

Primjena simulacijskih modela pri izradi prometne analize

Deana Breški, Dražen Cvitanić, Petar Vukušić

Ključne riječi

prometna analiza, simulacijski modeli, CORSIM, gospodarska zona Podi, planirano stanje, varijante

Key words

traffic analysis, simulation models, CORSIM, Podi economic zone, planned situation, alternatives

Mots clés

analyse de trafic, modèles de simulation, CORSIM, zone économique de Podi, situation planifiée, alternatives

Ключевые слова

транспортный анализ, симуляционная модель, CORSIM, хозяйственная зона Поди, планируемое состояние, варианты

Schlüsselworte

Verkehrsanalyse, Simulationsmodelle, CORSIM, Wirtschaftszone Podi, planierter Zustand, Varianten

D. Breški, D. Cvitanić, P. Vukušić

Pregledni rad

Primjena simulacijskih modela pri izradi prometne analize

Opisan je metodološki pristup pri izradi prometne analize utjecaja planiranih zahvata u prostoru na odvijanje prometa u neposrednom okruženju. Prikazane su osnovne karakteristike simulacijskih modela kojima se procjenjuje kvaliteta odvijanja prometnih tokova. Dan je primjer prometne analize gospodarske zone Podi-zapad primjenom navedene metodologije, uz upotrebu simulacijskog modela CORSIM koji omogućuje određivanje kritičnih lokacija i usporedbu mogućih varijantnih rješenja.

D. Breški, D. Cvitanić, P. Vukušić

Subject review

Use of simulation models in traffic analysis

The methodological approach used in traffic analysis, and aimed at determining the influence of planned developments on the operation of traffic in the immediate vicinity of such developments, is described. Principal properties of simulation models used for estimating quality of traffic flow are presented. An example of traffic analysis conducted according to the above mentioned methodology, and involving the use of CORSIM simulation model for determining critical locations and comparing possible alternatives, is presented for the economic zone of Podi-West.

D. Breški, D. Cvitanić, P. Vukušić

Ouvrage de synthèse

Emploi des modèles de simulation dans l'analyse de trafic

L'approche méthodologique utilisée dans l'analyse de trafic, visant à déterminer l'influence de développements planifiés sur la circulation dans les environs immédiats de ces développements, est décrite. Les propriétés principales des modèles de simulation utilisés pour estimer la qualité de circulation sont présentées. Un exemple de l'analyse de trafic faite selon la méthodologie suscitée, impliquant l'emploi du modèle de simulation CORSIM pour déterminer les points critiques et comparer les alternatives possibles, est présenté pour la zone économique de Podi-Ouest.

Д. Брешки, Д. Цвитанич, П. Вукушич

Обзорная работа

Применение симуляционных моделей при выполнении транспортного анализа

Описан методологический подход при выполнении анализа влияния запланированных в пространстве работ на протекание движения в непосредственном окружении. Приведены основные характеристики симуляционных моделей, посредством которых производится оценка качества протекания транспортных потоков. Приведен пример транспортного анализа хозяйственной зоны Поди-запад с применением указанной методологии и использованием модели CORSIM, позволяющей установить нахождение критических мест и выполнить сравнение возможных вариантных решений.

D. Breški, D. Cvitanić, P. Vukušić

Übersichtsarbeit

Anwendung von Simulationsmodellen bei der Herstellung der Verkehrsanalyse

Beschrieben ist ein methodologischer Zutritt bei der Herstellung der Verkehrsanalyse des Einflusses planierter Eingriffe im Raum auf die Verkehrsverhältnisse in der unmittelbaren Umgebung. Dargestellt sind die Grundmerkmale der Simulationsmodelle mit denen die Qualität der Führung der Verkehrsströme abgeschätzt wird. Dargelegt ist das Beispiel der Verkehrsanalyse der Wirtschaftszone Podi - West durch Anwendung der angeführten Methodologie, mit Anwendung des Simulationsmodells CORSIM welches die Bestimmung kritischer Standorte und den Vergleich möglicher Variantenlösungen ermöglicht.

Autori: Dr. sc. **Deana Breški**, dipl. ing. građ.; dr. sc. **Dražen Cvitanić**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet; **Petar Vukušić**, dipl. ing. građ., Asfaltna cesta d.o.o., Split

1 Uvod

Osnovna svrha izrade prometne analize jest dati odgovor na pitanje hoće li i uolikoj mjeri pojedini planirani zahvat u prostoru utjecati na kvalitetu toka prometa u neposrednom okruženju. Navedeni zahvat u prostoru može biti gradnja novih ili prenamjena postojećih sadržaja, izgradnja novih dionica i raskrižja, kao i promjena načina regulacije i upravljanja prometnim tokovima. Na temelju prometne analize može se ustanoviti hoće li prometna mreža moći prihvatiti planiranu prometnu potražnju i, ako je to potrebno, predložiti mjere kojima se može postići zadovoljavajuća kvaliteta odvijanja prometnih tokova.

Najveći utjecaj na kvalitetu prometnih tokova ima projektno rješenje raskrižja u smislu geometrijskog oblika i načina regulacije prometa jer su upravo raskrižja lokacije gdje se stvaraju zagušenja i veći zastoji na cestovnoj mreži. Pri analizi i ocjeni funkcioniranja raskrižja primjenjuju se dva kriterija:

- stupanj zasićenosti i
- razina uslužnosti.

Stupanj zasićenosti predstavlja odnos prometne potražnje i propusne moći promatranog privoza raskrižja, dok se razina uslužnosti određuje na temelju prosječnog zakašnjenja vozila, tj. produljenja trajanja putovanja uzrokovano načinom kontrole raskrižja (semafor, znak stop i dr.).

Američka metoda za analizu propusne moći HCM2000 (*Highway Capacity Manual 2000*) [1], koja se prema Pravilniku [2] preporučuje za primjenu u Hrvatskoj, definira šest razina uslužnosti s obzirom na veličinu prosječnog zakašnjenja pojedinog vozila (tablica 1.). Smatra se da je za raskrižja prihvatljiva razina uslužnosti "C", a kao krajnje prihvatljiva uzima se razina uslužnosti "D".

Tablica 1. Razina uslužnosti raskrižja

Razina uslužnosti semaforiziranih raskrižja	Prosječno zakašnjenje (s/voz)	Razina uslužnosti nesemaforiziranih raskrižja	Prosječno zakašnjenje (s/voz)
A	0-10	A	0-10
B	>10-20	B	>10-15
C	>20-35	C	>15-25
D	>35-55	D	>25-35
E	>55-80	E	>35-50
F	>80	F	>50

Na temelju stupnja zasićenosti i razine uslužnosti mogu se utvrditi kritična mjesta na prometnoj mreži analiziranog područja, a zatim ispitati utjecaj različitih mjera (građevinskih, prometnih, tehničkih i/ili upravljačkih) za

poboljšanje stanja. Usporedbom rezultata pojedinih varijanti može se dati prijedlog za najpovoljnije rješenje.

U posljednjih desetak godina simulacije prometa računalom postale su jedan od važnijih alata koji omogućuju procjenu kvalitete prometnih tokova na pojedinim raskrižjima i dionicama te čitavoj cestovnoj mreži. Svrha je ovoga rada prikazati temeljnu metodu izrade prometne analize, zatim osnovne karakteristike simulacijskih modela i mogućnost primjene simulacijskog modela na jednom konkretnom primjeru prometne analize.

2 Metoda izrade prometne analize

Kada se radi o izgradnji novih sadržaja koji će producirati ili privući nova putovanja i time utjecati na prometne tokove, prometna bi analiza trebala sadržavati sljedeće [3, 4, 5]:

• Uvod

U ovom se dijelu opisuje problem koji uključuje planirani zahvat s definiranom namjenom, dispozicijom i površinom budućih građevina, postojeću plansku dokumentaciju, faze izgradnje, predloženi način pristupa do lokacije i način povezivanja na širu prometnu mrežu.

• Područje istraživanja

Potrebno je definirati prostorne i vremenske okvire istraživanja koji ovise o veličini i namjenama planirane izgradnje, a trebaju obuhvatiti sve dijelove prometnog sustava na koje može utjecati planirani zahvat.

• Analiza postojećeg stanja

Pri provođenju istraživanja kao osnovno polazište potrebno je utvrditi veličinu i raspodjelu postojećega prometnog opterećenja, zatim karakteristike postojeće prometne mreže, kao i lokalnih čimbenika koji utječu na tok prometa (gustoća stanovanja, navike vozača...). Uz postojeću prometnu mrežu potrebno je raspolagati podacima o predviđenim infrastrukturnim zahvatima na analiziranom području, tj. planiranim rekonstrukcijama, novim prometnicama i raskrižjima te načinu regulacije i usmjeravanja prometnih tokova.

• Prognoza prometa

Dodatna prometna opterećenja koja će se pojaviti kao posljedica planirane izgradnje na analiziranom području, predviđaju se na temelju četverofaznog modela prognoze putovanja. Faze navedenog četverofaznog modela jesu: stvaranje (generacija), razdioba (distribucija), izbor prijevoznog sredstva i pripisivanje putovanja, tj. raspodjela prometa na prometnu mrežu. Pri stvaranju (generacije) putovanja razlikuje se nastajanje (produkcija) i privlačenje (atrakcija) pojedine zone. Produkciji zone pripadaju putovanja nastala u pojedinoj zoni, a broj putovanja najviše ovisi o broju stanova, prosječnom broju vozila po kućanstvu i prosječnom dohotku kućanstva. Atrakcija odnosno broj privučenih putovanja u pojedinu

zonu prvenstveno ovisi o veličini i namjeni poslovnih prostora te broju radnih mjesta koji će privući putovanja producirana u okolnom području. U fazi distribucije procjenjuje se broj putovanja između pojedinih zona ovisno o produkciji i atrakciji pojedine zone. Zatim se prognozira načinska podjela putovanja odnosno izbor prometnog sredstva (osobni, javni,...), dok se u fazi pridjeljivanja putovanja procjenjuje broj vozila na pojedinim dionicama prometne mreže. Osim putovanja nastalih planiranom izgradnjom, potrebno je uzeti u obzir i povećanje prometa zbog faktora rasta naselja i stupnja motorizacije.

- **Analiza planiranog stanja**

Suma postojećeg i prognoziranog prometnog opterećenja čini planiranu prometnu potražnju na kraju planskog razdoblja za koje je potrebno provjeriti hoće li je postojeća i planirana prometna mreža moći prihvatiti uz zadovoljavajuću kvalitetu toka prometa odnosno prihvatljivu razinu uslužnosti. U ovom dijelu analiziraju se različite varijante s mjerama za poboljšanje stanja ako se za tim ukaže potreba.

- **Prijedlog rješenja**

Na temelju rezultata usporedbe pojedinih varijanti može se predložiti najpovoljnije rješenje.

3 Simulacijski modeli prometnog toka

Simulacijski se modeli mogu primijeniti u postupku planiranja, projektiranja, vrednovanja varijantnih rješenja, validaciji i kalibraciji novih analitičkih modela i raznim znanstvenim istraživanjima. Upotreba simulacijskih modela na istraživačkom i stručnom području otvara mogućnosti provjeravanja i vrednovanja novih načina u vođenju prometa te usporedbu varijantnih projektnih rješenja prije nego što se nedostaci novih rješenja odraze na terenu.

Za razliku od empirijskih i analitičkih modela koji su *deterministički*, što znači da za iste ulazne podatke uvijek daju isti izlazni rezultat, *simulacijski modeli* su stohastičke prirode, tj. za opisivanje toka prometa koriste se slučajnim varijablama odnosno razdiobama vjerojatnosti. Simulacijski se modeli koriste algoritmima s pomoću kojih definiraju prometni tok u prostoru i vremenu tako da modeliraju kretanje svakog vozila i njihovu međusobnu interakciju te se prometni pokazatelji potrebni za vrednovanje pojedinog rješenja "mjere" iz simuliranog toka. Uporabom slučajnih varijabli pri opisivanju pojedinih elemenata prometnog toka nastoji se što vjernije prikazati stvarne procese (npr. vrijeme dolaska vozila na raskrižje, brzina pojedinog vozila, karakteristike vozača, itd.).

Kod stohastičkih modela isti ulazni podaci ne daju isti izlazni rezultat upravo zbog slučajnih varijabli koje se primjenjuju u modelu na temelju definiranih razdioba

vjerojatnosti i generacije slučajnih brojeva. Stoga je potrebno napraviti određen broj ponavljanja simulacija s istim ulaznim podacima, a krajnji se rezultat dobije kao srednja vrijednost rezultata pojedine simulacije.

Uporabom jednadžbe slijeda vozila, uz primjenu jednadžbi jednoliko ubrzanog kretanja, može se za svako vozilo odrediti položaj, brzina i ubrzanje u svakom vremenskom trenutku, čime se definira trajektorija vozila. Trajektorija vodećeg vozila ovisi o graničnim vrijednostima parametara (brzine, ubrzanja i usporjenja) te o njoj ovise trajektorije vozila koji ga slijede. Podaci proračunani za svaki vremenski korak omogućavaju simulaciju kretanja vozila duž prometnica.

Dinamički prikaz prometnih tokova (animacija na ekranu) omogućava uvid u događanja na određenoj prometnoj mreži i za sadašnje i za planirano stanje. Tako je moguće unaprijed učinkovito pripremiti rješenja koja će osigurati povoljne uvjete za predviđeni rast prometa. Osim grafičkog prikaza, svi rezultati (mjere učinkovitosti) za pojedine dionice ili privoze dani su i u tabličnom obliku s odgovarajućim statističkim parametrima (srednja vrijednost, standardna devijacija, varijanca, i dr.).

Promjene u sustavu (brzina vozila, ubrzanje, stanje svjetlosnog signala itd.) temelje se na diskretizaciji vremena i proračunavaju se za određeni vremenski korak. Model prometne mreže definira se sustavom čvorova i veza gdje veza (link) predstavlja dionicu ceste ili ulice, a čvor (node) označava eventualnu promjenu geometrijskog oblika, raskrižje ili ulazno-izlaznu točku na mreži. Nakon unosa ulaznih podataka i provedene simulacije, kao izlazni rezultati dobiju se različite mjere učinkovitosti kao što su: prosječno zakašnjenje, prosječna duljina repa, maksimalna duljina repa, broj zaustavljanja, zakašnjenje zbog stajanja, prosječna brzina, količina emisije ispušnih plinova, prosječna potrošnja goriva i dr. Na temelju dobivenih rezultata može se ocijeniti funkcioniranje promatranog sustava, a ujedno dobiveni rezultati mogu poslužiti i kao temelj za daljnju optimalizaciju prometnih tokova tako da se svaka nova ideja i prijedlog rješenja mogu ispitati na modelu prije primjene na terenu.

U idućem poglavlju prikazana je svrsishodnost simulacijskih modela u okviru izrade prometne analize na primjeru analize gospodarske zone Podi-zapad. Ovdje je primijenjen programski paket TSIS 5.1 [6], odnosno njegov modul CORSIM koji se rabi za simulaciju prometnih tokova na izvangradskim ili ruralnim cestama i gradskim ulicama.

4 Prometna analiza gospodarske zone Podi-zapad

4.1 Opis problema

Gospodarska zona Podi nalazi se u općini Dugopolje i jedna je od većih poslovnih zona u Hrvatskoj. Prema



Slika 1. Pregledna situacija

geografskom položaju nalazi se na lokaciji udaljenoj 12 km od Splita i 14 km od Sinja, neposredno uz čvor Dugopolje na autocesti A1 Zagreb - Split. Državna cesta D1 (Zagreb-Sinja-Split) presijeca zonu Podi na dvije prostorno-gospodarske cjeline: zonu Podi-istok i zonu Podi-zapad. Radovi na izgradnji i realizaciji poslovne zone Podi započeli su prije desetak godina, i to na njezinu istočnom dijelu, tako da je danas na području zone Podi-istok izgrađen veći dio planirane prometne mreže i gospodarskih građevina.

Zona Podi-zapad nalazi se sjeverozapadno od državne ceste D1, na platou između čvora Dugopolje na autocesti A1 i trase državne ceste D1 (slika 1.).

Prema prostorno-planskoj dokumentaciji [7], [8], osnovna je namjena zone Podi-zapad gospodarska, tj. proizvodna i poslovna. Prema dostupnoj i izrađenoj projektno-tehničkoj dokumentaciji, na području zone Podi-zapad planirani su sljedeći sadržaji:

- trgovački centar Dalmatia Capitol Park (u daljnjem tekstu DCP) ukupne zakupne ploštine 58345 m²
- trgovački prodajni centar „Pevac“ zakupne ploštine 18800 m²
- Toyota centar za prodaju i servis vozila ploštine 3500 m²
- BMW centar za prodaju i servis vozila ploštine 2500 m²
- Tekstil-promet (skladište) ploštine 3000 m²

- Logističko-distributivni centar Konzum ukupne ploštine (skladište, uredski prostori i bazeni) 81725 m²
- akvapark (vodeni park) približne ploštine 75000 m²

Dispozicija pojedinih navedenih građevina shematski (markicom) prikazana je na slici 2. Planirane prometnice projektirane su na obodima građevinskih čestica pojedinih građevina, tako da na slici 2. vizualno označuju predviđene granice ukupne površine (građevina, parking, zelena površina, ...) budućih poslovnih korisnika.



Slika 2. Dispozicija planiranih sadržaja

Kako se ovdje radi o analizi utjecaja na promet koji će stvoriti planirani proizvodno-poslovni kompleks u zoni Podi-zapad, istraživanje kvalitete toka prometa ograničilo se na planiranu prometnu mrežu u ovoj zoni te na dio cestovne mreže u zoni Podi-istok na koju se vežu prometni tokovi kojima je izvor ili cilj zapadna poslovna zona. Nadalje, treba spomenuti da je analiza provedena za primarne prometnice u pojedinoj zoni, dok pojedini sekundarni ulazi/izlazi unutar zona nisu posebno analizirani.

4.2 Postojeće stanje

4.2.1 Cestovna mreža

Promatrajući cjelokupnu gospodarsku zonu Podi (područja istok i zapad), može se utvrditi da u širem okruženju postoje sljedeće kategorizirane ceste:

- autocesta A1 (Zagreb – Split – Dubrovnik)
- državna cesta D1 (Zagreb – Sinj – Split)
- županijska cesta Ž6260 (Dugopolje – Šestanovac)
- lokalna cesta L67076 (Dugopolje – Koprivno).

Čvorišta na koja se zahvat posredno i neposredno veže jesu:

- čvor Dugopolje (autocesta A1)
- čvor Podi (kružno raskrižje na državnoj cesti D1)
- čvor Bani (čvorište formirano uz benzinske postaje OMV).



Slika 3. Ulazi u zonu Podi-zapad

Za gospodarsku zonu Podi-zapad i njezino okruženje, planirana prometna mreža s pripadajućim raskrižjima utvrđena je na temelju izrađene projektne dokumentacije i prometnih rješenja (Trivium d.o.o.). Prometnim rješenjem definiran je i način toka prometa odnosno mogućnosti ulaza i izlaza iz zone Podi-zapad, s naglaskom na predviđene kolne ulaze i izlaze u trgovački centar DCP.

S obzirom na lokaciju same zone, u blizini čvorišta na autocesti, uz samu državnu cestu D1, na putanji tranzitnih tokova iz BiH te nedaleko od središta Splita, ulazi i izlazi u samu zonu Podi-zapad disperzirani su na više smjerova. Mogući pristupi (ulazi) u zonu Podi-zapad prikazani su na slici 3.:

- ulaz s autoceste - dvije mogućnosti
- ulaz s državne ceste D1 - pet mogućnosti, tri iz smjera Splita i dvije iz smjera Sinja

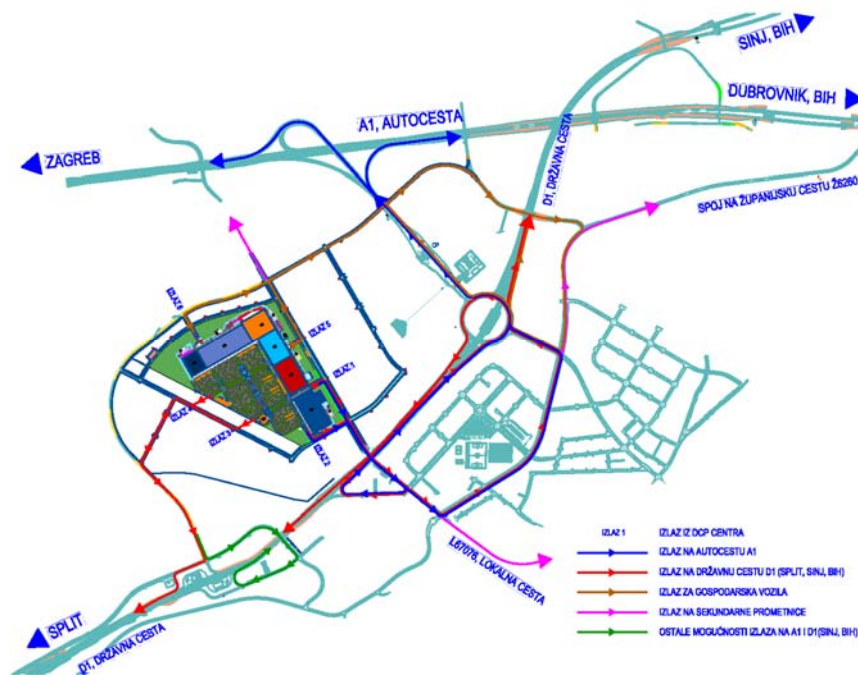
Predviđeni izlazi prikazani su na slici 4.:

- izlaz na autocestu - tri mogućnosti
- izlaz na državnu cestu D1 - pet mogućnosti, dvije za smjer Split u tri za smjer Sinj.

U okviru izrade projektnog rješenja prometne mreže trebalo je razdvojiti gospodarska vozila (kamione) i vozila kupaca (osobna vozila), što je riješeno obodnom servisnom cestom uz sjeverozapadni rub zone koja je predviđena za gospodarska vozila. Ulazi/izlazi za kupce u DCP označeni su brojevima 1-4, dok su ulazi/izlazi 5 i 6 za gospodarska vozila (slike 3. i 4.).

Iako je čitava prometna mreža zone Podi i analizirana u cjelini, posebna pozornost usmjerena je na 6 raskrižja (nesemafiziranih) kao potencijalnih mjesta pojavljivanja problema u prometu. Promatrana raskrižja prikazana su na slici 5.

Definiranje i raščlanjivanje mogućih ulaza i izlaza u zonu Podi-zapad sa šire prometne mreže bilo je nužno zbog dodjeljivanja prognoziranih putovanja koja su nastala kao posljedica izgradnje novih sadržaja na mrežu prometnica.



Slika 4. Izlaz iz zone Podi-zapad



Slika 5. Promatrana raskrižja (postojeća i planirana)

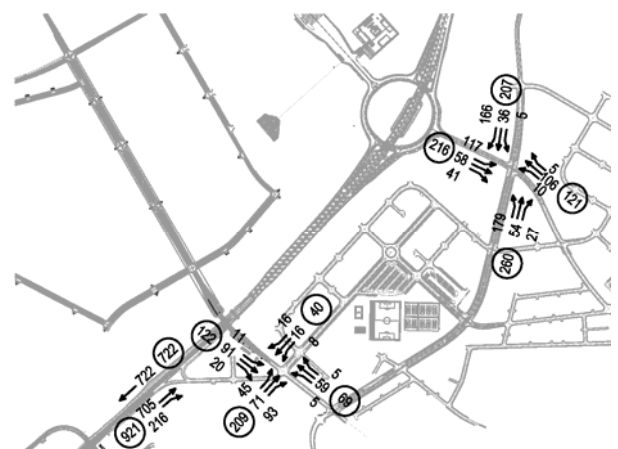
4.2.2 Podaci o prometu

Za potrebe ove analize provedeno je brojenje prometa na tri postojeća raskrižja u gospodarskoj zoni Podi – istok jer se zona Podi-zapad posredno preko ovih raskrižja povezuje na rotor Podi, a time i na autocestu te državnu cestu D1. Raskrižja na kojima je izvršeno brojenje prometa prikazana su na slici 6.

Brojenje je provedeno radnim danom u trajanju od 8.00 do 20.00 sati u povoljnim vremenskim prilikama. Za usporedbu odnosa radni dan – subota obavljeno je dodatno brojenje subotom u trajanju od tri sata. Osim ukupnog opterećenja utvrđena je raspodjela po pojedinim smje-



Slika 6. Raskrižja R1, R2 i R3 na kojima je izvršeno brojenje prometa



Slika 7. Postojeće opterećenje u vršnom satu

rovima, kao i struktura prometnog toka tako da su posebno evidentirani autobusi i teretna vozila za svaki smjer pojedinog privoza raskrižja. Postojeće prometno opterećenje u vršnom satu prikazano je na slici 7.

Analiza raskrižja za koja je provedeno brojenje prometa upućivala je na visoku razinu uslužnosti u sadašnjim uvjetima, što se i očekivalo s obzirom na geometriju raskrižja i pripadajuće prometno opterećenje.

Budući da je najveći dio planiranih sadržaja namijenjen trgovačkim centrima te poznavajući navike lokalnog stanovništva, kao vršno razdoblje za provođenje analize prometnih tokova izabran je poslijepodnevni vršni sat subotom.

Tablica 2. Prognozirani broj putovanja prema novim namjenama

PLANIRANI SADRŽAJ	ZAVISNA VARIJABLA	VELIČINA	UKUPAN BROJ GENERIRANIH PUTOVANJA	PUTOVANJA NAKON INTERNE REDUKCIJE	ULAZ	IZLAZ	ULAZ	IZLAZ
DCP	zakupna površina	58354	1856	1392	52%	48%	724	668
Pevec	zakupna površina	18800	889	667	52%	48%	347	320
Konzum	broj zaposlenih	400	133	80	59%	41%	47	32
Toyota	ukupna površina	3500	65	22	45%	55%	10	12
BMW	ukupna površina	2500	48	16	45%	55%	7	9
UKUPNO							1135	1041

Kako je brojenje prometa provedeno radnim danom u veljači, kao prvi korak načinjena je korekcija postojećeg opterećenja u odnosu prema prometnom opterećenju subotom. Osim toga, ulazi u zonu povećani su i s obzirom na veljaču koja (prema istraživanjima iz literature [9]) ima najmanji broj odlazaka u kupovinu u odnosu prema ostalim mjesecima u godini. Povećanje s obzirom na veljaču iznosi 28 %. Budući da su sadržaji u istočnoj zoni većim dijelom (oko 60 % -65 %) proizvodno-servisni, a ne trgovački, pretpostavljeno je da prometna opterećenja ne odstupaju toliko u odnosu na ostale mjesece. Iz tog razloga u postupku prognoze prometa nije dodatno uzet u obzir faktor rasta naselja i stupnja motorizacije.

4.3 Prognoza prometa

Na temelju podataka o namjenama površina, proveden je postupak kratkoročnoga prometnog planiranja koji je kao rezultat dao nova, dodatna prometna opterećenja na području istraživanja. Ovdje je primijenjen trofazni model prognoze prometa, tj. nije provedena načinska podjela putovanja već je pretpostavljen prijevoz osobnim vozilima.

4.3.1 Generiranje putovanja

Stvaranje (generacija) novih putovanja za planirane sadržaje u zoni Podi-zapad utvrđeno je na temelju faktora generiranja putovanja prema literaturi „Trip Generation“ [9].

Budući da u poslovnoj zoni Podi-zapad nisu predviđene stambene jedinice koje bi producirale putovanja, prognoza je provedena na temelju privlačnosti pojedinih sadržaja odnosno privlačenja putovanja nastalih izvan zone obuhvata s obzirom na namjenu prostora.

Na temelju jednog ovisnog podatka (ukupna ploština, veličina zakupne ploštine, broj zaposlenih) definiran je broj privučenih putovanja ovisno o namjeni prostora za koju se određuje prognoza prometa (autosalon, trgovački centar, skladište).

S obzirom da su podaci u literaturi o generiranim putovanjima nastali na temelju mnogobrojnih istraživanja

provedenih u SAD-u, dobivene vrijednosti privučenih putovanja za nove sadržaje smanjene su 35 % zbog razlike u stupnju motorizacije u SAD-u i Hrvatskoj.

Kod prognoziranih putovanja za trgovačke centre DCP i Pevec pretpostavljeno je daljnje smanjenje od 25 % koji predstavljaju zajedničke posjetitelje za oba centra. Naime, kod zona koje imaju više sadržaja uvijek se predviđa određen broj putovanja unutar same zone, tj. jednim dolaskom u zonu posjeti se više sadržaja [3]. Broj generiranih putovanja za auto- salone smanjen je na 1/3 zbog razlike u broju servisnih mjesta za analizirane salone i podataka iz literature [9]. Gospodarska vozila koja generiraju skladišni prostori služiti će se obodnom cestom kojom je promet najmanji subotom poslijepodne.

Planirani akvapark (vodeni park) radit će 3-4 mjeseca tijekom ljetnog razdoblja s manjom frekvencijom dolazaka i odlazaka u satu jer je uobičajen odlazak na dulje razdoblje. Budući da je u ljetnom razdoblju donekle smanjen odlazak u trgovačke centre u analiziranom vršnom satu (već se ide kasnije) te općenito ima manje kupaca ljeti, pretpostavlja se da će se ova prometna opterećenja kompenzirati.

Prema svemu navedenom predviđeni broj dodatnih putovanja nastalih zbog novih sadržaja prikazan je u tablici 2.

4.3.2 Razdioba (distribucija) putovanja

Distribucija dodatnih putovanja izrađena je na temelju relativnih produkcija vanjskih zona, odnosno proporcionalno gustoći stanovništva okolnih područja koja gravitiraju ovoj zoni te sadašnjoj raspodjeli dolazaka i odlazaka iz različitih smjerova. Mogući su dolasci u zonu iz smjera Splita, iz smjera Sinja, iz smjera Trilja i BiH te s autoceste.

S obzirom na broj stanovnika pojedinih područja koji će biti privučeni u ovu zonu, pretpostavljena je sljedeća raspodjela prognoziranih putovanja (isti se odnos rabio za ulaz i izlaz iz zone) :

- iz smjera Splita i okolnih gradova i općina – 70 %
- s autoceste A1 – 10 %
- iz smjera Sinja i Trilja – 20 % (50% iz smjera Sinja, 50 % iz smjera Trilja).

4.3.3 Pridjeljivanje putovanja

Pripisivanje dodatnih putovanja, tj. opterećivanje mreže te raspodjela prometa na ceste promatranog područja, izrađeno je ručno te provjereno softverom TSIS 5.1.

U obzir su uzeti svi mogući pravci ulaza i izlaza u zonu Podi-zapad koji su navedeni u poglavlju 4.2.1 i prikazani na slikama 3. i 4. Pridjeljivanje je obavljeno po principu najkraćeg puta, najveće brzine sa što manje prepletanja tokova te manjeg čekanja. Zbrajanjem postojećih prometnih opterećenja i novostvorenih putovanja na privozima raskrižja te ulazima i izlazima na promatranj cestovnoj mreži prometnica stvorena je temeljna podloga za provođenje simulacije prometa (slika 8.).



Slika 8. Planirano prometno opterećenje

4.4 Planirano stanje

Prednost simulacijskih modela u odnosu prema analitičkim jest što se raskrižja analiziraju kao dinamički niz, čime se dobiva uvid u interakciju susjednih raskrižja na čitavoj mreži. Prometna opterećenja unose se na ulazima u mrežu, njima se mreža puni, a na privozima pojedinih raskrižja unosi se razdioba po pojedinim manevrima kretanja te način kanaliziranja tokova i regulacije prometa.

Modelirana mreža u CORSIM-u (na principu čvorova i veza) prikazana je na slici 9.



Slika 9. Modelirana mreža prometnica za zonu Podi

Kod svih prometnih analiza polazi se od postojećeg stanja prometa i cesta te se zatim analiziraju varijante. Zbog stohastičkih karakteristika simulacijskog modela, za svaku analiziranu varijantu provedeno je po 10 simulacija kako bi se dobila prosječna vrijednost pojedinih prometnih pokazatelja, u prvom redu prosječnog zakašnjenja po vozilu koje se koristi za definiranje razine uslužnosti.

Prva analizirana varijanta obuhvaćala je postojeće stanje geometrijskog oblika analiziranih raskrižja i regulacije prometa te planirano prometno opterećenje prema raspodjeli, kako je navedeno u poglavlju 4.3.3. Rezultati provedenih simulacija dali su dobar uvid u kvalitetu prometnih tokova na čitavoj promatranj mreži.

Raskrižja R4 (ulaz u DCP) i R5 (ulaz za Pevec) na lokalnoj cesti L67076 funkcioniraju s visokom razinom uslužnosti (A i B) te se ne pojavljuju problemi u prometu. Pretpostavka jest da se sva gospodarska vozila koriste obodnom cestom i tako ne opterećuju ova raskrižja.

Raskrižje R3 (izlaz na rotor Podi) svojim geometrijskim oblikom (dodatni trakovi, primijenjeni radijusi, preglednost) zadovoljava predviđeno prometno opterećenje.

Problem nastaje kod raskrižja R2 odnosno priključka iz smjera Splita na L 67076. Naime, prema postojećem stanju toka prometa većina vozila iz smjera Splita koja ulazi u zonu Podi koristi se ovim priključkom, a isto je predviđeno i za planirano opterećenje jer predstavlja najkraći put do zone Podi-zapad.

U sadašnjem stanju radi se o četverokrakom raskrižju s jednim prometnim trakom na svakom privozu. Smjer iz Splita je na sporednom privozu s obzirom na današnji način regulacije prometa. Budući da se u planiranom

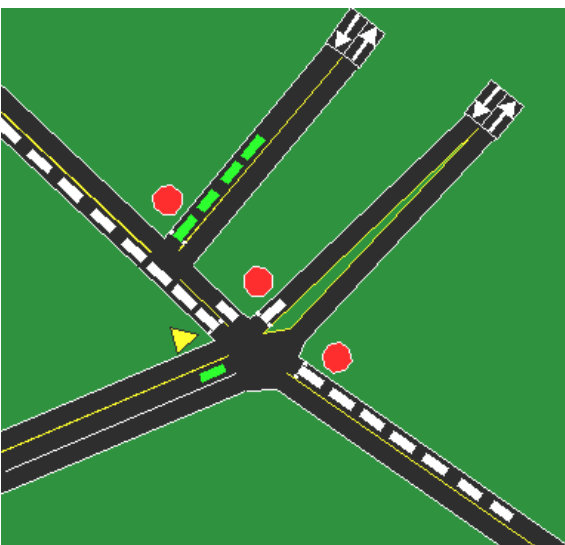
stanju pojavljuje veliki broj lijevih skretača, očekuju se zastoji i velika zakašnjenja na ovom privozu. Prema provedenim simulacijama prometna potražnja premašuje kapacitet privoza, zakašnjenja su oko 75 s/voz, što je razina uslužnosti F i stvara se kolona vozila koja se s vremenom povećava.

Druga analizirana varijanta sadržavala je dodatni lijevi trak na ovom privozu gdje nastaju zagušenja, uz zadržavanje postojeće regulacije prometa, odnosno sporedan je krak raskrižja iz smjera Splita. Dodatni trak omogućio je stvaranje nešto manjih kolona i pražnjenje desnih skretača, no i dalje su zakašnjenja oko 35-40 sekundi po vozilu (razina uslužnosti E). Prikaz iz simulacije dan je na slici 10.



Slika 10. Varijanta s dodatnim trakom za lijeva skretanja iz smjera Splita

Kod *treće varijante* zadržan je prethodni geometrijski oblik raskrižja s dodatnim trakom za lijevo skretanje, no promijenjen je način regulacije tako da je prednost prolaska raskrižjem dana vozilima iz smjera Splita (slika 11.).



Slika 11. Varijanta s dodatnim trakom i novom regulacijom toka prometa

Takvom regulacijom vozila koja iz zapadne zone idu prema Dugopolju moraju propustiti vozila iz smjera Splita pa se stvaraju kolone na ovom privozu. Prometnu situaciju dodatno otežavaju vozila s parkinga koja se nastoje uključiti u postojeću kolonu.

Četvrta analizirana varijanta kojom se nastojalo smanjiti zakašnjenja i stvorene kolone sadržavala je dodatni lijevi trak za vozila iz smjera Splita i dodatni desni trak na privozu iz zone Podi-zapad, zadržavajući istu prometnu regulaciju (prednost vozilima iz Splita). Takvim su rješenjem svi privozi funkcionirali sa zadovoljavajućom razinom uslužnosti, a i izlaz s parkinga u blizini raskrižja bio je puno lakši jer nije bilo stvorenih dugih kolona.

Kao *peta varijanta* analizirala se situacija s dodatnim trakovima i semaforizacijom raskrižja. Kod postavljene svjetlosne signalizacije na svim privozima stvaraju se kolone kad je crveno svjetlo, koje se potom isprazne kad je zelena faza. Dakle, u prosjeku ni jedno vozilo ne čeka dulje od jednog ciklusa. Ovdje se teškoće pojavljuju pri izlazu s parkinga, a kao rješenje moguće je premještanje ulaza/izlaza na parking.

Sve navedene varijante provedene su za razdiobu i dodjelu na mrežu koja je navedena u prognozi prometa, odnosno od ukupnog broja vozila koja dolaze iz smjera Splita njih 20 % koristilo se ulazom Bani (zelena linija na slici 3.), 65 % ulazom preko raskrižja R2, a 15 % ulazom u zonu preko rotora Podi.

Ulaz Bani je prvi ulaz na trajektoriji vozila iz smjera Splita za zonu Podi-zapad pa se, primjenom odgovarajuće vertikalne signalizacije, promet može usmjeriti na ovaj ulaz. Stoga je za *šestu varijantu* napravljena nova preraspodjela generiranih putovanja na način da je 50 % vozila koja dolaze iz smjera Splita u zapadnu zonu ušlo preko nadvožnjaka Bani, a 35 % preko raskrižja R2. Rotorom Podi i dalje se koristilo 15 % vozača iz smjera Splita. Takvom disperzijom prometnih tokova rasteretilo se najopterećenije raskrižje R2, pa vozila iz smjera Splita koja skreću lijevo imaju zadovoljavajuću razinu uslužnosti i za postojeći geometrijski oblik i način regulacije tokova u raskrižju.

5 Zaključak

Stohastički mikroskopski simulacijski modeli koristan su „alat“ za analizu funkcioniranja gradske ili izvangradske prometne mreže. Za razliku od analitičkih modela koji mogu opisivati funkcioniranje pojedinih izoliranih dijelova cestovne mreže, simulacijski modeli istodobno opisuju funkcioniranje čitave prometne mreže te osim mnoštva brojevanih podataka korisniku omogućuju i vizualizaciju toka prometa. Ovdje je na konkretnom primjeru prometne analize gospodarske zone Podi-zapad opi-

san metodološki pristup pri izradi prometne analize te je prikazana korisnost simulacijskog modela pri procjeni utjecaja izgradnje novih sadržaja na prometne tokove u neposrednom okruženju. Nakon analize postojećeg stanja i provedbe postupka prognoze prometa primjenom simulacijskog modela, na temelju brojčanih podataka i animacije prometnih tokova, mogu se utvrditi lokacije

na mreži gdje se očekuju problemi u planiranom stanju. Za poboljšanje kvalitete prometnog toka postoje različite mjere što rezultira određenim brojem varijantnih građevinskih i/ili prometnih rješenja. Na temelju usporedbe pojedinih prometnih pokazatelja moguće je utvrditi učinkovitost pojedine varijante prije same primjene u prostoru te dati prijedlog za najpovoljnije projektno rješenje.

LITERATURA

- [1] Transportation Research Board: *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington DC, 2000.
- [2] *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa*, Narodne novine br. 110, 2001.
- [3] Institute of Transportation Engineers (ITE): *Transportation Impact Analyses for Site Development*, Washington, 2005.
- [4] *Guidance on Transport Assessment*, www.dft.gov.uk, Department for Transport, London, 2007.
- [5] Padjen, J.: *Osnove prometnog planiranja*, Informator, Zagreb, 1986.
- [6] FHWA Office of Operations Research, Development and Technology, Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, *TSIS-Traffic Software Integrated System, Version 5.1*, ITT Industries, Inc., Systems Division, Colorado Springs, 2003.
- [7] *Prostorni plan Županije splitsko-dalmatinske*, Županija splitsko-dalmatinska, 2007.
- [8] *Izmjene i dopune urbanističkog plana uređenja proizvodno-poslovne zone Podi-zapad*, Arching.d.o.o., 2007.
- [9] Institute of Transportation Engineers (ITE): *Trip Generation*, 7th Edition, Washington, 2003.