

ANALIZA I SIMULACIJA PEŠAČKIH KRETANJA ZA VREME SPECIJALNOG DOGAĐAJA SA PREDLOGOM MERA-PRIMER SPORTSKI CENTAR RADNIČKI

Stefan Knežević, mast. inž. saobraćaja, CEP Centar za planiranje urbanog razvoja, stefan@cep.rs

Rezime: U saobraćajnom smislu aktivnosti koje izazivaju značajne promene u normalnom svakodnevnom realizovanju saobraćaja definišu se kao specijalni događaji. Planirani specijalni događaji predstavljaju javne aktivnosti sa tačno određenim vremenskim rasporedom, trajanjem i mestom, koje bi mogle uticati na normalno realizovanje saobraćaja u okruženju. Pešačenje je najzastupljeniji vid prevoza. Ali za razliku od vozila, pešaci se ne pridržavaju strogih pravila. Spontano se zaustavljaju, menjaju smer ili naglo menjaju pravac kretanja. U tom smislu je potrebno obratiti dodatnu pažnju pri planiranju i projektovanju pešačkih koridora. Modelovanje grupe posetilaca javnog prostora ima najveći prioritet kada je u pitanju bezbednost kretanja posetilaca u javnim objektima. Takođe je bitno obezbediti udobnost kretanja posetilaca i omogućiti uspešno realizovanje događaja. Uz pomoć softvera PTV VISWALK mogu se pored modelovanja pešačkih kretanja, prepoznati uska grla koja mogu dovesti do nepotrebnog vremena čekanja i ispitati operativne procedure (dužina reda na izlazu ili na prodajnim šalterima i vreme čekanja). U ovom radu biće prikazana analiza i modelovanje pešačkih kretanja pri izlasku sa sportskog centra Radnički nakon završetka specijalnog događaja sa maksimalnim brojem posetilaca kako bi se ispitale prostorne mogućnosti i vreme evakuacije na ulicu Vojvode Šupljikca u Beogradu.

Ključne reči: pešački saobraćaj, projektovanje i modelovanje pešačkih kretanja, PTV VISWALK

1. UVOD

Predmet rada je lokacija sportskog centra Radnički u beogradskoj opštini Zvezdara. Pristup stadiona na lokalnu mrežu se prema projektu ostvaruje u zoni raskrsnice ulica Vojvode Šupljikca i Radivoja Koraća. Navedene ulice su u jednosmernom režimu saobraćaja i profili ulica nemaju potrebne dimenzije koje bi zadovoljile zahteve svih korisnika na mreži (širine trotoara). Simulacijom kretanja posetilaca stadiona u softverskom paketu PTV VISWALK, biće modelovano stanje nakon izgradnje novog stadiona.

Cilj rada je simulacija pešačkih kretanja tokom izlaska posetilaca sa stadiona. Rezultati simulacije daju vremena putovanja posetilaca do interne saobraćajnice u okviru objekta.

Radom je obuhvaćena analiza postojećeg stanja i delova objekta stadiona zbog razumevanja svih nivoa, stepeništa, prepreka i preseka, kao projektovanje saobraćaja i saobraćajne signalizacije. U modelu je simuliran ukupan broj posetilaca, odnosno 1244.

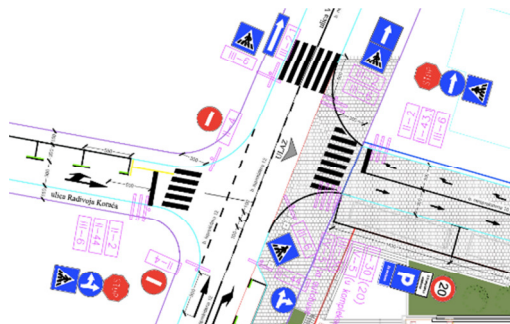
Objekat sportsko rekreativnog centra je namenjen planiranom specijalnom događaju poput futsalske, rukometne utakmice, a stadion se može koristiti i u svrhe organizovanja drugih manifestacija.

Planirani specijalni događaji definišu se kao javne aktivnosti sa tačno određenim vremenskim rasporedom, trajanjem i mestom, koje bi mogle uticati na normalno realizovanje saobraćaja, u smislu porasta saobraćajnih zahteva i/ili smanjenja potrebnih saobraćajnih kapaciteta.

2. METODOLOGIJA

Analizom postojećeg stanja izvršena je detaljna analiza planske i tehničke dokumentacije, zakona i regulatornih okvira koji se odnose na projektovanje i planiranje. Ova faza omogućava definisanje ograničenja, mogućnosti i ciljeve koje treba ispuniti. Radom su definisani ciljevi koji teže ka stvaranju uslova u saobraćaju koji će omogućiti efikasniji, produktivniji i bezbedniji saobraćaj u predmetnoj zoni sportskog centra Radnički.

Planirano rešenje obuhvata objekte sportsko centra Radnički na KP 7011 i KP 7012 KO Zvezdara, Beograd. Planirani pešački i kolski pristup lokaciji je ostvaren na jugozapadnoj strani iz ulice Vojvode Šupljikca (slika 1).



Slika 1: Planirani pristup stadionu iz ulice vojvode Šupljikca

Projektovana rešenja objekta i saobraćajnih profila biće testirana primenom mikrosimulacionih modela. Kao alat korišćiće se specijalizovani softverski paket PTV VISSIM 2021 i PTV VISWALK 2021, čije licence poseduje Centar za planiranje urbanog razvoja, CEP.

Kao ulazni podaci o protoku saobraćaja u postojećem stanju korišćen je transportni model grada Beograda iz 2015. godine, dok se za broj posetilaca koristi ukupan broj mesta koja su projektovana u objektu stadiona, a to je 1244 mesta (1044 mesta na tribinama, 10 mesta za invalide, 50 mesta na VIP tribinama, 12 novinarskih mesta i 128 mesta na severnoj i južnoj tribini).

Osnovni cilj modelske simulacije je odgovor na dva ključna pitanja:

- Kako projektovani stadion utiče na efikasnost i bezbednost posetilaca i vozača i
- Ponašanje pešaka pri izlasku sa stadiona i vreme putovanja od tribina do bezbednog mesta na internim saobraćajnicama.

Pri modelovanju organizovan je niz sastanaka sa arhitektama koje su projektovale objekat stadiona, kako bi stadion bio verodostojan i svi nivoi, stepeništa i zidovi bili prikazani u modelu i uzeti u obzir.

U PTV VISWALK-u, pešaci su kategorisani u različite tipove i klase pešaka. Unutar svakog tipa pešaka, pešaci imaju slične tehničke karakteristike i fizičko ponašanje pri

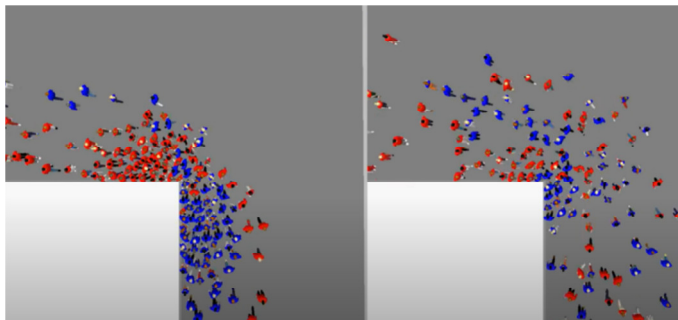
hodanju. Za svaki tip pešaka definisano je maksimalno ubrzanje, izgled pešaka (kosa, odelo itd.) i svaki ima svoj način ponašanja pri hodanju (walking behaviour). Korišćeni pešački tipovi su muškarci, žene, osobe u kolicima, itd.

Svaka ruta počinje definisanjem izvora i cilja kretanja i definisanjem broja pešaka na izvoru kretanja. Rute mogu biti i parcijalne, s tim da moraju da se završavaju na ciljnoj statičnoj ruti. Parcijalnim rutama pešaci mogu odstupiti od statične rute i zatim se vratiti na statičnu rutu. Delimične rute su korišćene u slučajevima kada su pešaci imali više mogućnosti da stignu do cilja.

Dinamički potencijal (**Dynamic potential**) je metoda zasnovana na ruti koja se koristi za potragom najbolje/najbrže rute kojom pešaci mogu proći unutar jednog nivoa.

I za dinamički potencijal i za metodu delimičnih ruta smanjenje vremena putovanja je odlučujući faktor za ponašanje pri pešačenju..

Izračunavanje potencijala dinamičke rute zahteva dosta vremena za računanje. Dinamičko potencijalno polje za određenu rutu izračunava se samo dok ima pešaka koji stvarno koriste rutu. Uporedni primer statične rute i dinamičkog potencijala je prikazan na slici ispod. Sa slike se može primetiti da pešaci koji se kreću u smeru sever-jug obojeni u crvenu boju, dok su pešaci koji se kreću u smeru jug-sever plave boje. U slučaju statične rute dolazi do većeg nagomilavanja pešaka na objektu koji zaobilaze, dok se drugom slučaju pešaci mnogo realije kreću i prave manju gustinu (slika 2).



Slika 2: Statična ruta(levo) i dinamički potencijal(desno)

Metoda dinamičkog potencijala ne može se primeniti na više nivoa i nema za cilj da pronađe najbrži put kroz više nivoa, zbog toga su u radu korišćene statične rute na nivoima sa gustinom pešaka na pojedinim mestima na nivou sprata.

Definisane su vrednosti broja posetilaca na svakom nivou, odnosno na svakoj tribini. Korišćena je metoda jednovremenog pojavljivanja pešaka na površini za kretanje pešaka. Broj pešaka na svakoj tribini odgovara tačnom broju prema projektu, zbog mogućnosti programa i definisanja tačnog broja. Broj posetilaca na svakoj tribini je izračunat na osnovu formule (1).

$$\text{Broj}_{\text{posetilaca}} = \frac{\text{interval jednovremenog pojavljivanja posetilaca}}{3600 \text{ sekundi}} [\text{broj posetilaca}] \quad (1)$$

Paremetri koji su korišćeni u izradi modela su:

- Parametar λ se koristi za podešavanje jačine uticaja drugih osoba i objekata na pešaka. Veća vrednost podrazumeva da se sile osoba iza pešaka manje nego sile osoba ispred pešaka.
- Parametar **ASoclso** i **BSoclso** zajedno utiču na jednu od dve sile koje zajedno čine odbojnu silu između dva pešaka. Parametar određuje snagu sile u metrima po kvadratnoj sekundi. Parametar predstavlja radijus tela pešaka u metrima.
- Parametar **ReactToN** predstavlja izračunavanje ukupne sile za pešaka i uzima u obzir samo uticaj n najbližih pešaka.

3. SIMULACIJA SAOBRAĆAJA

Za simulaciju saobraćaja pašaka i vozila korišćen je dinamički potencijal i metoda delimičnih ruta. Delimične rute zasnovane na vremenu koje se zasnivaju na metodi dinamičkog potencijala, međutim, omogućavaju pešacima diskretan izbor različitih ruta u određeno vreme. Ako je dinamički potencijal aktivan za odredište ili među odredište, pešaci će pokušati krenuti rutom za koju trenutno veruju da je najbrža. To znači da se pešaci žele kretati u smeru koji se prema heurističkoj matematičkoj metodi smatra najkraćim vremenom hoda do sledećeg odredišta ili međuodredišta.

Ne konkretna tačka odlučivanja. Pešaci neprestano teže optimizaciji vremena putovanja. Ovo je ograničeno samo vremenskim korakom simulacije. Metodom dinamičkog potencijala, pešaci automatski biraju svoju putanju, a time i svoju rutu iz neprekidno neograničenog i mnogobrojnih mogućih putanja. postoji

Izračunavanje potencijala dinamičke rute zahteva dosta vremena za računanje. Dinamičko potencijalno polje za određenu rutu izračunava se samo dok ima pešaka koji stvarno koriste rutu.

Definisana su dva scenarija izlaska pešaka iz stadiona. Scenario 1 gde pešaci koriste izlaze i evakuacione izlaze na svim nivoima, sem na prizemlju kod ulaza za vozila hitne pomoći. Dok scenario 2 koristi sve izlaze, sem jugoistočnog gde je u simulaciji prikazana incidentna situacija sa ugljen monoksidom.

Dinamične rute su korišćene kod kretanja pešaka nakon izlaska iz objekta, odnosno pristup pešaka na ulicu Vojvode Šupljikca.

Definisanjem svih nivoa, stepeništa, vrata, ruta kretanja i površina za kretanje pristupilo se pravljenju 3D video simulacije koji se nalazi na youtube prezentaciji, ali i proračunima vremena putovanja i gustine pešaka na određenim površinama.

U modelu je korišćen scenario management i napravljena su dva scenarija koja su pomenuta. Scenario management omogućava laku izmenu podataka modela koja se manifestuju u oba scenarija ili u jednom u zavisnosti od zahteva šta se želi prikazati.

Tokom rada fokus je stavljen na simulaciju kretanja pešačkih tokova, odnosno na deo softvera PTV VISWALK, ali i na interakciji pešačkih i vozačkih tokova u ulici Vojvode Šupljikca.

3.1. Scenariji

Scenario 1 (SC1) koristi sve izlaze osim ulaza za vozila hitne pomoći u prizemlju. Na sledećoj slici (slika 1) je prikazan izlaz posetilaca stadiona nakon prve sekunde. Može se primetiti da svi posetioci sa prizemlja kreću da izlaze u središnji izlaz. Posetioci sa nivoa +1 kreću svako svom bližem stepeništu i svi izlaze na stepeništa koja se nalaze u uglovima objekta.



Slika 3: Prva sekunda izlaska sa stadiona – SC1

Vreme potrebno da svi posetioci napuste stadion i pristupe ulici Vojvode Šupljikca je 9 minuta, što neće biti slučaj u scenariju 2.

Scenario 1 je prikazan na sledećem linku: <https://youtu.be/pzTxEeggdTU>

Scenario 2 je prikazan na sledećem linku: <https://youtu.be/ONN6kpCVeAQ>

Odnosno QR-kodu:



Slika 4: QR-kod SC1



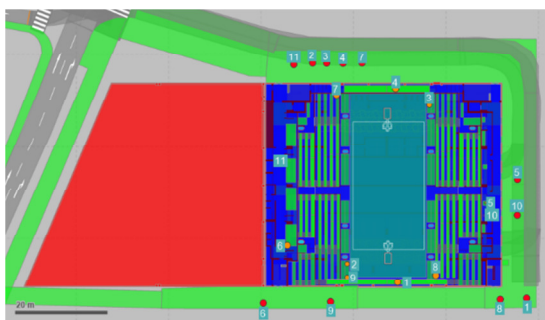
Slika 5: QR-kod SC2

U scenariju 2 posetioci ne koriste sve izlaze i to ne koriste jugoistočno stepenište, ali koriste izlaz za vozila hitne pomoći. Na sledećoj slici (slika 4) je prikazan izlaz posetilaca stadiona nakon prve sekunde. Može se primetiti da svi posetioci sa prizemlja (leva tribina) kreću da izlaze u središnji izlaz, dok desna tribina izlazi na bliži izlaz u prizemlju. Posetioci sa nivoa +1 kreću svako svom bližem stepeništu i svi izlaze na stepenište u levom uglu.



Slika 6: Prva sekunda izlaska sa stadiona – SC2

Vreme potrebno da svi pešaci napuste stadion i izađu na ulicu Vojvode Šupljikca je 12 minuta, što predstavlja duže vreme pražnjenja stadiona za 3 minuta, ako jedno stepenište nije u funkciji. Na slici ispod su prikazani početni i ciljni čvorovi na osnovu kojih je analizirano vreme putovanja.



Slika 7: Analiza vremena putovanja od početnog do ciljnog čvora

Na osnovu tabele može se primetiti da se vreme kretanja smanjilo za 100 % kod rednog broja 1 i povećalo kod rednog broja 9. Razlog za to je analiza sa otvorenim vratima u prizemlju koja služe za ulazak vozila hitnih službi. Može se videti da se značajno povećalo vreme izlaska posetilaca iz zona (sektora) označenim brojevima 8 i 10 za čak više od 100 sekundi, razlog za to je ne korišćenje stepeništa na jugoistoku zbog incidentne situacije i jedinog izlaska sa ove strane stadiona.

Tabela 1: Vreme kretanja između izvora i cilja

Redni broj	SC 1 [s]	SC 2 [s]	Razlika SC 2 – SC 1 [s]
1	197	276	79
2	166	0	-166
3	103	100	-3
4	130	151	21
5	55	62	7
6	69	90	21
7	213	192	-21
8	136	258	121
9	0	8	8
10	190	293	103
11	258	229	-29

4. ZAKLJUČAK

Vreme kretanja u slučaju scenarija 1 do pristupa ulici Vojvode Šupljikca iznosi 9 minuta, dok potrebno vreme u scenariju 2 iznosi 12 minuta. U slučaju scenarija 2 vreme pražnjenja stadiona je za 3 minuta duže u odnosu na scenario 1. Scenario 2 nosi sa sobom i veće gustine pešaka na prostoru ispred stepeništa i na samom stepeništu.

Pristup pešaka ulici Vojvode Šupljikca sa maksimalnim brojem od 1244 posetilaca koje generiše sportski centar Radnički dovodi do zagušenja, koje je prikazano na video prezentaciji scenarija. Rešenja za slučaj zagušenja ulice Vojvode Šupljikca u uslovima maksimalnog opterećenja stadiona jeste izmena režima saobraćaja u ulici. Režim saobraćaja treba regulisati tako da se izvrši obustava saobraćaja u ulicama Vojvode Šupljikca i Radivoja Koraća za vreme trajanja specijalnog događaja na sportskom centru Radnički.

LITERATURA

- [1] Projekat za građevinsku dozvolu objekta SPORTSKO REKREATIVNOG CENTRA SD RADNIČKI. 2021. Centar za planiranje urbanog razvoja - CEP, Beograd,
- [2] Plan detaljne regulacije za komplekse sporta i obrazovanja na uglu ulica Vojvode Šupljikca i Vatroslava Jagića, gradske opštine Zvezdara i Vračar (Službeni list grada Beograda, br. 107 - 05), 2020,
- [3] Stanić B. (2016), „UPRAVLJANJE KVALITETOM PUTNE MREŽE I SAOBRAĆAJNE OPREME - pisana predavanja“, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija,
- [4] Dunn Engineering Associates, P.C. (2007), "Managing travel for planned special events handbook: executive summary", US Department of Transportation,
- [5] Litman, T. (2006), „Lessons From Katrina and Rita: What Major Disasters Can Teach Transportation Planners“, Victoria Transport Policy Institute,
- [6] PTV GROUP, PTV VISWALK - Pedestrian simulation software, objavljen na sajtu PTV GROUP, internet adresa: https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-viswalk/?_ga=2.174623777.246173735.1631091566-1440764850.1628252573, posećen dana 01.09.2022.

SUMMARY**ANALYSIS AND SIMULATION OF PEDESTRIAN MOVEMENTS DURING A SPECIAL EVENT WITH A PROPOSED MEASURE - EXAMPLE RADNIČKI SPORTS CENTER**

Abstract: In terms of traffic, activities that cause significant changes in normal daily traffic are defined as special events. A planned special event (PSE) is a public activity with a scheduled time, location and duration that may impact the normal operation of the surface transportation system due to increased travel demand and/or reduced capacity attributed to event staging. Walking is the most common mode of transportation. But unlike vehicles, pedestrians don't follow strict rules. Pedestrians spontaneously stop, change direction or suddenly change the direction of movement. Modeling a group of visitors to a public space has the highest priority when it comes to the safety of the movement of visitors in public facilities. It is also important to ensure the comfort of the visitors and enable the successful implementation of the event. With the PTV VISWALK software, in addition to modeling pedestrian movements, bottlenecks that can lead to unnecessary waiting time can be identified and operational procedures examined (queue length at the exit or at sales counters and waiting time). This paper will present the analysis and modeling of pedestrian movements when leaving the Radnički sports center after the end of a special event with the maximum number of visitors to examine the spatial possibilities and time of evacuation to Vojvode Šupljikca Street in Belgrade.

Key words: pedestrian traffic, design and modeling of pedestrian movements, PTV VISWALK