

mr. **Dragančo Volčeski**, diplomirani inženjer građevinstva  
Građevinski institut Makedonija A.D. Skopje

doc. dr. **Slobodan Ognjenović**, diplomirani inženjer građevinstva  
Građevinski fakultet u Skopju

mr. **Dejan Metikoš**, diplomirani inženjer građevinstva  
Građevinski institut Makedonija A.D. Skopje

## **ANALIZA SUSTAVA PROMETNE CIRKULACIJE U SREDIŠNJIM ZONAMA GRADA SKOPJA**

### **1. Uvod**

Planiranje transporta i uređenje ulične mreže proces je određivanja budućih politika, ciljeva, ulaganja i dizajna za buduće potrebe za kretanjem ljudi i dobara do njihovih odredišta. Prostorno uređenje grada zasniva se na planskom razmještaju urbanih sadržaja poput prebivališta, radnih djelatnosti, administracije, trgovine, usluga, školovanja, zdravstva, športa, rekreacije itd. Premda se dio tih sadržaja treba i može prostorno kombinirati (pr. prebivalište i osnovna škola) najveći broj urbanih funkcija i djelatnosti teže koncentraciji u jednom prostoru, povećavajući potrebu za prometnim povezivanjem te u cjelini osigurujući potrebnu razinu pristupnosti korisnicima u gravitacijskom području. Uloga prometa jeste osigurati neophodnu komunikaciju među prostorno odvojenim urbanim sadržajima te, prije svega gradskom cestovnom mrežom, osigurati prostor funkciji i razvoju izgrađenih i planiranih urbanih sadržaja. Time grad i promet stvaraju jedinstvene planersko-projektantske zadatke, a sve su to aktivnosti na području planiranja i projektiranja gradskih prometnica, kao sastavni i bitni dio urbanističkog planiranja.

Strukturu gradske mreže određuju fizikalna lokacija ulica i raspodjela putovanja iz početnih do odredišnih zona putovanja. Ova je kombinacija jedinstvena kod svake mreže, ali se ipak razmišljanje i strategija njezina razvoja temelje na istom osnovu, pa postoje mnogi gradovi sa sličnom mrežom gradskih ulica. Stoga se gradske ulične mreže dijele na više kategorija, a zatim se za svaku kategoriju izrađuje primjereni raspored gradskih prometnica koji se raznim metodama i sustavima unapređuje kako bi se postigao maksimalni učinak u funkciji korisnika prometa. Maksimalni učinak u smislu nesmetanog odvijanja prometa, manjeg prijeđenog rastojanja, umanjenih troškova i vremena putovanja.

Otud je **izazov** prilikom planiranja i unapređenja gradskih mreža proučiti načela i sredstva koja mogu imati pozitivan učinak u ostvarenju potrebe korisnika za putovanjem, te ih provesti u praksi i odrediti koji cirkulacijski sustav ulične mreže valja primijeniti kako bi se ista smatrala optimalnom.

## 2. Cirkulacijski sustavi

**Cirkulacijski sustav mreže određuje nekoliko mogućih pravaca, tj umeće ograničenja. Time cirkulacijski sustav ne mijenja fizikalni oblik mreže** što znači da nema potrebe za rušenjem postojećih cesti, mostova i tunela i izgradnjom novih. Ali, sustav cirkulacije ipak mijenja značajke cesti i križanja. U praksi se ovo ostvaruje pomoću prometnih oznaka, prilagodbe broja prometnih traka ili postavljanjem određenih zapreka na površinu ceste.

Na određenoj mreži se mogu primijeniti različiti cirkulacijski sustavi, koji svakako nose različita rješenja mreže. **Stoga se ovdje postavlja pitanje da li je cirkulacijski sustav primjeren za postizanje optimalnog rješenja, koja svakako ovise o osnovnoj mreži?** Zatim, mreža također mora ispuniti i prethodno određene kriterije odlučujuće u odabiru primjerenog cirkulacijskog sustava. Kriteriji poput kraćeg trajanja putovanja, sigurnosti, pouzdanosti, smanjenja gužvi i sve ono što bi poboljšalo stanje prometne mreže u funkciji poboljšanja uvjeta za odvijanje prometa.

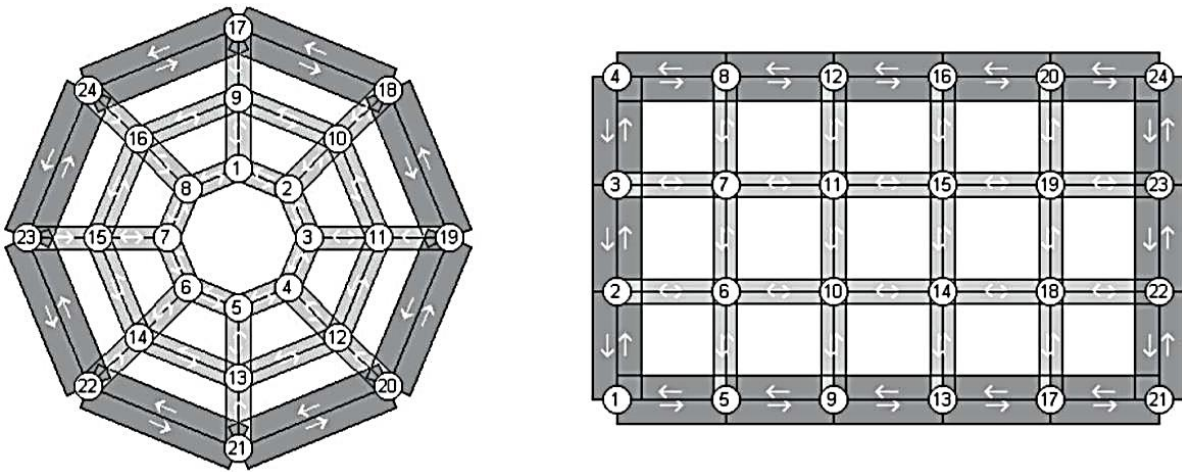
Predstavljeni su standardni tipovi cirkulacijskih sustava. Slučajna (random) cirkulacija ne sadrži nikakva ograničenja ili modifikacije značajki mreže. Drugi sustav gradi hijerarhiju u mreži te mijenja kapacitet određenih poveznica. Treći sustav uklanja prometne pravce i uvodi zabranu skretanja ulijevo.

### 2.1. Slučajna cirkulacija

Slučajna cirkulacija ne podrazumijeva nikakva ograničenja ili promjene značajki mreže. Stoga se slučajna cirkulacija može shvatiti i kako „nulta“ naseobina te rabiti kao referenca za slijedeća tri cirkulacijska sustava.

### 2.2. Hijerarhija

Prvi metod usmjeravanja korisnika u prometu na određeni smjer jeste uvođenjem hijerarhije u mrežu. Ceste više razine u hijerarhiji većeg su kapaciteta brzine kretanja. Ovom se cirkulacijom rasterećuje središte mreže te promet prebacuje na mrežne rubove gdje kapacitet nije iskorišten. Uvodi se radi veće rasprostranjenosti prometa a time i rasterećenja središnjih zona naselja. Ovo se tvrđenje temelji na urbanoj mreži sa obilaznicom, koji je oblik često rabljen u postojećim gradovima. Pretpostavlja se da je to obilaznica s dvije trake i maksimalnom brzinom od 90 km/h u oba pravca. Hijerarhija dvaju osnovnih tipova gradskih mreža, radijalno-kružne i raster mreže prikazana je na slici 2-1.



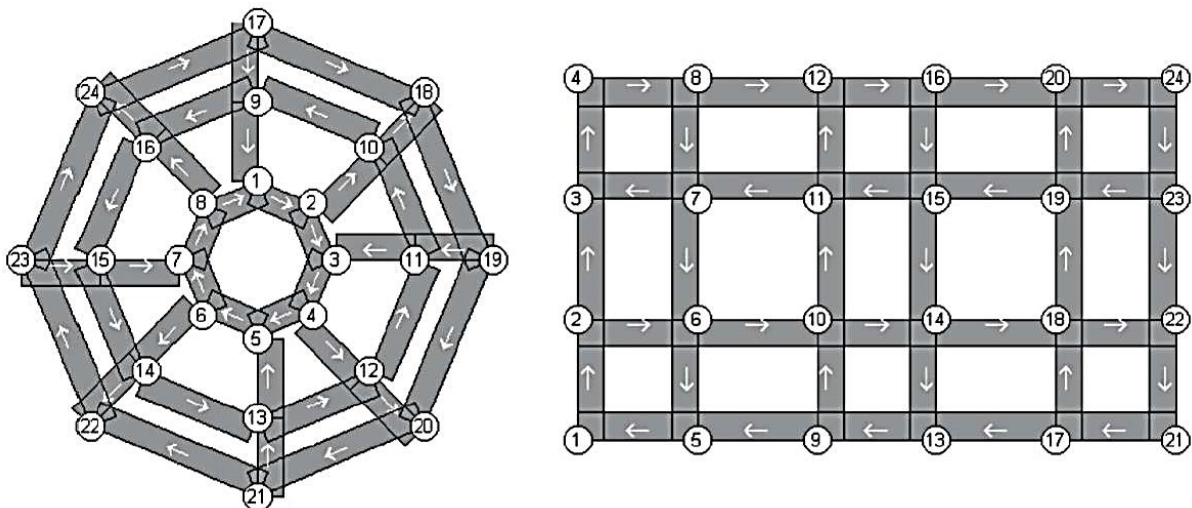
Slika 2-1 Primijenjena hijerarhija kod radijalno-kružne mreže i raster mreže – vlastiti izvor

### 2.3. Jednosmjerno kretanje

Uglavnom je usredotočeno na minimiziranju konflikata. Tako način organizacije prometa teži smanjenju broja konflikata u mreži a time i zakašnjenja i zastoja na križanjima.

Broj konfliktnih točaka kod jednosmjernog prometa bitno je smanjen u usporedbi sa slučajnom cirkulacijom. Križanje smanjuje broj konfliktnih točaka, križanja od 16 na 1 i broj konfliktnih točaka, ulaza od 8 na 4. Prema tome kontrola prometa jednosmjernim kretanjem dovodi do kraćeg vremena čekanja na križanjima.

Sustav cirkulacije jednosmjernim prometom podešen je tako da sve točke (čvorovi) mreže ostaju dostupne. S obzirom na to da promet na poveznici može



Slika 2-2 Jednosmjerno kretanje kod radijalno-kružne i raster mreže – vlastiti izvor

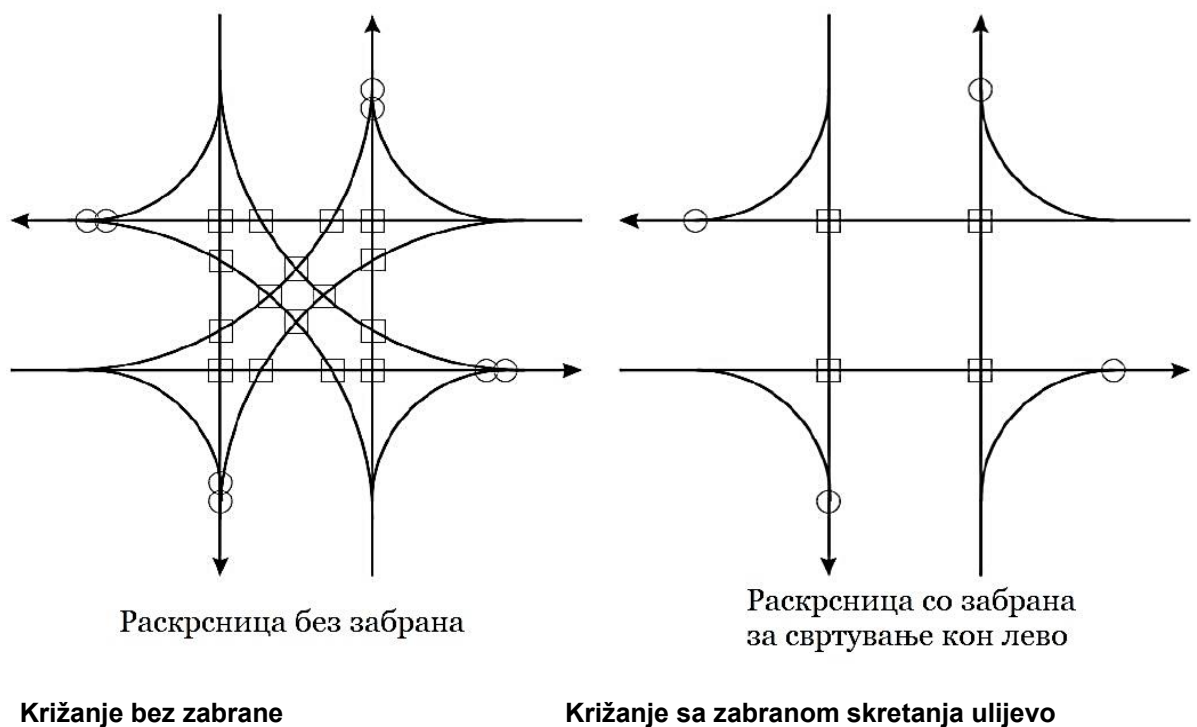
biti samo u jednom smjeru, on se može odvijati po svim trakama dostupnim na poveznici.

Kapacitet suprotne strane, koja je zabranjena, svodi se na nulu, dok je kapacitet u smjeru kretanja udvojen što znači da ukušni kapacitet mreže ostaje nepromijenjen.

Slika 2-2 prikazuje cirkulacijski sustav s jednosmjernim prometom na radijalno-kružnoj mreži i na raster mreži.

## 2.4. Zabrana skretanja ulijevo

Najnoviji (posljednji) cirkulacijski sustavi temelje se na zabrani skretanja ulijevo kod svakog križanja. Ustvari, skretanje ulijevo presijeca se s drugim strujama (putanjama). Kao i kod jednosmjernih kretanja eliminirat će se određeni tijekovi na jednom križanju, čime će se smanjiti broj konfliktnih točaka i pojednostaviti svjetlosna signalizacija u cilju jednostavnijeg prelaska. Kod križanja sa zabranom skretanja ulijevo postoje samo četiri križajuće konfliktno točke u priključenjima, tj kod skretanja udesno. Dvije faze su dovoljne za rješenje i izbjegavanje konflikata. Ovo je prikazano na Slici 2-3.



Slika 2-3 Konfliktno točke kod križanja bez ograničenja i križanja sa zabranom skretanja ulijevo – vlastiti izvor

## 2.5. Kombinacije cirkulacijskih sustava

Mogu se primijeniti kombinacije opisanih cirkulacijskih sustava. Postoji ukupno šest mogućih kombinacija:

- Slučajna cirkulacija
- Zabrana skretanja ulijevo
- Jednosmjerni promet
- Hijerarhija
- Zabrana skretanja ulijevo i hijerarhija
- Jednosmjerni promet i hijerarhija

Primjećujemo da se cirkulacijski sustav sa zabranom skretanja ulijevo ne može kombinirati s jednosmjernim prometom. To je stoga što oba cirkulacijska sustava ograničuju broj križanja i nisu kompatibilna kada je potrebno da svi čvorovi budu dostupni.

### 3. Parametri procjene naselja

Mreža mora ispuniti utvrđene kriterije odlučujuće kod odabira primjerenog cirkulacijskog sustava. Kriteriji poput skraćenog vremena putovanja, sigurnosti, pouzdanosti, smanjenja zastoja i sve ono što bi poboljšalo stanje prometne mreže u funkciji poboljšanja uvjeta za odvijanje prometa.

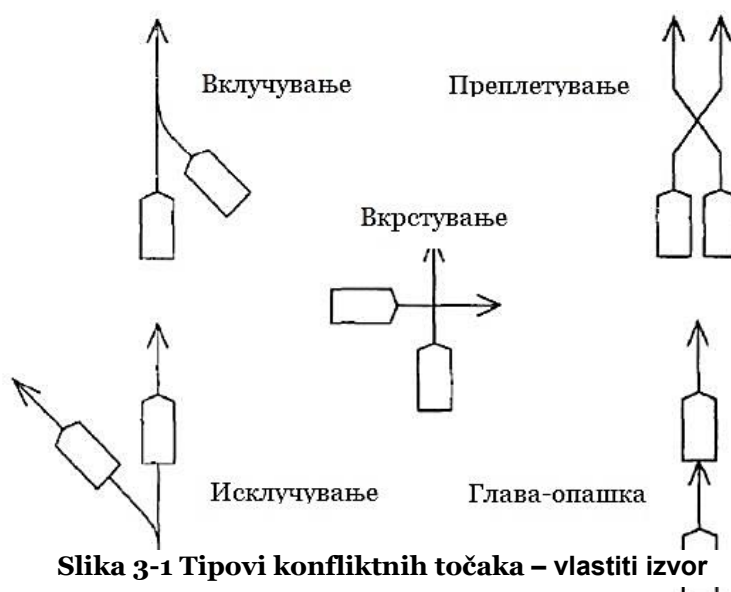
U literaturi se pominje nekoliko mogućih parametara kojima se mjeri kvaliteta rješenja. Ipak, svaki studij proučava naseljeno mjesto s različitih motrišta i u različitim omjerima. Ti su parametri, između ostalih, slijedeći: otpor, broj konflikata, smjer kretanja kao čimbenik, ukupni broj kružnih kretanja, nepovezanost. Performanse nakon uklanjanja veza i gubitak vremena kao čimbenik.

#### 3.1. Otpor

Sa motrišta korisnika ulične mreže, teorijski gledano, postoji tzv. otpor putovanja koji je najčešće izražen odstojanjima, vremenom putovanja ili tzv. općom cijenom transporta kod putovanja od početne zone do odredišta ili krajnje zone putovanja i koji je jako bitan i utječe na ponašanje korisnika mreže prilikom odabira rute kretanja.

#### 3.2. Konfliktne točke

Neophodno je da optimalno naselje uključi minimalni broj konflikata.



Uključenje

Preplitanje

Križanje

Isključenje

Glava - rep

### 3.3 Smjer kretanja kao čimbenik

Smjer kretanja kao čimbenik jeste odnos između prosječnog odstojanja po cirkularnom sustavu i prosječnog izravnog odstojanja. Prosječno izravno odstojanje, drugim riječima, prosječno je odstojanje zračnim putem između polazišta i odredišta. U jednoj mreži u kojoj su sve točka izravno povezane jedni drugima čimbenik puta jeste 1.

Najprije, smjer kretanja kao čimbenik ovisi o fizikalnoj strukturi mreže te je stoga prostorni parametar. Međutim, cirkulacijski sustav također može povećati smjer kretanja kao čimbenika kako bi isključio određena kretanja u mreži pri čemu korisnici prometnice trebaju tražiti alternativan (većeg odstojanja) smjer kretanja.

#### 3.3. Stabilnost

Stupanj do kojeg mreža može apsorbirati promet nakon otkazivanja jedne poveznice, iskazane povećanim vremenom putovanja i brojem dostupnih alternativnih smjerova kretanja, tj raspodjelom, daju sliku stabilnosti mreže. Tako se provjerava utjecaj incidenta ili aktivnosti prometnice na ukupno vrijeme putovanja i ukupno prijeđeno odstojanje.

Kod svake poveznice postoji povećanje ukupnog vremena putovanja i ukupnog prijeđenog odstojanja dane poveznice  $a$ . Ovo postotno povećanje imi smanjenje koliko dobro ili loše mreža može apsorbirati aktivnosti i incidente na ovoj poveznici. Nakon toga model uzima prosjek  $\mu$  ovih postotnih povećanja sa svih poveznica mreže, kako bi u cjelini procijenio robustnost mreže.

#### 3.4. Sigurnost

Sigurnost sustava vezana je uz vjerojatnost nezgoda. Sugurnost je obrnuto proporcionalna briju mogućih konflikata. Broj konfliktnih točaka u mreži dobar je pokazatelj sigurnosti naselja.

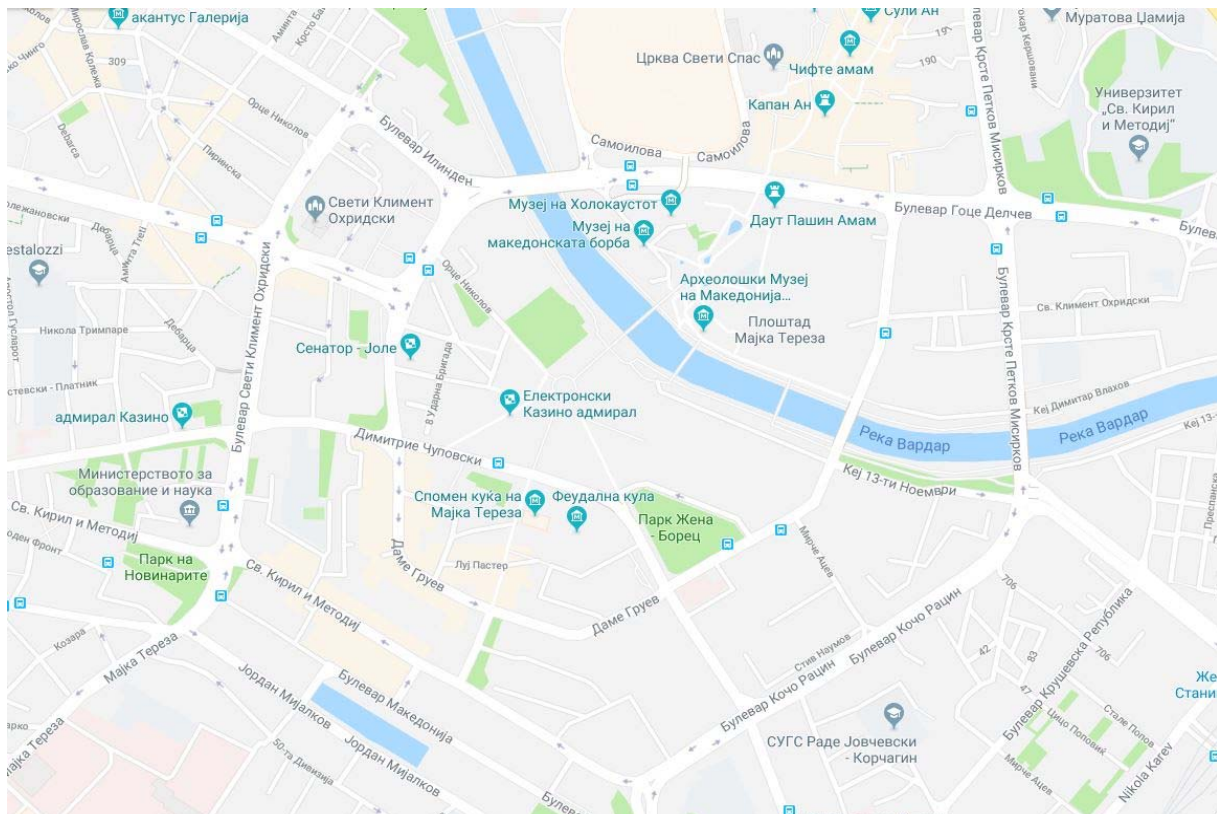
#### 3.5. Komfor

Kao dopuna stabilnosti i ukupnim performansama, svoju ulogu u naselju ima i komfor korisnika. Korisnici žele sustav cirkulacije s prirodnim i jednostavnim smjerovima. Stoga prijelaz sa jedne na drugu hijerarhijsku razinu doživljavaju neugodno.

Prirodnost naselja pokazuje koliko su najkraći smjerovi između dva različita odredišta jednostavniji, te pri tome koliko je korisnicima prometnice lako odabrati ih krećući se ka svom cilju. Jednostavni smjerovi sadrže koliko je moguće manje skretanja. Diskontinuitet izražava neugodnosti vezane uz prijelaz na različitu hijerarhijsku razinu.

#### 4. Analiza mreže iz centra grada Skopja

Kako bi se na realnom primjerku prikazao utjecaj cirkulacijskih sustava uzeta je središnja mreža prometnica i gradu Skopju, obuhvata prikazanog na slici 4.1.



Слика 4-1Улична мрежа од центарот на Град Скопје – google maps

Слика 4 – Мрежа улица из центра града Скопја – Google Maps

Kao što se sa slike može primijetiti, mreža je u svom obliku najbliža radijalno-kružnoj mreži od svih predstavljenih osnovnih mreža. Za razliku od osnovnih mreža, u ovom realnom primjerku poveznice i točke nemaju iste značajke. To znači da ulazni parametri, poput kapaciteta, brzine kretanja, broja traka, regulacija, smjerova kretanja i slično, nisu isti već ih treba odrediti posebice za svaki element mreže.

Analiza i procjena parametara urađena je PTV Visum softverom. Rezultati cirkulacijskih sustava se uvijek uspoređuju s rezultatima slučajne cirkulacije. U njoj nisu primijenjena nikakva ograničenja niti hijerarhije, te se stoga može nazvati „nultom“ cirkulacijom koja će biti referentnom. Rezultati drugih sustava izraženi su u odnosu na sustav slučajne cirkulacije, s iznimcima kada je navedeno drugačije.



#### 4.1. Ocjena cirkulacijskih sustava

Nakon analize rezultata, zamjetno je da se oni ne razlikuju u velikoj mjeri od onih kod dviju osnovnih mreža. Najveće su razlike u ukupnom vremenu putovanja i ukupnom prijeđenom odstojanju. Otud se može reći da utjecaj cirkulacijskih sustava ipak ovisi o tipu i obliku mreže.

- *Hijerarhija*

Primjena sustava hijerarhije utječe negativno na ukupno vrijeme putovanja kod ove mreže, ali omogućuje uravnoteženiju raspodjelu prometnih tijekova. Ona smanjuje ukupno prijeđeno odstojanje u odnosu na slučajnu cirkulaciju.

Učinak ovog cirkulacijskog sustava pozitivan je u odnosu na robustnost. U pogledu sigurnosti hijerarhija daje dobre rezultate u kombinaciji ili ne sa jednosmjernom cirkulacijom ili cirkulacijom sa zabranom skretanja ulijevo. Što se tiče podložnosti gužvama, primjena hijerarhije na ovoj mreži ne dovodi do velike podložnosti gužvi, ali su ipak uvjeti za to minimalno uvećani.

Što se udobnosti tiče, hijerarhija smanjuje broj skretanja. U hijerarhijskoj cirkulaciji, smjerovi prelaze preko nekoliko različitih razina, što rezultira problemima za korisnike ceste, posebice prilikom priključka sa niže na višu razinu.

Iz svega ovoga može se zaključiti da je učinak hijerarhije općenito pozitivan, uglavnom zbog uravnotežene raspodjele prometnih tijekova, isto kao i kod osnovnih mreža.

- *Jednosmjerni promet*

Utjecaj jednosmjernog cirkulacijskog sustava je negativan na osnovu gotovo svih parametara, osim ju smanjenju broja konfliktnih točaka.

Ukupno vrijeme putovanja povećava se kao i prijeđeno odstojanje i smjer kretanja kao čimbenik. Robustnost je i dalje jako mala uslijed malog broja alternativnih smjerova. Podložnost gužvi velika je uslijed skraćenog broja smjerova. Razina udobnosti jednosmjernog prometa također je niska uslijed udvojenog broja skretanja. Primjenom ovog sustava postoji i rizik blokiranja prometa.

Zaključak je da je jednosmjerni cirkulacijski sustav najslabiji na svim poljima.

##### *Zabrana skretanja ulijevo*

Cirkulacija sa zabranom skretanja ulijevo rezultira povećanjem ukupnog prijeđenog odstojanja i ukupnog vremena putovanja. Njezina primjena uzrokuje malo povećanje podložnosti prometnim gužvama i malo povećanje robustnosti.

Velika prednost sustava zabranom skretanja ulijevo je bitno smanjenje broja konfliktnih točaka na križanjima, što je vezano uz smanjenje broja prometnih nezgoda.

- *Postojeća cirkulacija u Skopju - Centar*

Iz analize ostalih cirkulacijskih sustava primijenjenih na ovoj mreži, dojmljivo je da svi ostali standardni sustavi povećavaju vrijeme putovanja. Otuda zaključak da



je, kako bi se skratilo vrijeme putovanja, na ovoj mreži potrebno kombinirati primijenjene sustave, ali samo na primjerenim dijelovima mreže.

Ovaj sustav skraćuje vrijeme putovanja. Premda je prijeđeno odstojanje veće u odnosu na nultu mrežu. Robustnost i sigurnost na visokoj su razini. Primijenjenim cirkulacijskim sustavom smanjuje se i podložnost gužvama, a neznatno se smanjuje i komfor u usporedbi sa slučajnom cirkulacijom.

Očekivano, performanse ovog sustava su najbolje u odnosu na ostale.

## 5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE ZA DALJA ISTRAŽIVANJA

Ova je analiza temelj planiranju prometa u gradskim sredinama danas. **U uvjetima gradova izgrađenih kada nitko nije razmišljao o ogromnom povećanju prometa i potrebi za prometnicama većeg kapaciteta, jedino što preostaje jeste maksimalno iskoristiti postojeći kapacitet ulične mreže.** Stoga je ponajprije potrebno gradsku mrežu optimizirati, a zatim razmišljati o mogućnostima povećanja kapaciteta njezinih sastavnica. Tako će se postići optimalna iskorištenost prostora i pravilan razvoj gradske prometne mreže.

Prilikom ocjene rezultata cirkulacijskih sustava pokazalo se da kvaliteta sustava ovisi o mreži na kojoj se primjenjuje. To je i cilj ove analize: traganje za primjerenim sustavom cirkulacije na određenoj mreži radi postizanja optimalnog naselja. Za svaku se mrežu može utvrditi koji je cirkulacijski sustav najbolje primijeniti. Podrazumijeva se da važnost koja se daje različitim parametrima i kriterijima određuje i konačni odabir.

### *Mreža središnjeg dijela grada Skopja - Centar*

Ovaj sustav predstavlja složenu kombinaciju svih standardnih cirkulacijskih sustava. Ovisno o utvrđenim potrebama, u različitim dijelovima preovlađuje različita regulacija koja općenito daje dobre rezultate.

Prema rezultatima dobivenim na temelju utvrđenih parametara, zaključak je da postojeći cirkulacijski sustav ima najbolje performanse u odnosu na standardne cirkulacijske sustave i dvije njihove kombinacije. To znači da je u velikoj mjeri izvučeno optimalno rješenje za ovu mrežu ovog dostupnog kapaciteta.

Ono što se može poboljšati jeste da se u slijedećoj fazi planiranja i projektiranja ponude rješenja za povećanje kapaciteta mreže, u svrhu prihvaćanja prometnog obima, i poboljšanja performansi sustava. Ali, ta rješenja treba izvesti na temelju točnih i sveobuhvatnih analiza postojeće prometne mreže i prometnog sustava. Samo u dobrom stanju postojećeg prometnog sustava moguće je donijeti pravilne odluke i rješenja kako bi se zadovoljili ustanovljeni kriteriji.

## Користена литература

1. PROJEKTOVANJE PUTEVA, Prof. d-r Radojka Dončeva, Građevinski fakultet u Skoplju, Univerzitet Sv. Ćirilo i Metodije, Skoplje 2011
2. GRADSKЕ SAOBRAĆAJNICE, ГРАДСКИ СООБРАЌАЈНИЦИ, Prof. d-r Radojka Dončeva, Građevinski fakultet u Skoplju, Univerzitet Sv. Ćirilo i Metodije, Skoplje 2013
3. DESIGN OF TRAFFIC CIRCULATION SYSTEMS TO MINIMISE CONFLICT - Patricia Wackrill<sup>1</sup> and Chris Wright, 2007
4. SPATIAL ASPECTS OF TRAFFIC CIRCULATION - Chris Wright and David Jarret, London 1995
5. URBAN PATTERN SPECIFICATION - Stephen Marshall, Institute of Community Studies, London, 2005
6. DESIGN OF MULTIMODAL TRANSPORT NETWORKS, A HIERARCHICAL APPROACH - Rob van Nes, Netherlands 2002
7. URBAN SPATIAL TRAFFIC PATTERNS - Vaughan R. London 1987
8. MEASURING THE STRUCTURE OF ROAD NETWORKS - Feng Xie and David Levinson, 2006
9. NETWORK EFFECTS AND PSYCHOLOGICAL EFFECTS: A THEORY OF URBAN MOVEMENT, LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE - Hillier B. and Iida S. Berlin 2005
10. SUSTAINABLE URBAN DESIGN. AN ENVIRONMENTAL APPROACH - Thomas R. London 2003
11. SELF ORGANIZATION OF SURFACE TRANSPORTATION NETWORKS - Levinson, D., and B. Yerra, 2006
12. ACCIDENTS AT URBAN PRIORITY CROSSROADS AND STAGGERED JUNCTIONS - Layfield R.E., Summersgill I., Hall R.D. and Chatterjee K. 1996r.
13. "SIMPLEST" PATHS: AUTOMATED ROUTE SELECTION FOR NAVIGATION, IN KUHN - Duckham, M. and Kulik, L. 2003r.