

## Performanse puteva evakuacije i bezbednost zgrada od požara

MIRJANA Đ. LABAN, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

SRĐAN B. POPOV, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

SUZANA R. VUKOSLAVČEVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

SLOBODAN M. ŠUPIC, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Stručni rad

UDC: 699.81

614.841.33

DOI: 10.5937/tehnika1504599L

*Stambene, javne i poslovne zgrade, u kojima boravi ili se okuplja veći broj ljudi, naročito su izložene riziku od događaja sa katastrofalnim posledicama, posebno riziku od požara. Koridori evakuacije moraju biti požarno izdvojeni sektori sa završnom obradom površina od nezapaljivih materijala. Bezbedna evakuacija korisnika zgrade u slučaju požara je ključni uslov očuvanja ljudskih života u zgradi zahvaćenoj požarom. U našoj inženjerskoj praksi primenjuje se proračunski model određivanja vremena potrebnog za evakuaciju (SRPS TP 21), ali su u istraživačkim radovima sve prisutniji i softverski modeli simulacije evakuacije, koji doprinose boljoj proceni toka evakuacije u realnom vremenu. Ovi modeli mogu da pruže efikasan način testiranja pouzdanosti proračunskog modela i da ukažu na kritične tačke na putu evakuacije. Računarsko modelovanje procesa evakuacije omogućava razvoj i analizu više scenarija događaja, na osnovu kojih je moguće definisati mere za unapređenje bezbednosti objekta u slučaju požara. U radu je analizirana ispunjenost tehničkih zahteva za bezbednu evakuaciju i predložene su mere unapređenja na osnovu komparativne analize rezultata proračunskog modela evakuacije za zgradu Departmana za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu i rezultata dobijenih primenom softverskog modela simulacije evakuacije.*

**Ključne reči:** bezbednost od požara, evakuacija, proračun, simulacija, modelovanje

### 1. UVOD

Bezbednost od požara se često olako podrazumeva pri projektovanju i izgradnji novih zgrada i obnovi postojećih zgrada.

Svake godine oko 70.000 ljudi u Evropi bude životno ugroženo i pretrpi povrede izazvane požarom ili udisanjem dima. Problemi su posebno uočljivi u zemljama u tranziciji, sa slabom ekonomijom. Prema podacima Sektora za vanredne situacije RS, ukupan broj požara i eksplozija od 2010. do 2012. godine, u Srbiji u građevinskim objektima i otvorenim prostorima iznosio je 79.886, a ukupno je bilo 1.280 povređenih i poginulih građana [1]. Ekonomski gubici usled požara su procenjeni na oko 1% globalnog BDP godišnje [2].

---

Adresa autora: Mirjana Laban, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

Rad primljen: 04.03.2015.

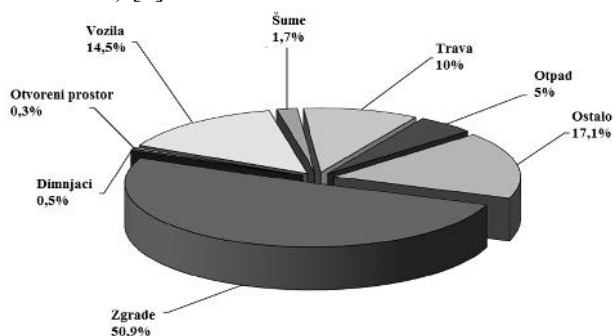
Rad prihvaćen: 24.03.2015.

U zemljama EU bezbednost od požara je jedan od sedam osnovnih zahteva definisanih Uredbom o građevinskim proizvodima [3], dok su detaljniji uslovi propisani zakonodavstvom pojedinih zemalja članica, što je implementirano i u okviru najnovijih izmena propisa u Srbiji [4, 5].

Najveći broj požara u urbanim sredinama nastaje u zgradama (slika 1). Kada do požara dođe, bezbednost ljudi ugroženih požarom zavisi od njihove pripremljenosti i performansi puteva evakuacije u uslovima požara. Ukoliko su koridori evakuacije bezbedni od zadimljavanja i širenja požara, moguća je pravovremena i uspešna evakuacija.

Pripremljenost korisnika zgrade u najvećoj meri zavisi od usvojenih znanja i poštovanja uputstava za postupanje u slučaju požara, ali se ponašanje ljudi ne može u potpunosti predvideti, jer se zasniva na psihologiji procesa ponašanja. Svaki proces započinje novim informacijama iz fizičkog i socijalnog okruženja, koje najpre treba da budu usvojene, interpretirane i obrađene da bi se na osnovu njih donela odluka

o izboru aktivnosti reakcije (uključujući i izostanak aktivnosti) [7].



Slika 1 – Distribucija broja požara prema mestu nastanka [6]: preko polovine u zgradama

Faktori uticaja na ponašanje u uslovima požara se mogu podeliti na one koji postoje i pre događaja, one koji deluju tokom događaja i one koji zavise od broja i vrsta znakova i informacija tokom događaja. Kako se ovi faktori veoma razlikuju, kao i osobenosti pojedinaca, veoma je teško predvideti razvoj i tok procesa evakuacije zgrade u slučaju požara.

Svako unapređenje postojećih modela se iz tih razloga smatra doprinosom u pravcu boljeg sagledavanja rizika po ljudske živote u požaru. Upravo primena softverskog modela evakuacije, uz uvažavanje parametara propisanih standardom SRPS TP 21 [8] omogućava unapređenje proračunskog modela predviđenog standardom.

## 2. PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE PUTEVA EVAKUACIJE

Planiranje i projektovanje koridora evakuacije je jasno definisano tehničkim propisima [9]: put evakuacije mora da vodi kroz izdvojeni dimni i požarni sektor, sa obaveznom ventilacijom, jasnim i vidnim oznakama i uputstvima, dok završne obloge moraju da budu izvedene od negorivih materijala.

Kvalitetno rešenje komunikacija u objektu mora da omogući korisnicima da se nesmetano kreću unutar njega u svakom trenutku, i po potrebi brzo evakuiraju, odnosno tako da osiguraju korisnicima bezbedan prolaz do sigurnih prostora pre nastanka razbuktale faze požara. Dobra procena vremena potrebnog za evakuaciju je naročito važna za objekte gde boravi ili se okuplja veći broj ljudi, kao što su veliki stambeni, poslovni i javni objekti, koji pripadaju prvoj ili drugoj kategoriji ugroženosti od požara.

U našoj inženjerskoj praksi se primenjuje proračunski model određivanja vremena potrebnog za evakuaciju iz objekta kritičnim putem – od najudaljenije tačke objekta do krajnjeg izlaza, a brzine kretanja su definisane standardom. U cilju boljeg sagledavanja

problema, neophodan je nov inženjerski pristup problematici evakuacije zgrade kako bi se procesi evakuacije bolje razumeli i predvideli posebni uticajni faktori, kao što je ponašanje ljudi (varijabilno ponašanje i reagovanje različitih grupa ljudi na uzbunu, svest, mentalitet, starosna struktura, potrebe osoba sa ograničenjima u kretanju, spremnost na reagovanje, itd). U savremenim istraživačkim radovima [10, 11] su sve prisutniji softverski modeli simulacije evakuacije, koji doprinose boljoj proceni toka evakuacije u realnom vremenu i mogu da ukažu na kritične tačke na putu evakuacije. Sa razvojem softvera za evakuaciju, povećava se broj inženjerskih aplikacija, koje odlikuje velika primenljivost [12]. Računarsko modelovanje procesa evakuacije omogućava razvoj i analizu više scenarija događaja, na osnovu kojih je moguće definisati mere za unapređenje bezbednosti objekta u slučaju požara.

U narednim poglavljima rada su na osnovu komparativne analize rezultata proračunskog i softverskog modela evakuacije (Pathfinder) zgrade Departmana za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu predložene mere unapređenja bezbednosti zgrade u slučaju požara.

## 3. LOKACIJA I OPIS OBJEKTA

Zgrada Departmana za građevinarstvo i geodeziju nalazi se u Novom Sadu – gradsko područje Liman 1, u ulici dr Sime Miloševića 12, u sklopu Univerzitetskog kampusa. Objekat je slobodno stojeći, spratnosti Su+Pr+2+Po, pravougaone osnove spoljnih dimenzija 30x16m, dok visina poda poslednje etaže objekta ne prelazi 30 m u odnosu na okolni teren, tako da objekat ne pripada grupi visokih objekata<sup>1</sup>. Izgled objekta prikazan je na slici 2.

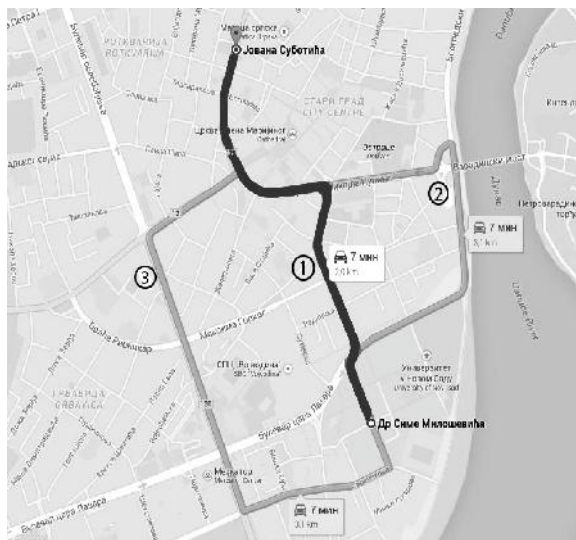


Slika 2 – Izgled objekta

Na osnovu klasifikacije zgrada prema nameni, izdvojenosti i visini, definisane standardom [8], zgrada pripada izdvojenim, javnim objektima klase IJ2.

<sup>1</sup>Visoki objekat je objekat sa prostorijama za boravak ljudi, čiji se podovi najvišeg sprata nalaze najmanje 30 m iznad najniže kote terena na koji je moguć pristup i intervencija uz korišćenje automehaničkih lestava

Glavni ulaz u objekat je iz ulice Sime Miloševića. U slučaju požara, vatrogasne ekipe mogu da priđu zgradi sa javnih saobraćajnica iz ulica dr Ilije Đuričića i dr Sime Miloševića, u procenjenom vremenskom periodu od 7 minuta od momenta dojava o nastanku požara Vatrogasnoj brigadi u Novom Sadu (Slika 3).



Slika 3 – Pristupni putevi vatrogasne brigade: 1-primarni put; 2,3-alternativni putevi

Zgrada je izgrađena u sistemu skeletne armirano-betonske (AB) konstrukcije sa stubovima i poprečnim i podužnim gredama. Međuspratna konstrukcija je puna AB ploča debljine 20 cm (klasa otpornosti na požar F90). Glavna noseća konstrukcija zgrade – AB skelet, prema standardu SRPS UJ.1. 051 [13], ima otpornost prema požaru 1,5 - 2 časa (klasa otpornosti na požar F90-F120).

Sva stepeništa su armirano-betonska. Krovnu konstrukciju objekta čine glavni nosači tipa čelične rešetke, sa rožnjačama, koji se oslanjaju na AB grede. Krovni pokrivač je radijalne forme, od plastificiranog „sendvič“ lima debljine 15 cm.

Spoljašnji zidovi su višeslojni, izgrađeni od blokova od lakog (gas) betona debljine 20 cm i termičke izolacije od mineralne vune debljine 5-10 cm. Unutrašnji pregradni zidovi debljine 10 cm ili 15 cm, izvedeni su od istih blokova kao spoljni, ili ploča od karton gipsa. AB zidovi u suterenu su obloženi demit fasadom. Spoljna obloga fasade je viseća, ventilisana, aluminijumska fasada, debljine lima 4 mm, na adekvatnoj čeličnoj potkonstrukciji.

Završna obrada podnih površina u kabinetima i učionicama su laminatni podovi visoke otpornosti na habanje, a u svim komunikacijama podovi su obloženi pločama od granitne keramike. Podovi i zidovi u sanitarnim čvorovima su obloženi granitnim keramičim pločicama. Plafoni u svim prostorijama su spuštjeni,

izvedeni od gips kartonskih ploča, sa ugrađenom rasvetom i sistemom grejanja i hlađenja.

Ulazna vrata su klizna, staklena, širine otvora 1.6 m od aluminijumskih profila, sa senzorom pokreta. Unutrašnja vrata u suterenu, prizemlju, kao i na I, II i III spratu su od furnirane iverice. Prozori u svim prostorijama su aluminijumski, zastakljeni reflektujućim termopan staklom.

Zidovi hodnika i svih prostorija su gletovani i obojeni deperzivnom bojom za unutrašnje zidove. Vertikalna komunikacija unutar objekta je ostvarena trokrakim AB stepeništem pozicioniranim uz centralni deo zapadne fasade objekta, sa prirodnim osvetljenjem.

U jezgri stepeništa je izveden hidraulični lift opremljen mehanizmom za automatsko spuštanje u suterenu i isključivanje u slučaju požara, a na ulaznom stepeništu, predviđen je lift za osobe sa otežanim kretanjem. Ograde svih stepenica su izrađene od hromiranih čeličnih profila.

Sadržaj objekta čine sala za predavanje (amfiteatar na I spratu), učionice, laboratorije, kancelarije i kabineti. Ukupna površina svih etaža objekta iznosi cca 2150 m<sup>2</sup>. Maksimalan broj prisutnih osoba u objektu iznosi 456, te prema [14] objekat pripada II kategoriji ugroženosti od požara. Prema [8], objekti II kategorije ugroženosti od požara treba da imaju Plan zaštite od požara.

Prema SRPS U.J1.240/1994 [15], stepen otpornosti zgrade prema požaru na osnovu namene, izdvojenosti objekta, visine zgrade, površine reprezentativnog požarnog sektora i broja osoba koji borave u tom sektoru je klase IV.

Prema [16], na osnovu otpornosti elemenata konstrukcije i izabranih građevinskih materijala, objekat zadovoljava najvažnije zahteve tehničkih preporuka [8] u vezi konstrukcije, pod uslovom da se čelična rešetkasta konstrukcija zaštiti dodatnim zaštitnim premazima zahtevane otpornosti prema požaru.

Primenjene su sledeće mere zaštite od požara:

- Putevi evakuacije su obloženi negorivim materijalima;
- U objektu su ugrađene svetiljke nužne rasvete sa autonomnim izvorom napajanja;
- U objektu su instalirani uređaji za ručnu dojavu požara;
- Gašenje početnih požara je predviđeno ručnim aparatima tipa S i CO<sub>2</sub> i vodom iz ugrađene hidrantske mreže;
- Aparati za početno gašenje požara i hidranti sa opremom su postavljeni na svim etažama prema elaboratu zaštite od požara i

- Javne saobraćajnice omogućavaju prilaz objektu i omogućavaju efikasnu intervenciju vatrogasnim jedinicama.

#### 4. PRORAČUNSKI MODEL EVAKUACIJE

Pitanja bezbednosti od požara stambenih, poslovnih i javnih objekata regulisana su neobavezujućim tehničkim preporukama [8]. Tehničke preporuke definišu vremenski opseg u okviru kog je potrebno izvršiti evakuaciju, etape evakuacije, brzinu kretanja osoba koje se evakušu i vremena zadržavanja usled suženja puta, zaokreta i sl. Prema ovim preporukama, vreme evakuisanja  $t_k$  je vreme kretanja od polaznog mesta do bezbednog mesta, dok je vreme pripreme za evakuaciju  $t_{pe}$  vreme od trenutka kada lice koje će se evakušati sazna da je nastao požar koji bi mogao da ugrozi život do trenutka napuštanja prostorije boravka.

Prilikom evakuisanja, kretanje korisnika objekta je definisano u sledećim etapama:

- I etapa – od polaznog mesta (PM) do prvog izlaza (PI),
- II etapa – od PI do EI (evakuacioni izlaz),
- III etapa – od EI do KI (krajnji izlaz), put odvojen požarnim vratima kroz zaštićen prostor u kojem se ne osećaju uticaji vatre i dima,
- IV etapa – od KI do bezbednog mesta (BM).

Predviđeno vreme pripreme za evakuaciju iz javnih objekata je najmanje 3 minuta. Kretanje osobe u I fazi evakuacije treba da se završi za 30 s u svim prostorijama (izuzev za amfiteatre i pozorišta gde boravi veći broj ljudi), u II etapi za manje od 60 s, a u III etapi treba da se završi za manje od 3 minuta. Ukoliko nije moguće sprovesti evakuaciju u standardom zahtevanom vremenskom periodu, smatra se da se korisnik prilikom evakuacije kreće kroz prostor koji nije bezbedan, te je neohodno izvršiti određene izmene u realnom sistemu kako bi se unapredila efikasnost evakuacije.

Evakuacija svih prisutnih iz posmatranog objekta vrši se putem:

- glavnog izlaza u prizemlju KI1 (osobe sa spratova i iz prizemlja),
- 2 izlaza u suterenu KI2 i KI3 (osobe iz suterena).

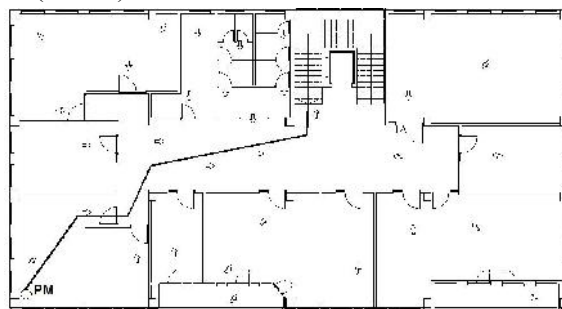
Maksimalno očekivani broj zaposlenih, studenata i osoba koje po drugom osnovu mogu da se zateknu u objektu, a čija je evakuacija usmerena na glavni izlaz, iznosi 352, a u suterenu 104. Broj lica u zgradi određen je prema maksimalnim kapacitetima pojedinih prostorija. Za proračun je usvojena projektna brzina neometanog kretanja čoveka na ravnom podu  $v_0 = 1,5$  m/s. Brzine kretanja pri evakuaciji usled grupisanja ljudi pred suženjem koridora (vratima i sl.), skretanjem koridora, niz stepenište, usvojene su prema standardu.

Na osnovu analize arhitektonskog rešenja, inženjerske procene i performansi objekta, a u cilju boljeg sagledavanja problema, kreirana su dva različita scenarija evakuacije.

#### 5. SCENARIO 1

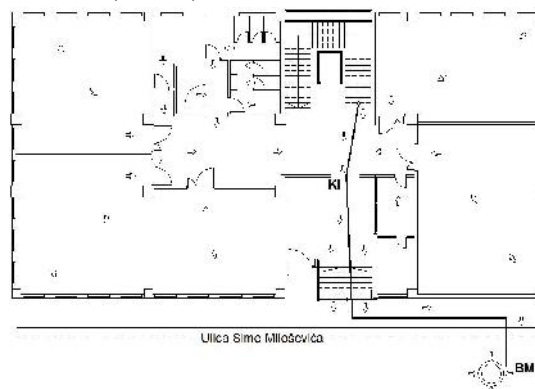
Scenario 1 predstavlja uslovno najnepovoljniji mogući slučaj – predviđen je tok evakuacije takav da se osobe sa nižih etaža susreću sa osobama sa viših etaža na stepeništu. Proračunom je obuhvaćen maksimalan broj osoba koji se u jednom trenutku mogu naći u objektu, a koje se usmeravaju na glavni izlaz – 352 i za ovako kreiran scenario važi pretpostavka da će vreme evakuacije biti najduže.

Evakuacija prisutnih osoba sa III sprata zgrade odvija se istovremeno iz svih prostorija. Najudaljenije polazno mesto evakuacije (PM) je iz kancelarije br. 309 (slika 4).



Slika 4 - Prikaz puta evakuacije sa III sprata zgrade od polaznog mesta do stepenišnog dela

Osobe se evakušu od polaznog mesta do prvog izlaza (PI) – iz kancelarije, zatim hodnikom do stepeništa, stepeništem do prizemlja, a zatim kroz hol do krajnjeg izlaza iz zgrade (KI) i preko platoa i pristupnog stepeništa do bezbednog mesta (VM1) koje se nalazi na pešačkoj stazi preko puta ulice Sime Miloševića (slika 5).



Slika 5 - Prikaz puta evakuacije sa prizemlja do bezbednog mesta

Osobe sa ostalih spratova i iz prizemlja evakušu se na isti način.

Potrebno vreme evakuisanja po etapama iznosi:

$$t_I = 5.41 \text{ s} < 30 \text{ s}; t_{II} = 8 \text{ min } 56 \text{ s} > 60 \text{ s}$$

Ukupno vreme evakuisanja do krajnjeg izlaza iz zgrade je 9 min 2 s. Vreme evakuisanja u četvrtoj etapi, od krajnjeg izlaza do bezbednog mesta (BM1) iznosi:

$$t_{IV} = 193.75 \text{ s}$$

III etapa nije definisana u ovom scenariju, jer objekat ne sadrži etažne izlaze i izolovan evakuacioni put u kojem se u slučaju požara ne bi osećao uticaj vatre i dima. Na ulazu u stepenište nisu izvedena požarna vrata koja bi sprečila prodor dima ka stepenišnom prostoru.

Kretanje osoba od prvog izlaza do krajnjeg izlaza je iz tih razloga definisano kao II etapa evakuacije. Za zgrade koje nemaju etažni, odnosno evakuacioni izlaz, rastojanje od prvog (početnog) izlaza do stepeništa, prema [8], ne sme da iznosi više od 10 m, što za predmetni objekat nije ispunjeno (13 m).

Uzimajući u proračun vreme pripreme za evakuaciju od 3 minute, prema [8] za javne objekte, vreme evakuacije za glavni izlaz iz zgrade iznosi:

$$t_e = t_{pe} + t_k = 180 \text{ s} + 5.41 \text{ s} + 530.97 \text{ s} + 193.75 \text{ s} = 915.13 \text{ s} = 15 \text{ min } 16 \text{ s}$$

Potrebno vreme evakuisanja u I etapi zadovoljava kriterijum postavljen standardom od maksimalno 30 sekundi. Budući da stepenište nije požarno izdvojeno od hodnika, evakuisanje se od prvog do krajnjeg izlaza odvija kroz nezaštićen prostor, te je potrebno vreme evakuisanja u II etapi znatno veće od zahtevanog (60 s).

## 6. SCENARIO 2

Drugi scenario predstavlja uslovno najpovoljniji mogući slučaj - predviđa evakuaciju u kojoj se osobe sa III etaže ne susreću sa akterima sa nižih etaža, već se nesmetano kreću ka krajnjem izlazu, što je takođe moguće, uzimajući u obzir širinu stepeništa i nepostojanje prepreka na hodnicima. Za ovaj scenario važi pretpostavka da je vreme evakuacije najkraće i proračunom je obuhvaćen maksimalan broj osoba koji se može zateći na III spratu - 44.

Potrebno vreme evakuisanja po etapama iznosi:

$$t_I = 5.41 \text{ s} < 30 \text{ s}; t_{II} = 208.34 \text{ s} = 3 \text{ min } 29 \text{ s} > 60 \text{ s}$$

Ukupno vreme evakuisanja do krajnjeg izlaza iz zgrade je 3 min 35 s.

Vreme evakuisanja u četvrtoj etapi, od krajnjeg izlaza do bezbednog mesta (BM1) iznosi:

$$t_{IV} = 38.75 \text{ s}$$

Uzimajući u proračun vreme pripreme za evakuaciju od 3 minute, prema preporuci SRPS TP21 za javne objekte, vreme evakuacije za glavni izlaz iz zgrade iznosi:

$$t_e = t_{pe} + t_k = 180 \text{ s} + 5.41 \text{ s} + 208.34 \text{ s} + 38.75 \text{ s} = 432.5 \text{ s} = 7 \text{ min } 13 \text{ s}$$

Potrebno vreme evakuisanja u I etapi zadovoljava kriterijum postavljen standardom od maksimalno 30 sekundi. Dobijeno potrebno vreme evakuisanja u II etapi je veće od zahtevanog, ali ne značajno kao u prethodnom scenariju.

Oba navedena scenarija predstavljaju dve uslovne krajnosti – najpovoljniji i najnepovoljniji mogući slučaj. U realnom sistemu mala je verovatnoća da će se stvoriti uslovi za odvijanje jednog od ova dva scenarija, već će se evakuacija odvijati po scenariju koji će imati kombinovane karakteristike oba pomenuta i pretpostavka je da će vreme evakuacije trajati između vremena dobijenih računskim modelom u okviru scenarija 1 i 2.

## 7. PRIMENA SOFTVERSKOG MODELA SIMULACIJE EVAKUACIJE

Modelovanje simulacije evakuacije omogućava generisanje virtualnog proračunskog modela i doprinosi sagledavanju paralelnih aktivnosti toka evakuacije. Ovakav alat pruža projektantu mogućnost dobijanja vizuelnih i grafičkih informacija o kretanju ljudi i mestima usporavanja i grupisanja u skladu sa performansama koridora evakuacije.

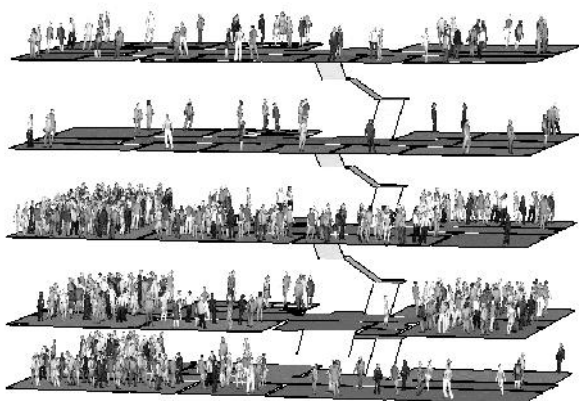
Pathfinder je simulator evakuacije, koji koristi integrisani korisnički interfejs i 3D vizualizaciju rezultata. Pathfinder omogućava efikasno kreiranje modela evakuacije, u skladu sa različitim scenarijima zasnovanim na karakterističnim inženjerskim pretpostavkama o mogućim promenama toka evakuacije [17].

Ulazni podaci za kreiranje simulacionog modela su relevantne fizičke karakteristike objekta (namena objekta, površina korisnog prostora, spratnost, položaj i dimenzije vetrikalnih komunikacija, itd) i broj korisnika objekta. Vizuelno, Pathfinder kvalitetno prikazuje ljudske modele, staze za kretanje, podne raspodele i druge aspekte 3D prikaza. Dinamički nivo do detalja omogućava da se vidi kretanje svih aktera u realnom vremenu.

Scenario predviđa evakuaciju u kojoj se osobe sa svih etaža aktiviraju u isto vreme. Maksimalan broj aktera koji se mogu zateći u objektu i orjentisani su na KII je 352.

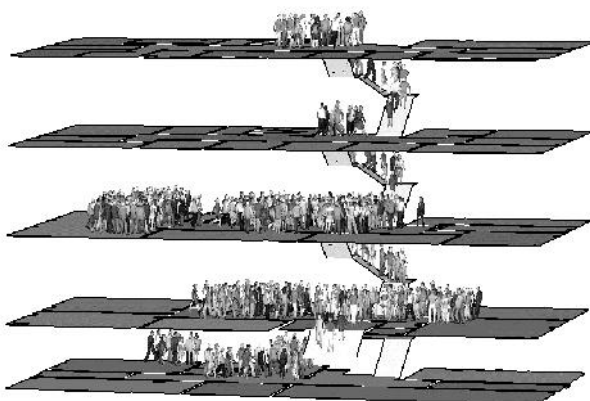
U Pathfinder-u je kreiran model evakuacije i urađena simulacija. U cilju dobijanja što realnijih rezultata, prilikom definisanja kretanja aktera u slučaju požara, primenjeni su parametri iz računskog modela [8]. Svim akterima dodeljena je brzina kretanja u opsegu od 1,2-1,5 m/s (niz stepenište i po ravnom). Ukupno vreme potrebno za evakuisanje svih osoba iz objekta, dobijeno računarskim modelom, je 4 min 15 s.

Na narednim fotografijama prikazana je simulacija evakuacije u karakterističnim trenucima (slike 6-9).

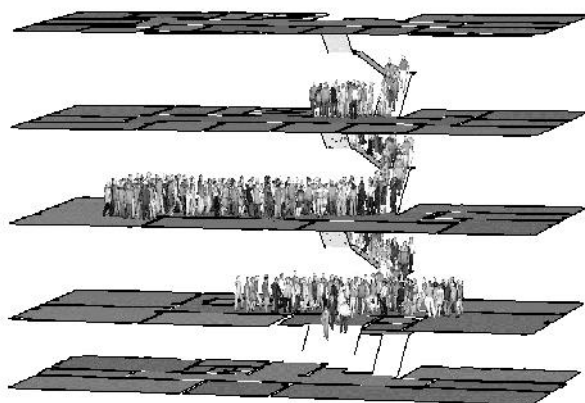


Slika 6 – Početak evakuacije

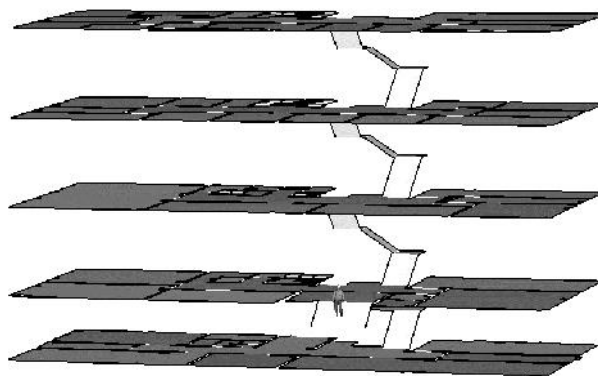
Analizom toka evakuacije iz simulacionog modela, uočavaju se kritične tačke kao što su mesta gde dolazi do usporavanja, zastoja i gomilanja ljudi (već nakon ~15 s od početka evakuacije), pojave zagušenja puta - „uskih grla“ itd, što ne dobijamo na uvid računskim postupkom.



Slika 7 - Tok evakuacije nakon 18 s od početka evakuacije



Slika 8 - Tok evakuacije nakon 45 s od početka evakuacije



Slika 9 - Nakon 255 s od početka evakuacije poslednja osoba napušta objekat

Za razliku od proračunskog modela, gde je uvek pretpostavka da je najduži put evakuacije i kritičan put, na osnovu softverskog modela se može zaključiti da put iz amfiteatra na I spratu predstavlja polaznu tačku kritičnog puta, jer je za evakuaciju i poslednje osobe iz amfiteatra potrebno najviše vremena.

Uočeno je širina otvora relativno mala u odnosu na kapacitet prostorije (amfiteatar raspolaže mestima za 100 osoba), te se osobe na izlazu iz amfiteatra zadržavaju na izlazu, dok se osobe sa četvrtog sprata već kreću ka izlazu iz objekta. Računarskim modelom je utvrđeno da je potrebno 140 s da poslednja osoba napusti amfiteatar, što je znatno više u odnosu na vreme predviđeno za evakuisanje u I etapi evakuacije za amfiteatre kapaciteta do 200 osoba (60 s).

Praktično, 1/4 osoba, koje bi se u trenutku evakuacije mogle zadesiti u objektu, smeštena je u amfiteatru. Uzimajući u obzir uočene probleme zagušenja puta, izgradnja dodatnog požarnog stepeništa (iako to preporukama nije zahtevano) namenjenog za evakuaciju osoba iz amfiteatra bi u svakom slučaju unapredila bezbednost korisnika zgrade u slučaju požara.

## 8. ZAKLJUČAK

Objekat Departmana za građevinarstvo i geodeziju je poslovno - javni objekat u kome se maksimalno može očekivati oko 350 lica, koja bi u slučaju požara ili nekog drugog događaja sa katastrofalnim posledicama trebalo u što kraćem roku evakuisati.

Objekat ima jedan glavni ulaz/izlaz koji se nalazi u centralnom delu glavnog dela objekta. Vertikalna komunikacija kroz objekat obavlja se putem jednog trokrogog stepeništa. Na ulazu/izlazu sa stepeništa nema požarnih vrata koja bi sprečila nesmetano širenje požara i zadimljavanje koridora evakuacije. Olakšavajuća okolnost je što su koridori evakuacije obloženi negorivim materijalima, bez emisije štetnih produkata sagorevanja pri povišenim temperaturama.

Primenjene mere bezbednosti od požara u zgradi (postavljeni aparati za gašenje početnih požara, unutrašnji hidranti i panična rasveta) neophodno je da se dopune postavljanjem planova i oznaka puteva evakuacije, kao i definisanjem uputstva za postupanje u slučaju požara. Ručni javljači su koncipirani tako da signaliziraju dojavu na centralu portirnice, a instalirana je i zvučna signalizacija – alarm u hodnicima zgrade.

Neobavezujuća preporuka [8] je da objekti klase IJ2 imaju stepenište požarno izdvojeno od hodnika. Imajući u vidu namenu objekta, na osnovu sprovedenih istraživanja, predlaže se izgradnja spoljnog požarnog stepeništa, u cilju pravovremene i efikasne evakuacije osoba iz amfiteatra na prvom spratu zgrade.

Čak i u slučajevima kada je objekat izgrađen po svim pravilima i propisima, nekad to nije dovoljno da bi se osigurala bezbednost ljudskih života u uslovima požara, naročito uzimajući u obzir ljudsko ponašanje koje se ne može definisati niti predvideti bilo kojim pravilnikom.

U cilju unapređenja informisanosti i pripremljenosti korisnika objekta za pravovremenu, bezbednu i efikasnu evakuaciju u slučaju iznenadnog događaja, teži se optimizaciji modelovanja evakuacije iz objekta. Računarske tehnologije mogu imati značajnu ulogu u dobijanju dinamičkih informacija o toku evakuacije, kritičnom putu i kritičnim tačkama puta evakuacije. Modelovanje i simulacija su korisni savremeni alati za razvoj virtuelnih scenarija i predikciju i spasilačkih operacija, kao i socijalnog ponašanje korisnika zgrade. Takođe, mogu biti polazna tačka i podloga za kritičku analizu aktuelnih tehničkih propisa za projektovanje zgrada.

Softverski modeli simulacije se ubrzano razvijaju i nadograđuju, pa se preporučuje korišćenje više različitih modela u cilju optimizacije predikcije rezultata.

Preporučuje se i eksperimentalna provera proračunskih i softverskih modela organizacijom periodičnih vežbi evakuacije. Redovne godišnje vežbe evakuacije doprinose edukaciji i pripremljenosti korisnika zgrade i obezbeđuju informacije iz realnog okruženja za optimizaciju virtuelnih modela.

## 9. NAPOMENA

Istraživanja u ovom radu su realizovana u okviru projekta Departmana za građevinarstvo i geodeziju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu: "Razvoj i primena savremenih postupaka za projektovanje, građenje i održavanje građevinskih objekata".

## LITERATURA

[1] Laban, M, Dražić, J, Vukoslavčević, S, Energy efficiency improvement and fire safety of building

facades, International Scientific Conference on INDUSTRIAL SYSTEMS– IS '14 (2014), Novi Sad, str. 428

[2] Bulletin World Fire Statistics Centre. The Geneva Association №29 (2014), [www.genevaassociation.org/media/874729/ga2014-wfs29.pdf](http://www.genevaassociation.org/media/874729/ga2014-wfs29.pdf)

[3] Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Text with EEA relevance), dostupno na [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/legislation/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/legislation/index_en.htm)

[4] Zakon o izmenama i dopunama zakona o planiranju i izgradnji "Sl. glasnik RS", br. 132/2014.

[5] Zakon o izmenama i dopunama zakona o zaštiti od požara "Sl. glasnik RS", br. 20/15.

[6] International Association of Fire and Rescue Services, World Fire Statistics Report No 19, Center of Fire Statistics of CTIF, <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics>, 2014.

[7] Erica D. Kuligowski, The Process of Human Behavior in Fires, Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory NIST Technical Note 1632, U.S. Department of Commerce 2009.

[8] Tehnička preporuka za zaštitu od požara stambenih, poslovnih i javnih zgrada SRPS TP 21, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, str. 19-23, 2002.

[9] Zakon o zaštiti od požara "Sl. glasnik RS", br. 111/2009, 132/2014

[10] Erica D. Kuligowski, Richard D. Peacock - A Review of Building Evacuation Models, Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory Technical Note 1471, U.S. Department of Commerce 2005

[11] Jevtić, R, Blagojević, M, Simulation of the school object evacuation, Tehnika, Vol. 68, br. 2, pp. 365-370, 2013.

[12] Long Shi, Qiyuan Xie, Xudong Cheng, Long Chen, Yong Zhou, Ruifang Zhang, Developing a database for emergency evacuation model, Building and Environment 44 str. 1724–1729, 2009.

[13] SRPS UJ.1. 051. Ponašanje građevinskih materijala u požaru, pregled klasifikacija građevinskih materijala

[14] Uredba o razvrstavanju, objekta, delatnosti i zemljišta u kategorije ugroženosti od požara, „Sl. Glasnik RS br. 76/2010.

[15] SRPS UJ1.240:1994. Zaštita od požara – Stepen otpornosti zgrade prema požaru

[16] Krstić, D, Martić, R, Stanojević, V, Krnjetin, S., Elabarat zaštite od požara zgrade Departmana za građevinarstvo, str. 19-21, 2010.

[17] Uputstvo za korišćenje, Pathfinder 2013, Thunderhead Engineering, decembar 2014.

## SUMMARY

### EVACUATION ROUTES PERFORMANCES AND FIRE SAFETY OF BUILDINGS

*Residential buildings, public and business facilities with large number of occupants are particularly exposed to the risk of event with catastrophic consequences, especially in case of fire. Evacuation routes must be separated fire compartments with surfaces made of non-combustible materials. Safe evacuation of building occupants in case of fire is a crucial requirement for the preservation of human life in building. In our engineering practice, calculation model is usually applied in order to determine the time required for evacuation (SRPS TP 21). However, evacuation simulation models are more present in research papers, contributing to better assessment of flow of evacuation in the real time. These models could provide an efficient way of testing the safety of a building in the face of fire and indicate critical points at the evacuation paths. Computer models enable the development and analysis of multiple various scenarios during a fire event, contributing to defining the measures for improving the safety of the building in case of fire. This paper analyses the fulfilment of technical requirements for the safe evacuation and proposes improvement measures based on a comparative analysis of the time required for occupants' evacuation from the building (Department of Civil Engineering and Geodesy in Novi Sad), obtained by calculation model and by using evacuation simulation software.*

**Key words:** *fire safety, evacuation, calculation, simulation, modelling*