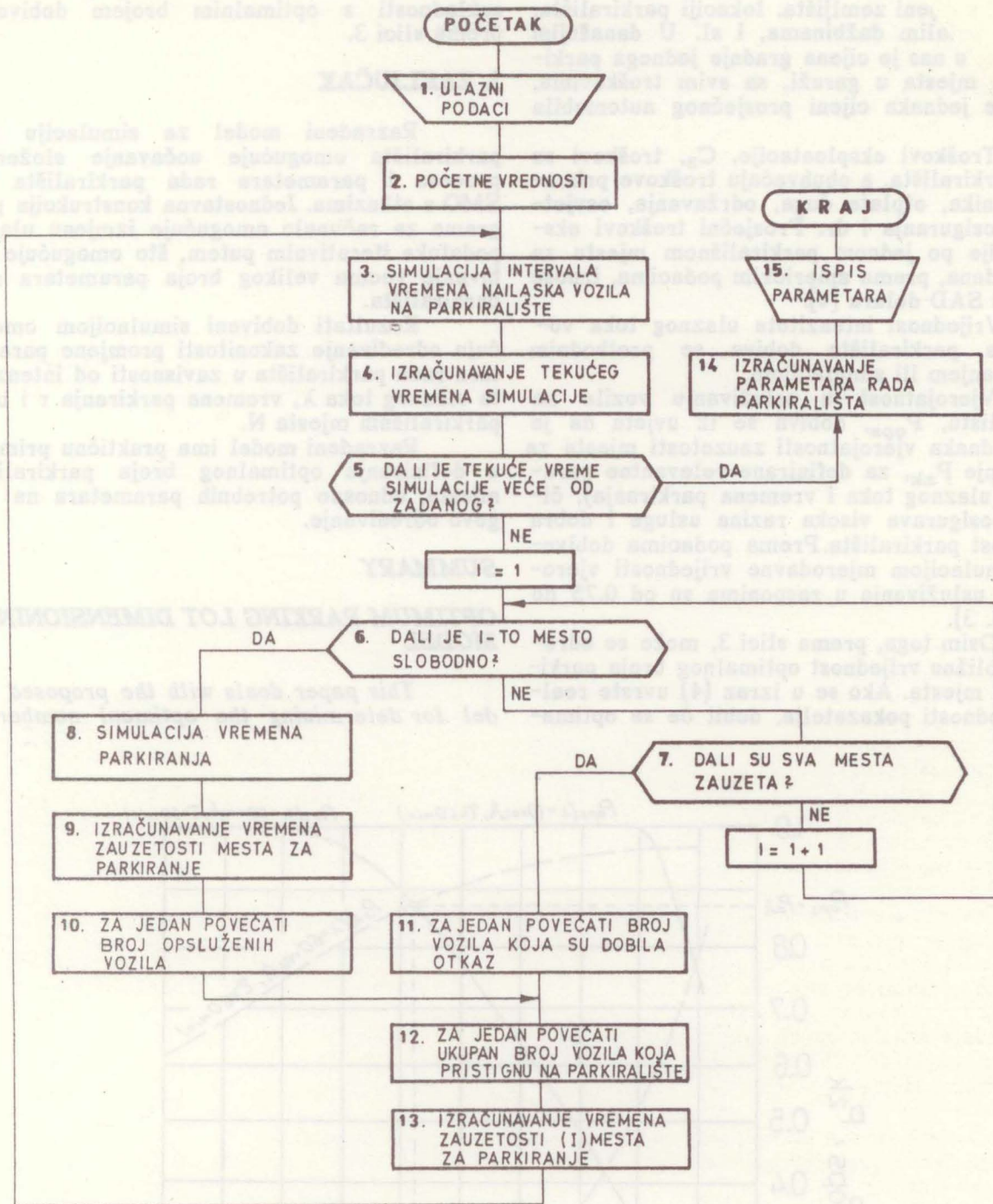
Simulacija rada parkirališta

Intenzitet ulaznog toka L = 60 voz./h

Srednje vrijeme parkiranja t = 60 min

Vrijeme simulacije I = 12 h

BROJ MJESTA				VJEROJATNOST				SREDNJE VRIJEME (min)						
Ukup. N	Zauz. Nz	Slob. Hs	Opisluž. Pop	Otkaza Pot	Zauz.K. Pzk	Staj. K Psk	Poip. Z Ppz	Staj S Pss	Zauz.K Tzk	Staj.K Tsk	Poip.Z Tpz	Staj.S Tss	Kl. I	U SI I
10	9.82	0.10	0.1521	0.0479	0.9822	0.0178	0.0479	0.0070	60	1.09	6.00	0.02	0.16	
20	19.61	0.37	0.3105	0.6515	0.9004	0.0156	0.6515	0.0001	60	1.20	3.00	0.02	0.33	
30	29.15	0.05	0.5171	0.4029	0.9710	0.0202	0.4029	0.0022	60	1.74	2.00	0.02	0.49	
40	36.96	3.04	0.7107	0.2013	0.9241	0.0757	0.2013	0.0001	60	4.93	1.50	0.02	0.62	
50	44.60	5.32	0.0007	0.1911	0.0936	0.1061	0.9711	0.0037	60	7.14	1.70	0.02	0.74	
60	51.66	0.34	0.9373	0.0607	0.8610	0.1370	0.0607	0.0036	60	9.69	1.00	0.02	0.86	



Slika 2. Blok dijagram programa za simulaciju rada parkirišta

$$n_{opt} \leq \frac{C_1 \lambda P_{ops} t}{C_2 + C_3 t}$$

- (4)  $C_3$  - troškovi eksploatacije jednog parkirišnog mjesta u jedinici vremena, din/h  
 $t$  - vrijeme rada parkirišta tijekom jedne godine, h

gdje je:

- $n_{opt}$  - optimalni broj parkirišnih mjesta
- $\lambda$  - intenzitet ulaznog toka vozila, voz./h
- $P_{ops}$  - zahtijevana vjerojatnost usluživanja
- $C_1$  - zarada pri usluživanju jednog vozila, din/voz.
- $C_2$  - cijena izgradnje jednoga parkiriš-

Zarada što se ostvaruje usluživanjem vozila,  $C_1$ , zavisi od vremena parkiranja i lokacije parkirišta na teritoriju grada. Za dulje parkiranje i lokaciju parkirišta bliže središtu grada plaća se više.

Cijena gradnje jednoga parkirišnog

mjesta,  $C_2$ , različita je u različitim gradovima, jer ovisi o cijeni zemljišta, lokaciji parkirališta, porezu, ostalim dažbinama, i sl. U današnjim uvjetima, u nas je cijena gradnje jednoga parkirališnog mjesta u garaži, sa svim troškovima, otprilike jednaka cijeni prosječnog automobila [5].

Troškovi eksploatacije,  $C_3$ , troškovi su rada parkirališta, a obuhvaćaju troškove primanja radnika, otplate duga, održavanja, osvjjetljenja, osiguranja i dr. Prosječni troškovi eksploatacije po jednom parkirališnom mjestu za godinu dana, prema američkim podacima, iznose oko 120 SAD dolara [4].

Vrijednost intenziteta ulaznog toka vozila na parkiralište dobiva se prethodnim istraživanjem ili simulacijom.

Vjerojatnost u usluživanju vozila na parkiralištu,  $P_{ops}$ , dobiva se iz uvjeta da je  $P_{ops}$  jednaka vjerojatnosti zauzetosti mjesta za parkiranje  $P_{zk}$ , za definirane relevantne parametre (ulaznog toka i vremena parkiranja), čime se osigurava visoka razina usluge i dobra zauzetost parkirališta. Prema podacima dobivenim simulacijom mjerodavne vrijednosti vjerojatnost usluživanja u rasponima su od 0,75 do 0,85 (sl. 3).

Osim toga, prema slici 3, može se odrediti približna vrijednost optimalnog broja parkirališnih mjesta. Ako se u izraz (4) uvrste realne vrijednosti pokazatelja, dobit će se optima-

lan broj parkirališnih mjesta koji je u velikoj sukladnosti s optimalnim brojem dobivenim prema slici 3.

### 3. ZAKLJUČAK

Razrađeni model za simulaciju rada parkirališta omogućuje uočavanje složenosti procesa i parametara rada parkirališta kao SMO s otkazima. Jednostavna konstrukcija programa za računalo omogućuje izmjenu ulaznih podataka iterativnim putem, što omogućuje dobivanje veoma velikog broja parametara rada parkirališta.

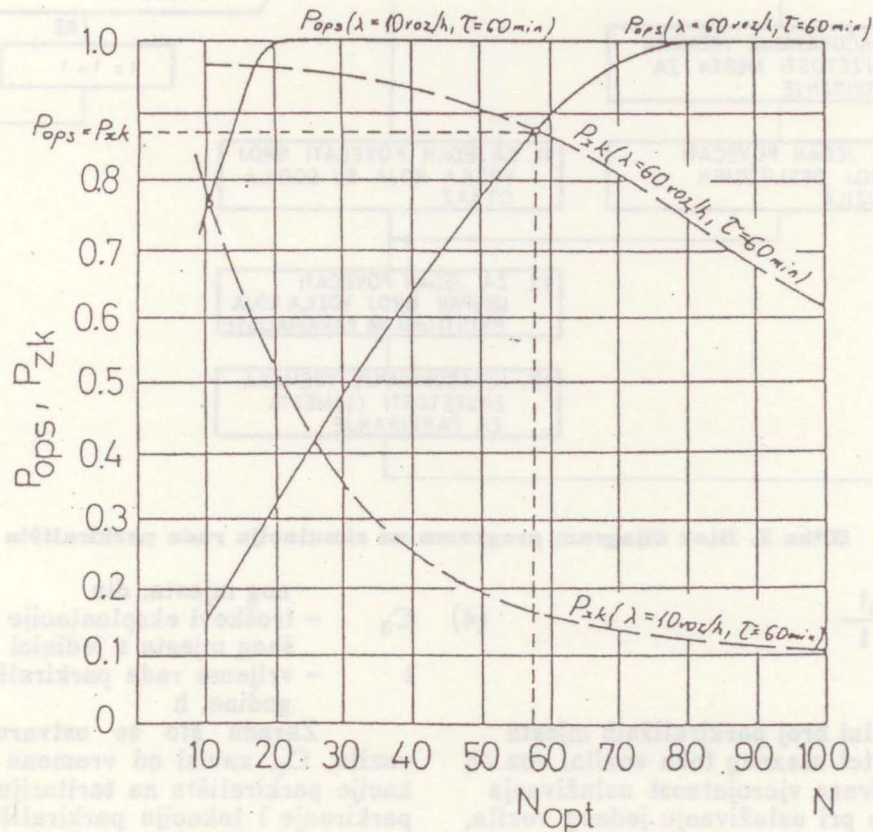
Rezultati dobiveni simulacijom omogućuju određivanje zakonitosti promjene parametara rada parkirališta u zavisnosti od intenziteta ulaznog toka  $\lambda$ , vremena parkiranja  $\tau$  i broja parkirališnih mjesta  $N$ .

Razrađeni model ima praktičnu primjenu u definiranju optimalnog broja parkirališnih mjesta, odnosno potrebnih parametara na njegovo određivanje.

### SUMMARY

#### OPTIMUM PARKING LOT DIMENSIONING MODEL

This paper deals with the proposed model for determining the optimal number of



Slika 3. Određivanje mjerodavnih vjerojatnosti usluživanja i optimalnog broja parkirališnih mjesta

*parking places following the conditions and requirements of high standard of provision of services to the users and positive economic effects of car parking operations.*

*The characteristics of car parking operations have been obtained through simulation on the model by varying the input parameters as the intensity of the input flow, parking times, number of parking places, etc. Checking of the results obtained has been completed by application of economic methods.*

#### LITERATURA

- [1] V. S. VUKADINOVIĆ: Elementi teorije masovnog opsluživanja. Naučna knjiga, Beograd, 1975.
- [2] V. S. VUKADINOVIĆ, J. POPOVIĆ: Metoda Monte-Karlo. Saobraćajni fakultet, Beograd, 1977.
- [3] I. M. SOBOLJ: Metod Monte-Karlo. Nauka, Moskva, 1978.
- [4] Z. JELINOVIĆ: Promet u mirovanju. Informator, Zagreb, 1973.
- [5] M. TOMIĆ: Stacionarni saobraćaj. Saobraćajni fakultet, Beograd, 1979.
- [6] Grupa autora: Aplikacioni softver iz saobraćajnog obezbeđenja OS. NIR, projekt CVTŠ, Zagreb, 1988.