

Dr. ŽELJKO RADAČIĆ

Fakultet prometnih znanosti
Zagreb, Vukelićeva 4

RATKO STANKOVIĆ, dipl.inž.

Ministarstvo prometa i veza
Zagreb, Prislavlje 14

Tehnologija i organizacija prometa

UDK: 656.7:519.245

Pregledni članak

Primljeno: 17.11.1992.

Prihvaćeno: 08.03.1993.

MOGUĆNOST PRIMJENE METODE "MONTE CARLO" U TEHNOLOGIJI ZRAČNOG PROMETA

SAŽETAK

S obzirom na značajke konvencionalnih metoda dimenzioniranja prometno-tehnoloških sustava u zračnom prometu, te imajući na umu prirodu tih sustava, obrazložena je prednost primjene metode "Monte Carlo", koja omogućuje kvalitativno drukčiji pristup tom problemu.

1. UVOD

Planiranje prometnih kapaciteta svakako je jedna od najkompleksnijih, ali istodobno i najvažnijih zadaća tehnologije prometa. Pravilno dimenzionirani i organizirani transportni kapaciteti jedna su od temeljnih pretpostavka uspješnosti transportnog procesa. Na području tehnologije zračnog prometa, u svijetu su razvijene različite metode za dimenzioniranje mobilnih i stabilnih transportnih kapaciteta. Zajednička je značajka većine tih metoda što su statičke naravi. To se posebice očituje u metoda za dimenzioniranje kapaciteta u putničkoj zgradi zračne luke (misi se na primarne prometno-tehnološke sadržaje: prodaja karata, registracija putnika, kontrola putovnica, carinska kontrola, sigurnosna kontrola), koji se dimenzioniraju na temelju usvojenih vršnih satnih opterećenja. Te se metode u osnovi sastoje u tomu da se prema različitim standardiziranim kriterijima odrede mjerodavna satna opterećenja (Standard Busy Rate, Busy Hour Rate, Typical Peak Hour Passenger, Bussiest Timetable Hour ili Peak Profile Hour) i na temelju njih se, primjenom određenih tablica, dijagrama ili koeficijenata, odrede unutarnji ustroj i kapaciteti prometno-tehnoloških sadržaja, koji su potrebni, uz usvojena tehničko-tehnološka i organizacijska rješenja, za prihvatljivu razinu zadovoljenja prometne potražnje uz uvažavanje načela ekonomičnosti.

Radi se znači o tomu da se pojedini sustavi (a u prvom redu prometno-tehnološki sadržaji u putničkoj zgradi zračne luke se, polazeći od postavki opće teorije sustava, s punim opravdanjem mogu definirati kao sustavi) određuju glede kapaciteta i unutarnjeg ustroja na temelju postojećih statističkih pokazatelja i rezultata ispitivanja, vezanih uz neko prethodno razdoblje. Da li će tako dimenzionirani sustavi prometno-tehnoloških sadržaja osigurati zadovoljavajuću razinu usluge i ekonomičnosti, moguće je ustanoviti

tek nakon što se ti sustavi stave u funkciju na određenome mjestu, odnosno to nije moguće pouzdano utvrditi u fazi planiranja. U praksi se to često očituje u obliku različitih poremećaja u odvijanju prometnih tokova ili nedostatnog iskorištenja kapaciteta.

Diskrepancija između očekivane realizacije i stvarnog funkcioniranja sustava pod danim uvjetima, proizlazi iz statičkoga karaktera tih metoda, što je u znatnom nesuglasju s karakterom sustava koji se tim metodama opisuju, jer su primarni prometno-tehnološki sadržaji putničke zgrade zračne luke po svim svojim značajkama složeni dinamički sustavi u stalnoj interakciji sa svojim okruženjem. Problem je dakle u insuficijentnosti (s prometno-tehnološkog, kao i s matematičko-fizikalnoga gledišta) takvoga, statičkoga, pristupa u opisivanju dinamičkih sustava. Ta se insuficijencija može kompenzirati primjenom metode "Monte Carlo", što ćemo demonstrirati u ovom radu na primjeru sustava za registraciju putnika i prtljage (check in), kao prometno-tehnološkog sadržaja par excellence.

2. ZNAČAJKE SUSTAVA REGISTRACIJE PUTNIKA I PRTLJAGE KAO PRETPOSTAVKE ZA PRIMJENU METODE "MONTE CARLO"

Metoda "Monte Carlo" primjenljiva je na sve probleme stohastičkoga karaktera, premda je njezina primjena moguća i drugdje. Stohastički karakter problema dimenzioniranja kapaciteta sustava registracije putnika i prtljage jasno se očituje u načinu pristizanja putnika u zračnu luku, distribucije po šalterima registracije, kao i u načinu njihovog usluživanja. Pristizanje putnika u zračnu luku nije, gledano u vremenskoj dimenziji, uniformno već se odvija prema slučajnoj razdiobi vremenskih intervala između pojedinih dolazaka. Isto je i s vremenom trajanja usluge, koje također nije uniformno nego dolazi do kolebanja oko prosječne vrijednosti vremena trajanja usluge. Distribucija putnika po šalterima također ima karakter slučajne veličine, jer putnik ne prilazi uvijek šalteru ispred kojeg je najmanji red, već se u odabiru može rukovoditi nekim posebnim razlogom ili vlastitom procjenom. Sve to stvara mogućnosti za primjenu metode "Monte Carlo".

3. KOMPENZACIJA INSUFICIJENCIJE STATIČKIH METODA DIMENZIONIRANJA SUSTAVA PRIMJENOM METODE "MONTE CARLO"

Kako smo već prethodno utvrdili, nakon što se sustav registracije putnika i prtljage u zračnoj luci dimenzionira jednom od poznatih konvencionalnih metoda, ne može se s potpunom sigurnošću jamčiti da će se tako dimenzioniran sustav u praksi pokazati zadovoljavajućim. Analizu njegova stvarnog funkcioniranja pod danim uvjetima moguće je provesti tek naknadno, nakon što se taj sustav neposredno stavi u funkciju na predviđenome mjestu. Tu se stvara prostor za primjenu metode "Monte Carlo". Metoda se sastoji u tomu da se, sukladno principima opće teorije sustava, matematički opiše promatrani sustav, te se tako definira analogni matematički model, s pomoću kojeg se simulira funkcioniranje sustava uz istodobno analiziranje svih razina manifestacije simulacijskog modela. Treba istaknuti da je simulacija s pomoću analognoga matematičkog modela dinamički proces, te je stoga moguće, tijekom njegovog izvođenja, dinamički mijenjati pojedine veličine i parametre sustava, čime se dobiva još bolji uvid u rad sustava. To znači da, nakon što je matematički model definiran, možemo tijekom simulacije dinamički mijenjati input sustava (volumen prometa, vremenska značajka pristizanja putnika), varijable sustava (distribucija putnika po šalterima, trajanje usluge), kao i parametre sustava (broj šaltera, koncepcija regulacije prometnih tokova) i pratiti kako se to odražava na funkcioniranje sustava. Takvom dinamičkom analizom dobivamo dinamičku sliku rada sustava prije njegove praktične realizacije, čime ostvarujemo kompenzaciju insuficijentnosti konvencionalnih, statičkih metoda kojima je sustav prethodno dimenzioniran.

4. PRINCIP METODE "MONTE CARLO"

Znakovito je za metodu "Monte Carlo" da se kao supstrat za simulaciju uvijek koristi slučajni uzorak, što je u krajnjoj crti u skladu sa stohastičkom naravi problema na koji se metoda primjenjuje. Zato slučajni brojevi tu imaju iznimnu važnost. Kako se na izvlačenju slučajnih brojeva temelje sve igre na sreću (lutrija, tombola, igre s kartama i kockama, rulet, razni kockarski automati i sl.), to su autori Metropolis i Ulam (SAD) metodi dali ime po Monte Carlu, u čijim ekskluzivnim kockarnicama novac troši svjetski jet-set. Praktična primjena metode sastoji se od sljedećih osnovnih koraka:

- postavljanje problema,
- stvaranje prikladnoga matematičkog modela za simulaciju,
- pravilan izbor slučajnih brojeva, uz pravilnu interpretaciju njihovog značenja te
- izvođenje potrebnog broja ponavljanja za dobivanje dostatno velikog uzorka.

Najvažnije je, pri simuliranju rada nekog sustava metodom "Monte Carlo", pravilno odrediti funkciju koja predstavlja zakonitost razdiobe pojedine slučajne veličine sustava unutar definiranog intervala vrijednosti koje ta veličina može poprimiti. To konkretno znači da na temelju pokazatelja statističkog praćenja i prethodnih spoznaja o funkcioniranju promatranog sustava i njegovog okružja, treba odrediti zakonitosti kojima se pokoravaju slučajne veličine,

odnosno varijable sustava, te definirati parametre sustava. Pojedine slučajne veličine sustava pojavljuju se unutar različitih intervala vrijednosti i s različitim vjerojatnostima. Iz toga proizlazi da je za stjecanje točne predodžbe o funkcioniranju sustava potrebna pravilna interpretacija značenja slučajnih brojeva za svaku pojedinu varijablu, kao i da učestalost dotične varijable bude u skladu s pripadajućim empirijskim ili teoretskim zakonom razdiobe. Postupak kojim se to postiže u ovakvom slučaju sastoji se u tomu da se na temelju statistike praćenja rada promatranog sustava, za svaku slučajnu veličinu, izračuna vjerojatnost poprimanja pojedinih vrijednosti. Dobivene se vjerojatnosti slučajnih veličina onda izraze kao kumulativne vjerojatnosti, na temelju kojih se određuju pripadajući rasponi vrijednosti slučajnih brojeva. Time je postignuta potrebna analogija: vrijednosti slučajnih veličina s većom vjerojatnošću pojavljivanja predstavljene su unutar ukupnog intervala vjerojatnosti većim rasponom vrijednosti slučajnih brojeva, a vrijednosti slučajnih veličina s manjom vjerojatnošću pojavljivanja s razmjerno manjim rasponom slučajnih brojeva; prema tomu, kad generiramo slučajne brojeve s jednakom vjerojatnošću pojavljivanja, jasno je da će ih više pasti unutar većeg raspona vrijednosti nego unutar manjeg. Drugim riječima, unutar ukupnog intervala mogućih vrijednosti dobili smo podjelu na razrede po kojima se distribuiraju generirani slučajni brojevi, pri čemu je raspon vrijednosti pojedinog razreda razmjerni vjerojatnosti da slučajna veličina poprimi vrijednost koja je tim razredom predstavljena. Opisani postupak bit će primijenjen tijekom demonstracije metode "Monte Carlo" dalje u ovom radu.

5. TOČNOST METODE "MONTE CARLO"

Kvaliteta rezultata dobivenih simulacijom izravno ovisi o veličini ispitnog uzorka i o tomu u kojoj mjeri je primijenjen matematički model reprezentativan tj. koliko vjerno predstavlja stvarni sustav. Osim toga je, za primjenu metode "Monte Carlo", potrebno poznavati zakonitosti funkcioniranja promatranog sustava u cjelini kao i pojedinih njegovih elemenata, ili pak raspolagati podacima o njegovu radu u prethodnom razdoblju. Valja napomenuti da točnost metode ovisi i o broju znamenaka slučajnih brojeva. Za simulaciju bi trebalo koristiti najmanje troznamenaste slučajne brojeve, dok se optimalna rješenja postižu četvero- i peteroznamenastim i peteroznamenastim brojevima.

6. DEMONSTRACIJA PRIMJENE METODE "MONTE CARLO"

6.1. Opis i postavljanje problema

Kako je predmet interesa ovog rada sustav registracije putnika i prtljage, pri čemu se misli samo na registraciju terminalnih putnika, to će za rješenje problema koji se u ovom radu postavlja biti potrebno poznavanje prometnih tokova putnika u odlasku, dok prometni tokovi u dolasku neće, u ovom slučaju, biti relevantni, budući da smo pretpostavili da se registracija transfernih putnika obavlja na posebnim šalterima.

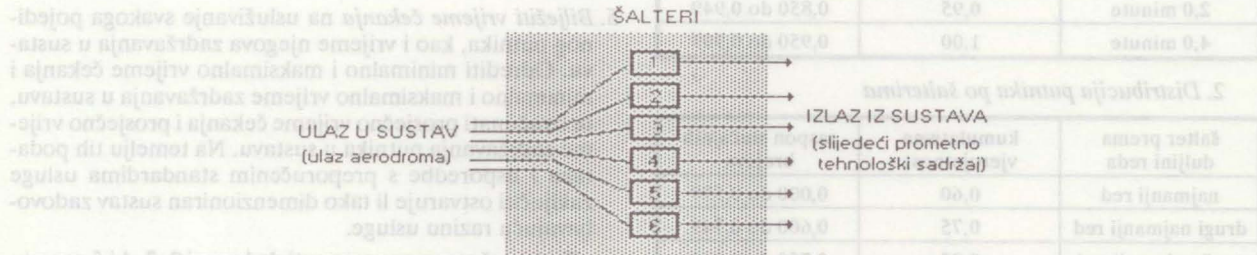
S obzirom na teoretski karakter ovog rada, nije nužno služiti se stvarnim podacima o prometu i radu službe za registraciju putnika i prtljage s neke određene zračne luke, već je dostatno definirati jednu referentnu zračnu luku s

fiktivnim prometom, koji je po volumenu i razdiobi razmjern stvarnom prometu što bi mogao biti ostvaren u nekoj stvarnoj zračnoj luci. Budući da je svrha ovog rada samo dokazati mogućnost primjene metode "Monte Carlo" na jedan prometno-tehnološki problem, a ne i stvoriti praktično primjenljiv model za neki konkretan slučaj, takva će referentna zračna luka sa svojim prometom sasvim dobro poslužiti toj svrsi.

Za simulaciju funkcioniranja sustava treba definirati ulazne veličine, parametre, unutarnji ustroj, kao i sve relevantne čimbenike što utječu na njegov rad u određenom okruženju. Osim toga, potrebno je definirati okvir za primjenu odabrane metode.

6.1.1. Okvir za primjenu metode "Monte Carlo"

Koncepcija sustava. To je centralizirana koncepcija s odvojenom registracijom putnika na domaćim i međunarodnim linijama. Registracija transfernih putnika obavlja se na posebnim šalterima. Promatrat će se samo šalteri za registraciju terminalnih putnika u međunarodnom prometu, dakle sustav registracije terminalnih putnika i prtljage u međunarodnom prometu.



Slika 1. Shema sustava registracije putnika i prtljage u zračnoj luci

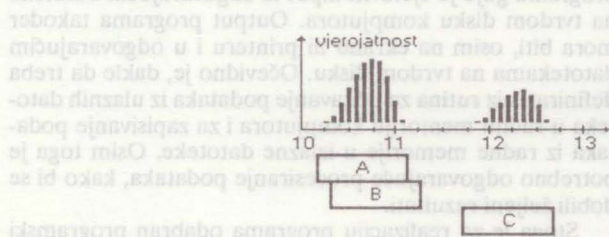
6.1.3. Slučajne veličine sustava

Vrijeme trajanja usluge:

trajanje usluge	0,5 min	1 min	1,5 min	2 min	4 min
vjerojatnost	0,30	0,35	0,20	0,10	0,05

prosječno trajanje usluge iznosi 1,2 minute

Pristizanje putnika na aerodrom:



Ispitno razdoblje: Dio radnog dana u vremenu od 10:00 do 17:00
 Ispitni uzorak: Terminalni putnici na međunarodnim linijama

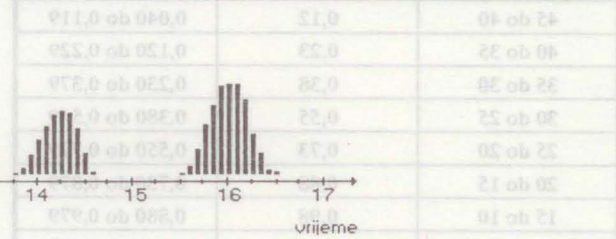
6.1.2. Parametri sustava

Broj šaltera: šest (6)
 Raspored letova: prema redu letenja, kako slijedi:

let	destinacija	vrijeme zatvaranja	tip zrakoplova	kapacitet
A	AMS	11:10	Boeing 737	134
B	BRU	11:20	DC 9	107
C	ORD	12:45	Boeing 737	134
D	ZRH	14:40	Fokker 100	97
E	ZRH	15:00	DC 9	107
F	VIE	16:25	Fokker 50	50
G	HAM	16:50	DC 9	107
H	BRU	16:55	DC 9	107

Distribucija putnika po šalterima:

	vjerojatnost
šalter s najmanjim redom	0,60
šalter s drugim najmanjim redom	0,15
šalter s trećim najmanjim redom	0,10
ostali šalteri	0,15



Slika 2. Grafički prikaz pristizanja putnika unutar promatranog razdoblja

minuta	60-55	55-50	50-45	45-40	40-35	35-30	30-25	25-20	20-15	15-10	10-5	5-0
vjerojatnost	0,00	0,01	0,03	0,08	0,11	0,15	0,17	0,18	0,15	0,10	0,02	0,00

Razdioba dolazaka u petominutnim intervalima prije zatvaranja leta

Popunjenost zrakoplova:

% kapaciteta	50	60	70	80	90
vjerojatnost	0,10	0,20	0,40	0,20	0,10

Time je sustav opisan (s četiri slučajne veličine i dvije konstantne veličine (parametra), te se može prijeći na primjenu metode "Monte Carlo". U tu svrhu valja se još malo zadržati na slučajnim veličinama sustava. Naime, te su slučajne veličine, odnosno dinamika njihovog mijenjanja, opisane s pomoću pripadajućih vjerojatnosti. Te vjerojatnosti treba predočiti kao kumulativne vjerojatnosti, kako bi se primjenom slučajnih brojeva postigla potrebna analogija između modela i stvarnog sustava.

6.1.4. Definiranje slučajnih veličina sustava s pomoću kumulativnih vjerojatnosti

1. Vrijeme trajanja usluge

vrijeme trajanja usluge	kumulativna vjerojatnost	raspon slučajnih brojeva
0,5 minuta	0,30	0,000 do 0,299
1,0 minuta	0,65	0,300 do 0,649
1,5 minuta	0,85	0,650 do 0,849
2,0 minute	0,95	0,850 do 0,949
4,0 minute	1,00	0,950 do 0,999

2. Distribucija putnika po šalterima

šalter prema duljini reda	kumulativna vjerojatnost	raspon slučajnih brojeva
najmanji red	0,60	0,000 do 0,599
drugi najmanji red	0,75	0,600 do 0,749
treći najmanji red	0,85	0,750 do 0,849
ostali	1,00	0,850 do 0,999

3. Pristizanje putnika

minuta do zatvaranja leta	kumulativna vjerojatnost	raspon slučajnih brojeva
60 do 55	-	-
55 do 50	0,01	0,000 do 0,009
50 do 45	0,04	0,010 do 0,039
45 do 40	0,12	0,040 do 0,119
40 do 35	0,23	0,120 do 0,229
35 do 30	0,38	0,230 do 0,379
30 do 25	0,55	0,380 do 0,549
25 do 20	0,73	0,550 do 0,729
20 do 15	0,88	0,730 do 0,879
15 do 10	0,98	0,880 do 0,979
10 do 05	1,00	0,980 do 0,999
05 do 00	-	-

4. Popunjenost zrakoplova

% kapaciteta	kumulativna vjerojatnost	raspon slučajnih brojeva
50	0,10	0,000 do 0,099
60	0,30	0,100 do 0,299
70	0,70	0,300 do 0,699
80	0,90	0,700 do 0,899
90	1,00	0,900 do 0,999

Potom se može prijeći simulaciji rada sustava registracije putnika s pomoću analognoga matematičkog modela. Taj se postupak sastoji od sljedećih osnovnih koraka:

1. **Odrediti broj putnika** koji će se javiti za pojedini let, odnosno koji će prijeći registraciji. Pritom je poznat tip zrakoplova na pojedinom letu, dakle poznat je maksimalan broj putnika koji može ponijeti, dok je popunjenost zrakoplova slučajna veličina koja se određuje prema poznatoj razdiobi. Uzevši u obzir ta dva čimbenika, odredit će se broj putnika po svakom pojedinom letu;
2. **Odrediti vrijeme dolaska u zračnu luku** svakoga pojedinog putnika. Dolasci putnika su slučajni i događaju se prema poznatoj razdiobi. Uzevši u obzir broj putnika po svakom pojedinom letu, vremenski raspored letova i slučajnu razdiobu dolazaka odredit će se vrijeme dolaska svakoga pojedinog putnika;
3. **Odrediti kojem će šalteru pojedini putnik prijeći.** Pritom treba pratiti oblikovanje redova pred svakim šalterom, a uzevši u obzir zakonitost distribucije putnika, koja je slučajna prema danoj razdiobi, odredit će se kojem će šalteru prijeći pojedini putnik;
4. **Odrediti trajanje usluživanja** svakoga pojedinog putnika. Trajanje usluge je slučajno i određuje se prema poznatoj razdiobi;
5. **Bilježiti vrijeme čekanja** na usluživanje svakoga pojedinog putnika, kao i vrijeme njegova zadržavanja u sustavu. Odrediti minimalno i maksimalno vrijeme čekanja i minimalno i maksimalno vrijeme zadržavanja u sustavu, te izračunati prosječno vrijeme čekanja i prosječno vrijeme zadržavanja putnika u sustavu. Na temelju tih podataka i usporedbe s preporučenim standardima usluge zaključiti ostvaruje li tako dimenzioniran sustav zadovoljavajuću razinu usluge.

Treba još samo napomenuti da koraci 2, 3, 4 i 5 moraju biti međusobno sinkronizirani, dok prvi korak može biti obavljen zasebno.

6.2. Kompjutorski program za simulaciju funkcioniranja sustava registracije putnika i prtljage

Zbog mnoštva podataka što ih treba pratiti i bilježiti, te zbog potrebe da oni ostanu sačuvani na magnetnom mediju nakon završetka programa, nameće se takva koncepcija programa gdje je cjeloviti input iz odgovarajućih datoteka na tvrdom disku kompjutora. Output programa također mora biti, osim na ekranu ili printeru i u odgovarajućim datotekama na tvrdom disku. Očevidno je, dakle da treba definirati niz rutina za učitavanje podataka iz ulaznih datoteka u radnu memoriju kompjutora i za zapisivanje podataka iz radne memorije u izlazne datoteke. Osim toga je potrebno odgovarajuće procesiranje podataka, kako bi se dobili željeni rezultati.

Stoga je za realizaciju programa odabran programski jezik "Clipper". To je programski jezik predviđen za rad s bazama podataka, te su stoga u njemu već razvijene, manje ili više, potrebne rutine za takvu vrst zadatka. No, uz prednosti glede rada s datotekama, "Clipper" ima jednu manjkavost, koja je vrlo bitna za program. Naime, metoda "Monte Carlo" temelji se na primjeni slučajnih brojeva, a "Clipper" nema razvijenu rutinu za generiranje slučajnih brojeva. Taj je problem riješen tako što je rutina za generiranje slučajnih brojeva napisana u programskom jeziku "C", koji je jezik niže razine u odnosu na "Clipper". Za povezivanje te rutine s glavnim programom korišten je

"Turbo Linker", verzija 2.0, tvrtke Borland. Program je napisan i izveden na IBM PC kompatibilnom računalu.

Zbog duljine izvornoga kôda programa, iznijet ćemo samo neke njegove fragmente koji su neophodni za razumijevanje logike rada programa.

Programski jezik: "Clipper", verzija Summer '87, tvrtke Nantucket Corporation

```

*****
* MCSIM.PRG (glavni program)
* Baze: 1. flights.dbf
*       2. loadfac.dbf
*       3. service.dbf
*       4. distrib.dbf
*       5. comings.dbf
*       6. razdioba.dbf
*       7. ukuprazd.dbf
*       8. results.dbf
*****

* definiranje radnih područja

SELECT 1
USE flights INDEX fligflig
r_flights = RECCOUNT()
SELECT 2
USE loadfac
r_loadfac = RECCOUNT()
SELECT 3
USE service
r_service = RECCOUNT()
SELECT 4
USE distrib
r_distrib = RECCOUNT()
SELECT 5
USE comings
r_comings = RECCOUNT()
SELECT 6
USE razdioba INDEX razdflig
ZAP
SELECT 7
USE ukuprazd INDEX ukupfive
ZAP
SELECT 8
USE results

* izracunavanje broja putnika po letu n_pf[i], ukupnog broja putnika: n_total

DECLARE n_pf[r_flights]
n_total = 0
FOR i = 1 TO r_flights
    rand_num = RANDNUM()
    SELECT 2
    LOCATE FOR min_rand <= rand_num .AND. max_rand >= rand_num
    m_factor = factor
    SELECT 1
    SEEK i
    m_capacity = capacity
    n_pf[i] = INT(capacity * m_factor / 100)
    n_total = n_total + n_pf[i]
NEXT

* određivanje vremenske razdiobe putnika za pojedini let i upis u bazu RAZDIOBA.DBF

FOR i = 1 TO r_flights
    FOR j = 1 TO n_pf[i]
        rand_num = RANDNUM()
        SELECT 5

```

```

LOCATE FOR min_rand <= rand_num .AND. max_rand >= rand_num
m_interval = interval
SELECT 6
SEEK i
m_field = &m_interval
m_field = m_field + 1
REPLACE &m_interval WITH m_field
REPLACE total WITH n_pf[i]
NEXT
NEXT

```

* određivanje ukupnog broja putnika po svakom petominutnom
* intervalu između 10:00 i 17:00, i upis u bazu UKUPRAZD.DBF

```

FOR i = 1 TO r_flights
SELECT 6
SET RELATION TO flight INTO flights
GO TOP
SEEK i
m_od55do50 = od55do50
m_od50do45 = od50do45
m_od45do40 = od45do40
m_od40do35 = od40do35
m_od35do30 = od35do30
m_od30do25 = od30do25
m_od25do20 = od25do20
m_od20do15 = od20do15
m_od15do10 = od15do10
m_od10do05 = od10do05
m_time = flights->time
m_time_h = VAL(SUBSTR(m_time,1,2))
m_time_m = VAL(SUBSTR(m_time,4,2))
i_time = (m_time_h - 10) * 12 + m_time_m / 5
i_55_50 = i_time - 11
SELECT 7
SEEK i_55_50
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od55do50
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od50do45
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od45do40
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od40do35
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od35do30
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od30do25
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od25do20
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od20do15
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg

```

```

SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od15do10
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
SKIP 1
m_numbpsg = numbpsg
m_numbpsg = m_numbpsg + m_od10do05
REPLACE numbpsg WITH m_numbpsg
NEXT

* odredjivanje velicine vremenskih intervala izmedju pojedinih dolazaka putnika dt[j]

DECLARE dt[n_total]
SELECT 7
GO TOP
dur2 = 0
empi = 0
DO WHILE .NOT. EOF()
    m_numbpsg = numbpsg
    IF m_numbpsg <> 0
        dur2 = dur2 + m_numbpsg
        dur1 = dur2 - m_numbpsg + 1
        FOR j = dur1 TO dur2
            dt[j] = 5 / m_numbpsg
        NEXT
        dt[dur1] = dt[dur1] + empi
        empi = 0
    ELSE
        empi = empi + 5
    ENDIF
    SKIP 1
ENDDO
IF dur2 <> n_total
    WAIT "Greska u racunanju dt[j]!"
    CLOSE ALL
    RELEASE ALL
    QUIT
ENDIF

* dolazak putnika, distribucija, cekanje, opsluzivanje, izlaz

DECLARE c_point[n_total]
DECLARE arrival[n_total]
DECLARE serving[n_total]
DECLARE waiting[n_total]
DECLARE totwait[n_total]
row1 = 0
row2 = 0
row3 = 0
row4 = 0
row5 = 0
row6 = 0
sumaserv = 0
sumawait = 0
sumatotw = 0
FOR j = 1 TO n_total
    IF j < 2
        arrival[j] = dt[j]
    ELSE
        arrival[j] = arrival[j-1] + dt[j]
    ENDIF
    serving[j] = Serv()
    which_row = Dist(row1,row2,row3,row4,row5,row6)
    c_point[j] = VAL(SUBSTR(which_row,4,1))
    IF arrival[j] >= &which_row
        &which_row = arrival[j] + serving[j]
        waiting[j] = 0

```

```

        totwait[j] = serving[j]
    ELSE
        waiting[j] = &which_row - arrival[j]
        totwait[j] = waiting[j] + serving[j]
        &which_row = &which_row + serving[j]
    ENDIF
    sumaserv = sumaserv + serving[j]
    sumawait = sumawait + waiting[j]
    sumatotw = sumatotw + totwait[j]
    averserv = sumaserv / n_total
    averwait = sumawait / n_total
    avertotw = sumatotw / n_total
NEXT

* upis rezultata simulacije u bazu RESULTS.DBF

SELECT 8
ZAP
FOR j = 1 TO n_total
    GO BOTTOM
    APPEND BLANK
    REPLACE putnik WITH j
    REPLACE dt WITH dt[j]
    REPLACE salter WITH c_point[j]
    REPLACE dolazak WITH arrival[j]
    REPLACE usluga WITH serving[j]
    REPLACE cekanje WITH waiting[j]
    REPLACE zadržav WITH totwait[j]
NEXT
CLOSE ALL
ASORT(serving)
ASORT(waiting)
ASORT(totwait)
min_serv = serving[1]
max_serv = serving[n_total]
min_wait = waiting[1]
max_wait = waiting[n_total]
min_totw = totwait[1]
max_totw = totwait[n_total]

* definiranje funkcija Serv() i Dist(x1,x2,x3,x4,x5,x6)

FUNCTION Serv
    rand_num = RANDNUM()
    SELECT 3
    LOCATE FOR min_rand <= rand_num .AND. max_rand >= rand_num
    m_t_serv = t_serv
RETURN(m_t_serv)

FUNCTION Dist
PARAMETERS x1,x2,x3,x4,x5,x6
    DECLARE x[6]
    DECLARE y[6]
    FOR i = 1 TO 6
        u = "x"+STR(i,1)
        x[i] = &u
        y[i] = x[i]
    NEXT
    ASORT(x)
    rand_num = RANDNUM()
    SELECT 4
    LOCATE FOR min_rand <= rand_num .AND. max_rand >= rand_num
    m_len_row = len_row
    IF m_len_row = 456
        rand_num = RANDNUM()
        IF rand_num >= 0 .AND. rand_num <= 332
            counter = 4

```



```

ENDIF
IF rand_num >= 333 .AND. rand_num <= 665
    counter = 5
ENDIF
IF rand_num >= 666 .AND. rand_num <= 999
    counter = 6
ENDIF
ELSE
    counter = m_len_row
ENDIF
xrow = x[counter]
position = ASCAN(y,xrow)
ret_row = "row" + STR(position,1)
RETURN(ret_row)

```

Programski jezik: "C++", verzija 2.0, tvrtke Borland

```

/*
 * Rutina RANDNUM()
 * sintaksa poziva: rand_num = RANDNUM()
 */

#include "c:\clipper\ndef.h"
#include "c:\clipper\extend.h"
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
CLIPPER RANDNUM()
{
    int broj;
    randomize();
    broj = rand() % 1000;
    _retni(broj);
}

```

6.3. Rezultati simulacije

Podaci o radu sustava tijekom promatranog razdoblja (od 10:10 do 16:55) upisani su u bazu podataka na tvrdom disku kompjutera. Tu se za svakoga pojedinog putnika nalazi zabilježeno vrijeme kad je prišao šalteru registracije, kojemu je šalteru prišao, vrijeme između dvaju uzastopnih dolazaka, trajanje čekanja na usluživanje, trajanje usluživanja i ukupno zadržavanje u sustavu. Zbog ograničenosti prostora, ne možemo iznositi te podatke za svakog putnika (u ovom slučaju bilo ih je 529), nego ćemo dati samo pregled rezultata koji se odnose na funkcioniranje sustava u cjelini.

Minimalno trajanje usluživanja:	0,500 minuta
Maksimalno trajanje usluživanja:	4,000 minuta
Prosječno trajanje usluživanja:	1,170 minuta
Minimalno trajanje čekanja:	0,000 minuta
Maksimalno trajanje čekanja:	39,131 minuta
Prosječno trajanje čekanja:	1,876 minuta
Minimalno zadržavanje u sustavu:	0,500 minuta
Maksimalno trajanje zadržavanja u sustavu:	43,131 minuta
Prosječno trajanje zadržavanja u sustavu:	3,047 minuta

Broj putnika koji su prišli registraciji za:	let 1 = 80
	let 2 = 64
	let 3 = 80
	let 4 = 58
	let 5 = 64
	let 6 = 35
	let 7 = 74
	let 8 = 74
	ukupno = 529

Nakon što je simulacija ponovljena više puta, utvrdili smo da rezultati međusobno ne odstupaju znatno kad se radi o prosječnim vrijednostima trajanja usluge, čekanja i zadržavanja u sustavu. Međutim, kad se radi o ekstremnim vrijednostima (minimalno i maksimalno čekanje, minimalno i maksimalno trajanje usluge, minimalno i maksimalno zadržavanje u sustavu), situacija je drukčija. Tu su razlike rezultata pojedinih simulacija znatne. No, kako su za dimenzioniranje kapaciteta važnije prosječne vrijednosti, dakako uz ekstremne vrijednosti unutar razumnih granica, može se reći da bi tako dimenzioniran sustav, uz takvu značajku prometa, mogao osigurati zadovoljavajuću razinu usluge, ravnaajući se pritom prema preporučenim standardima.

Nakon dvadeset obavljenih simulacija najveće prosječno vrijeme čekanja nije premašivalo 4,5 minute. Bilo je doduše slučajeva maksimalnog čekanja, dulje od 45 minuta, ali to se dogodilo u svega nekoliko putnika od ukupnog broja putnika koji se kretao od 520 do 680.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju prethodno iznijete građe, opisa metode "Monte Carlo" i značajki rezultata kompjutorske simulacije, nameće se zaključak da je upravo takva vrst problema tehnologije zračnog prometa, kakav je problem dimenzioniranje kapaciteta i ustroja metode "Monte Carlo" ima puno opravdanje.

Matematički model za simulaciju, u obliku u kojem je predočen u ovom radu, nije praktično primjenljiv na neki konkretan slučaj, ali to nije ni bio cilj. Smisao ovog rada je

dokazati mogućnosti primjene metode "Monte Carlo" i postaviti principe za definiranje konkretnog postupka, čijom bi se daljnjom razradom i uz primjenu stvarnih statističkih podataka mogao dobiti praktično primjenljiv model za simulaciju.

SUMMARY

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF "MONTE CARLO" METHOD IN AIR TRANSPORT TECHNOLOGY

With respect to the characteristics of conventional methods for setting up the traffic/technological system in air transport and having in mind the very nature of these systems, the advantages of application of the Monte Carlo

method have been discussed to create the possibilities for a different high-quality approach to the issue.

LITERATURA

- [1] Ž. RADAČIĆ, I. SUIĆ: Tehnologija zračnog prometa. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1992.
- [2] S. PAVLIN: Unapređenje tehnologije prihvata i otpreme putnika i prtljage u zračnom prometu. Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1990.
- [3] A. ĐURAŠEVIĆ: Unapređenje proizvodnje. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1968.
- [4] E.P. BLOOM: The turbo C++ trilogy. Windcrest, Blue Ridge Summit, 1991.
- [5] S.J. STRALEY: Programming in Clipper. Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1988.

Nakon što je simulacija ponovljena više puta, utvrdili smo da rezultati međusobno ne odstupaju znatno kad se radi o prosječnim vrijednostima trajanja usluge, čekanja i zadržavanja u sustavu. Međutim, kad se radi o ekstremnim vrijednostima (minimalno i maksimalno čekanje, minimalno i maksimalno trajanje usluge, minimalno i maksimalno zadržavanje u sustavu), situacija je drugačija. Tu su razlike rezultata pojedinih simulacija znatne. Na, kako su za dimenzioniranje kapaciteta važnije prosječne vrijednosti, da- tako za ekstremne vrijednosti unutar razumnih granica, kao za ekstremne vrijednosti uopće razumnih granica, može se reći da bi tako dimenzioniran sustav, uz lakšu zadržanu prometa, mogao osigurati zadovoljavajuću razinu usluge, iako bi se pri tom prema preporučenim standardima.

Nakon dvadeset obavješnih simulacija najviše prosječ- no vrijeme čekanja nije prelazilo 4,2 minute. Bilo je dobije službena maksimalnog čekanja duže od 42 minu- te, ali to se dogodilo u svega nekoliko putnika od ukupnog broja putnika koji se kreću od 320 do 680.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju prethodno iznijete građe, opis metode "Monte Carlo" i značajki rezultata kompjutorske simulaci- je, nameće se zaključak da je upravo takva vrst problema tehnološki zračnog prometa, kakav je problem dimenzi- oniranja kapaciteta i ustroja metode "Monte Carlo" ima puno općenitije.

Matematički model za simulaciju, u obliku u kojem je predložen u ovom radu, nije praktično primjenljiv na neki konkretna slučaj, ali to nije ni bio cilj. Smisao ovog rada je

6.3. Rezultati simulacije

Podaci o radu sustava tijekom promatranog razdoblja (od 10:10 do 10:25) upisani su u bazu podataka na tvrdom disku kompjutora. Tu se za svako pojedinačno putnika nalazi zabilježeno vrijeme kad je prišao šalteru registracije, kojemu je šalteru prišao, vrijeme između dva uzastopnih dokazaka, trajanje čekanja na usluživanje, trajanje usluž- vanja i ukupno zadržavanje u sustavu. Zbog ograničenosti prostora, ne možemo iznositi te podatke za svako putnika (u ovom slučaju bio ih je 239), nego ćemo dati samo pregled rezultata koji se odnose na funkcioniranje sustava u cjelini.

Minimalno trajanje usluživanja:	0,300 minuta
Maksimalno trajanje usluživanja:	4,000 minuta
Prosječno trajanje usluživanja:	1,170 minuta
Minimalno trajanje čekanja:	0,000 minuta
Maksimalno trajanje čekanja:	39,131 minuta
Prosječno trajanje čekanja:	1,876 minuta
Minimalno zadržavanje u sustavu:	0,700 minuta
Maksimalno trajanje zadržavanja u sustavu:	43,171 minuta
Prosječno trajanje zadržavanja u sustavu:	3,047 minuta
Broj putnika koji su prišli registraciji za:	
let 1 = 80	
let 2 = 64	
let 3 = 80	
let 4 = 28	
let 5 = 64	
let 6 = 32	
let 7 = 74	
let 8 = 74	
ukupno = 239	