

Analiza kapaciteta poletno-sletne staze na Aerodromu Niš

ALEKSANDRA P. SVORCAN, Univezitet u Beogradu
Saobraćajni fakultet, Beograd
BOJANA D. MIRKOVIĆ, Univezitet u Beogradu
Saobraćajni fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 625.717.3(497.11)
DOI: 10.5937/tehnika2302207S

U ovom radu prikazana je analiza kapaciteta poletno-sletne staze na Aerodromu „Konstantin Veliki“ u Nišu. Proračunat je kapacitet tekuće konfiguracije sa samo jednom spojnicom između poletno-sletne staze i platforme (Scenario 1), i upoređen sa kapacitetom konfiguracije sa paralelnom rulnom stazom duž cele poletno-sletne staze (Scenario 2). Rad je motivisan tekućim unapređenjima aerodromske infrastrukture na Aerodromu Niš, koja između ostalog uključuje i unapređenje sistema rulnih staza.

Ključne reči: aerodrom, poletno-sletna staza, sistem rulnih staza, kapacitet

1. UVOD

Aerodrom „Konstantin Veliki“ Niš je drugi najveći aerodrom u Republici Srbiji. Nalazi se na jugoistoku Srbije, na 4 km od centra Niša i na 234 km a od glavnog grada Beograda. Ovakav položaj aerodroma je povoljan u pogledu mogućnosti za rast vazdušnog saobraćaja. Da bi se to i ostvarilo, neophodna je obezbediti dovoljne ponuđene kapacitete, kroz pravo vreme unapređenje aerodromske infrastrukture.

Na niškom aerodromu sistem rulnih staza čini samo jedna spojnica (TWY D) koja povezuje poletno-sletnu stazu (PSS) sa platformom, zbog čega je ponuđeni kapacitet PSS značajno ograničen. Sa prostim sistemom rulnih staza, kao što je ovaj, nije moguće ostvariti cirkularni tok saobraćaja između PSS i platforme. PSS se, osim za poletanja i sletanja, koristi i za taksiranje vazduhoplova. Time se zauzeće PSS značajno produžava i ono postaje kritično u odnosu na razdvajanja u vazduhu. To direktno utiče i na smanjenje propusne moći PSS.

Rešenje se ogleda u izgradnji paralelne rulne staze duž dela ili cele dužine PSS, koja bi omogućila cirkularni tok i nesmetano odvijanje saobraćaja na aerodromu. Osim poboljšanja koja se odnose na kapacitet i propusnu moć aerodroma, paralelna rulna staza doprinosi i bezbednosti odvijanja operacija na aerodromu,

tako što omogućava da se PSS koristi samo za operacija poletanja i sletanja, dok se taksiranja odvijaju na za to predviđenoj površini, rulnoj stazi. Aerodrom Niš je u postupku proširenja svoje infrastrukture (paralelna rulna staza i pristanišna zgrada). U skladu sa tekućim radovima na proširenju aerodroma u ovom radu je proračunat kapacitet PSS za tekuću infrastrukturu i upoređen sa kapacitetom sa unapređenom infrastrukturom.

Poglavlje 2 se odnosi na istorijski razvoj Aerodroma Niš do danas (2022. godina). U Poglavlju 3 dat je proračun kapaciteta PSS za dva scenarija. Scenario 1 je tekuće stanje, a Scenario 2 se odnosi na promene kapaciteta PSS ukoliko bi se izgradila paralelna rulna staza. Prikazana je i uporedna analiza postojećeg stanja i predloženih promena. Na samom kraju dat je zaključak rada.

2. AERODROM NIŠ KROZ ISTORIJU

Poletno-sletna staza, dužine 2.200 m i širine 45 m, izgrađena je 1952. godine, a tek 34 godine kasnije Aerodrom Niš je zvanično otvoren za civilni vazdušni saobraćaj (1986), pri čemu je obuhvatao već pomenutu PSS, rulnu stazu dužine 290 m i širine 20 m, pristanišnu platformu dimenzija 70 m x 120 m sa dve parking pozicije, putnički terminal površine 1.700 m², bazu za tehničke popravke, i spasilačko-vatrogasnu službu, površine 800 m² i kargo terminal površine 1100 m². [1]

Saobraćaj je bio u porastu sve do 1999. godine tj. do početka NATO bombardovanja SR Jugoslavije, tokom kojeg je PSS za na aerodromu u Nišu pogođena 57 puta (11% ukupne površine PSS je oštećeno) [2], a

Adresa autora: Aleksandra Svorcan, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

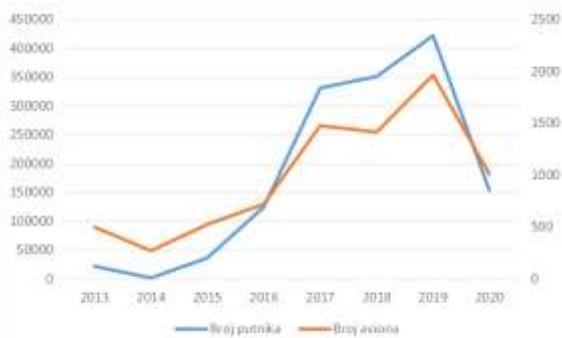
e-mail: aleksandra_svorcan@hotmail.com

Rad primljen: 19.08.2022.

Rad prihvaćen: 26.01.2023.

ostale površine za kretanje, kao i putnički terminal su pretrpele značajna oštećenja. U periodu od 1999. do 2003. radilo se na rekonstrukciji aerodroma, kako bi on što pre bio pušten u saobraćaj. Donacijom Vlade Kraljevine Norveške, data je finansijska potpora za sprovođenje programa obnove PSS i ostalih oštećenih površina. Rezultat ovog programa rekonstrukcije su [1]:

- Obnova i produženje PSS na 2.500 m;
- Rekonstrukcija i povećanje dimenzija pristanišne platforme na 100 m x 275 m, i
- Obnova i povećanje površine putničkog terminala na 2300 m².



Slika 1 – Saobraćaj na Aerodromu Niš u periodu od 2013. do 2020. godine

Nakon što je 2003. godine aerodrom ponovo pušten u saobraćaj, narednih godina beleži porast saobraćaja, pri čemu su putnički saobraćaj većinski obavljale čarter aviokompanije. Na slici 1 prikazan je obim saobraćaja (putnici i avioni) za period 2013-2020. Krajem 2013. godine grad Niš je ukinuo subvencije aviokompaniji Montenegro Airlines, zbog čega je 2014. godine došlo do značajnog pada u obimu saobraćaja. Sredinom 2015. godine niskotarifna aviokompanija Wizz Air je počela da leti prema Bazelu i Malmeu, a već naredne godine, najveća niskotarifna aviokompanija u Evropi, Ryanair uspostavila je saobraćaj sa niškog aerodroma. Godine 2019. prevezeno je rekordnih 422.255 putnika [3]. Međutim, usledio je period COVID-19 pandemije koja je pogodila vazdušni saobraćaj na globalnom nivou. Broj prevezenih putnika u 2020. godini opao je za više od 60%, na ispod 155.000.

Aerodrom trenutno ima jednu asfaltnu PSS u geografskom smeru 113.53 - 293.55, sa oznakama 11/29 dužine 2500 m i širine 45 m i jednu travnatu stazu, iste orijentacije, dimenzija 1.700 m x 50 m. Oba praga na asfaltnoj PSS su izmeštena, i to prag 11 za 219 m, a prag 29 za 300 m. Postoji jedna rulna staza širine 25 m, koja spaja PSS bliže pragu 29 i platformu sa četiri parking pozicije.

Referentna oznaka aerodroma je 4D. Zbog ograničenja na platformi ne mogu biti prihvaćeni svi avioni D kategorije, već samo do razmaha krila 44 m.

U toku je unapređenje infrastrukture aerodroma koje, između ostalog, podrazumeva izgradnju paralelne rulne staze i unapređenje kategorije aerodroma na 4E.

3. PRORAČUN KAPACITETA POLETNO-SLETNE STAZE

Kapacitet PSS podrazumeva kapacitet podsistema koji se sastoji od dela vazdušnog prostora u neposrednoj vezi sa PSS (sa navigacionim sredstvima i postupcima) i same PSS, uključujući i lokacije i tipove izlaza. Svi vazduhoplovi moraju proći zajednički deo putanje γ između tačke ulaza u podsystem i praga PSS (5-10 Nm), i kasnije deo PSS do izlaza koji budu koristili.

Osnovna pravila za bezbedno odvijanje operacija na PSS su [4]:

- Svaka dva aviona u vazduhu (i i j) ne smeju biti bliži jedan drugom od minimalnog razdvajanja koje propisuje kontrola letenja;
- Na PSS ne mogu istovremeno biti dva aviona i i j (i je vodeći avion, a j ga sledi), odnosno kada je avion j na pragu, avion i je već morao da je napustio PSS.

Razdvajanja zavise od wake turbulence (WT) kategorije vodećeg (i) i pratećeg (j) aviona, koja se vrši prema maksimalnoj sertifikovanoj masi na poletanju (Maximum Take-off Weight – MTOW). ICAO [5] prepoznaje tri WT kategorije (laki, srednji i teški) i razdvajanja aviona u vazduhu od 3 do 6 Nm u zavisnosti od kategorije vodećeg i pratećeg aviona.

Kapacitet PSS (λ) se računa kao recipročna vrednost matematičkog očekivanja međuvremena prolaska dva uzastopna aviona preko praga PSS (\bar{t}):

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}} \quad (1)$$

pri čemu se \bar{t} računa kao:

$$\bar{t} = \sum_{i,j} t_{ij} \cdot p_{ij} \quad (2)$$

Verovatnoća pojave para aviona (i,j) p_{ij} se računa kao proizvod udela tipa vazduhoplova i (p_i) i vazduhoplova j (p_j) u vršnom periodu:

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j \quad (3)$$

Vremensko razdvajanje para vazduhoplova (i,j) t_{ij} treba da ispuni pravila za bezbedno odvijanje operacija na PSS. Računa se kao kritičnije od vremena razdvajanja aviona u vazduhu (${}_v t_{ij}$), i vremena zauzeća PSS za avion i (${}_z t_i$).

$$t_{ij} = \max({}_z t_i, {}_v t_{ij}) \quad (4)$$

Vremensko razdvajanje aviona u vazduhu proračunava se na osnovu dužinskog razdvajanja aviona u

vazduhu (δ_{ij}) u zavisnosti od WT kategorije vazduhoplova i i j i brzine tih aviona u završnom prilazu (v_i i v_j).

Ukoliko je brzina vodećeg aviona veća od aviona sledbenika ($v_i > v_j$), minimalno razdvajanje se obezbeđuje na ulazu u sistem (na rastojanju γ od PSS) i ono je jednako:

$$vt_{ij} = \frac{\gamma + \delta_{ij}}{v_j} - \frac{\gamma}{v_i} \quad (5)$$

U slučaju pojave para aviona koji su iste brzine ili je prvi sporiji ($v_i \leq v_j$), razdvajanje se vrši na pragu i računa se kao:

$$vt_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{v_j} \quad (6)$$

Na istoj PSS, mogu se opsluživati istovremeno operacije sletanja i poletanja. Da bi se izračunao kapacitet PSS u slučaju mešovitih operacija, potrebno je odrediti vreme potrebno da se jedno poletanje ubaci između dva sletanja pt_{ij} :

$$pt_{ij} = zt_i + \frac{p\delta}{v_j} \cdot 3600 \quad (7)$$

Ovo vreme treba da ispuni sledeće uslove: da je avion i napustio PSS, a avion j na barem $p\delta$ (uobičajeno 2 Nm) od PSS.

Postoje dve varijante mešovitih operacije. Jedna je da sletanja imaju prioritet, i da se poletanja umeće samo između sletanja gde je uslov $t_{ij} \geq pt_{ij}$ ispunjen. Druga varijanta je da sletnja vremenski razmičemo tako da se omogućiti umetanje poletanja između svaka dva sletanja ($t_{ij}' = \max(t_{ij}, pt_{ij})$).

Kapacitet PSS za poletanja se računa na osnovu vremenskog razdvajanja poletanja koje se kreće od 45 s do 120 s, u zavisnosti od kategorije vazduhoplova.

3.1. Kapacitet poletno-sletne staze za tekuću infrastrukturu – Scenario 1

Kapaciteta PSS na Aerodromu Niš proračunat je na osnovu podataka za vršni dan 2019. godine (16. avgust) kada su u vršnom satu (9-10h) bili zastupljeni samo vazduhoplovi WT kategorije *Medium* (M), [6]. To znači da će se u proračuni koristiti samo sekvenca (M M), odnosno da se razdvajanja u vazduhu računaju po jednačini (6). Prema ICAO [5] kategorizaciji prilaza, usvojena brzina u prilazu ovog tipa aviona je 130 kt, a minimalno dužinsko razdvajanje u vazduhu za par aviona (M,M) je 3 Nm. Odatle vremensko razdvajanje za ovaj par aviona iznosi 83.1 s.

U tabeli 1 prikazana vremena kretanja po zemlji nakon sletanja i pre poletanja koja su izvedena iz vremena sletanja, rulanja i poletanja merenih u svrhu izrade simulacionog modela operacija vazduhoplova na Aerodromu Niš [7].

Tabela 1. Izmerena vremene zauzeća PSS

Operacija	PSS	Trajanje (min)
Sletanje i rulanje do platforme	11	2,5
Sletanje i rulanje do platforme	29	5,5
Rulanje do PSS i poletanje	11	6,5
Rulanje do PSS i poletanje	29	2,5

Izmereno vreme od prelaska praga PSS u sletanju do platforme je 2,5 min za operacije sletanja na PSS11, slika 2. Ovo vreme uključuje i rulanja do platforme rulnom stazom D, za koje je usvojeno da je 1 min. Vreme zauzimanja PSS u sletanju na PSS 11 je preostalih 1,5 min.



Slika 2 – Sletanje na PSS 11

Ukupno vreme na zemlji u poletanju sa PSS 11, slika 3, sastoji se od vremena rulanja rulnom stazom D od platforme do PSS, vreme rulanja na PSS (3 min) i vreme poletanja (t_p) za koje je usvojeno da je 1,5 min.



Slika 3 – Poletanje sa PSS 11

Na isti način određena su vremena zauzimanja PSS za slučaj sletanja na PSS 29 (slika 4) i poletanja sa PSS 29 (slika 5).

Vremena zauzeća PSS za operacije sletanja (zt_i) i za operacije poletanja (zt_p) data u tabeli 1 su korišćena dalje u proračunu kapaciteta.

Prost sistem rulnih staza, kao što je na Aerodromu Niš ima za rezultat da je razdvajanje na zemlji (zt_i) kritičnije od razdvajanja u vazduhu (83.1s), u slučaju operacija sletanja, što znači da je: $t_{ij} = zt_i$. Kapacitet sletanja za PSS 11 je 40 operacija/h, a za PSS 29 je 11 operacija/h.

Dodatno, sistem rulnih staza koji se sastoji od samo jedne spojnice značajno ograničava kapacitet mešovitih operacija na PSS, zbog toga što se „razmena“ operacija može obaviti tek na platformi.



Slika 4 – Sletanje na PSS 29



Slika 5 – Poletanje sa PSS 29, sa mesta priključenja rulne staze na PSS

Tabela 2. Vreme zauzeća PSS u sletanju i u poletanju

Vreme zauzeća PSS	PSS 11	PSS 29
U sletanju $z t_i$	90 s	330 s
U poletanju $z t_p$	270 s	90 s

Vreme potrebno za umetanje poletanja između dva sletanja, u ovakvom sistemu se ne može računati po uobičajenom izrazu (7) već se koristi modifikovani izraz (8). U ovom izrazu $x_z t_{TWYD}$ predstavlja vreme rulanja koje iznosi 1 min, a t_p vreme poletanja – 1,5 min.

$$p t_{ij} = z t_i + 2 x_z t_{TWYD} + z t_p - t_p + \frac{p \delta}{v_j} \cdot 3600 \quad (8)$$

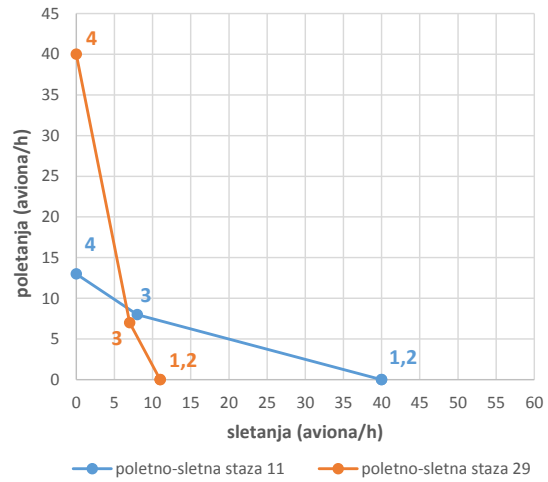
Vreme potrebno za umetanje poletanja između ($p t_{ij}$) dva sletanja za PSS 11 je 445 s, a za PSS 29 je 505 s. U oba slučaja nije moguće umetnuti ni jedno poletanje bez dodatnog razdvajanja aviona u sletanju ($t_{ij} < p t_{ij}$).

Zbog toga je kapacitet mešovitih operacija kada prioritet imaju sletanja isti kao kapacitet sletanja. Kapacitet mešovitih operacija kada se naizmenično obavljaju operacije poletanja i sletanja (proračunat iz $t_{ij}' = \max(t_{ij}, p t_{ij}) = p t_{ij}$) je 16 operacija/h za PSS 11, odnosno 14 operacija/h za PSS 29.

Na osnovu vremena zauzetosti PSS u poletanju ($z t_p$) dobija se PSS za poletanja od samo 13 operacija/h za PSS 11 i 40 operacija/h za PSS 29.

Na slici 6 date su proračunate vrednosti kapaciteta samo za operacije sletanja (tačka 1), za mešovite operacije sa prioriternim sletanjima (tačka 2), za umetanje poletanja između svakakog sletanja (tačka 3)

i samo za operacije poletanja (tačka 4), za PSS 11 i PSS 29.



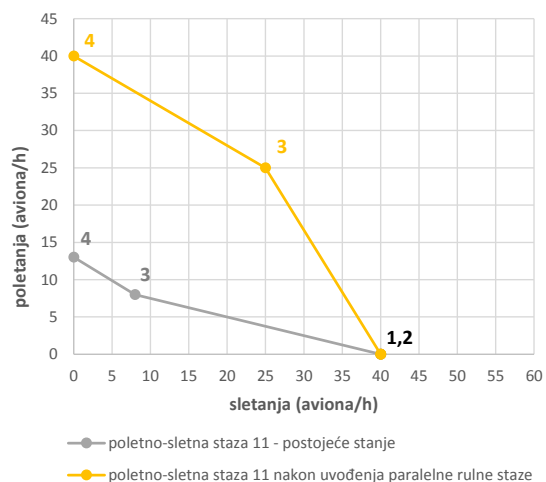
Slika 6 – Kapacitet PSS 11 i PSS 29, tekuće stanje

3.2. Kapacitet poletno-sletne staze sa paralelnom rulnom stazom – Scenario 2

Uvođenje paralelne rulne staze, dovodi do promene načina odvijanja saobraćaja na PSS 11 za operacije poletanja (slika 7).



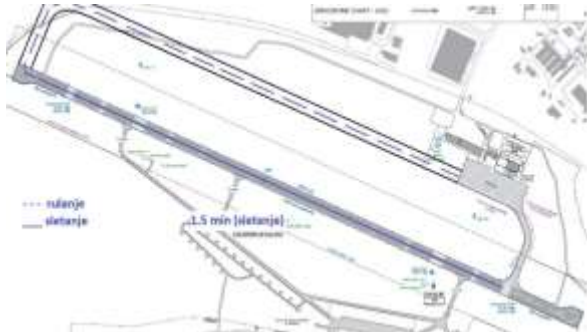
Slika 7 – Poletanje sa PSS 11, novo rešenje



Slika 8 – Kapacitet PSS 11 tekuće stanje vs. paralelna RS

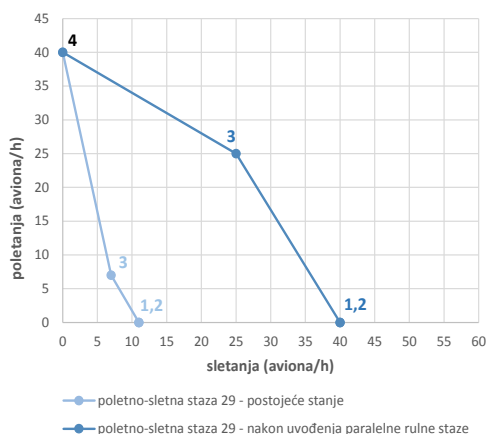
Avioni koriste paralelnu rulnu stazu do izlaska na PSS 11. Time je vreme zauzimanja PSS prilikom operacija poletanja sa PSS 11 značajno skraćeno (sa 270 s na 90 s), što ima za rezultat viši kapacitet poletanja (slika 8, tačka 4). Kapacitet sletanja ostaje nepromenjen (slika 8, tačka 1) kao i kapacitet mešovite operacija kada se daje prioritet operacijama sletanja (slika 8, tačka 2).

Potrebno vreme za umetanje poletanja između dva sletanja se računa po izrazu (7) i značajno skraćuje (sa 445 s na 145 s), i značajno se povećava kapacitet mešovite operacija kada se naizmenično obavljaju poletanja i sletanja (slika 8, tačka 3).



Slika 9 – Sletanja na PSS 29, novo rešenje

Uvođenje paralelne rulne staze, dovodi do promene u načinu odvijanja saobraćaja i na PSS 29, slika 9. Dolazi do skraćivanja vremena zauzimanja PSS prilikom operacija sletanja na PSS 29 (sa 330 s, na 90 s), što ima za rezultat viši kapacitet sletanja, a istovremeno i mešovite operacija kada sletanja imaju prioritet (slika 10, tačke 1 i 2). vreme potrebno za umetanje poletanja između dva sletanja se skraćuje (sa 505 s na 145 s). Kapacitet mešovite operacija se značajno uvećava (slika 10, tačka 3). Kapacitet poletanja ostaje nepromenjan (tačka 4, slika 10).



Slika 10 – Kapacitet PSS 29 tekuće stanje vs. paralelna RS

U tabeli 3 da sumirane propačunate vrednosti kapaciteta PSS pre i posle uvođenja paralelne rulne staze za PSS 11 i PSS 29.

Tabela 3. Kapacitet PSS11 i PSS29 u SC1 i SC2

Kapacitet PSS	PSS 11 SC 1	PSS 11 SC 2	PSS 29 SC 1	PSS 29 SC 2
sletanja (1)	40	40	11	40
Mešovite (2)	40+0	40+0	11+0	40+0
Mešovite (3)	8+8	25+25	7+7	25+25
Poletanja (4)	13	40	40	40

4. ZAKLJUČAK

Analiza kapaciteta PSS na Aerodromu Niš pokazuje da se uvođenjem paralelne rulne staze ostvaruje značajno povećanje propusne moći PSS 11 za operacije poletanja, PSS 29 za operacije sletanja i u oba slučaja za mešovite operacije. PSS sa paralelnom rulnom stazom ima istu propusnu moć u oba smera, a bezbednost odvijanja saobraćaja se značajno povećava. Dodatno, cirkularni tok saobraćaja omogućava i bolje iskorišćenje ostalih elemenata infrastrukture, kao što je platforma aerodroma.

U slučaju aerodroma sa jednom PSS prvi korak u povećanju kapaciteta PSS jesu infrastrukturna poboljšanja, ukoliko ograničenje kapaciteta dolazi od nedovoljno razvijenog sistema rulnih staza. To podrazumeva izgradnju paralelne rulne staze, kao u primeru Aerodroma Niš, i dodatnih izlaznica ili brzih izlaznica (na primer [8]). Dalja poboljšanja propusne moći jedne PSS [9] se mogu ostvariti promenom procedura prilaza na aerodrom, koje nam omogućava savremena tehnologija - prilazi pod većim uglom, smaknuti prilazi i zakrivljene putanje u prilazu.

5. ZAHVALNICA

Ovo istraživanje podržalo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Posebna zahvalnost upućena je Aerodromu Niš koji se pružio potrebne podatke za ovo istraživanje.

LITERATURA

- [1] Aerodrom „Konstantin Veliki“ Niš, Istorija, dostupno na: <https://nis-airport.com/istorijat/> (poslednji put posećeno: avgust 2021).
- [2] Aerodrom „Konstantin Veliki“ Niš (2002), Airport Nis facts, Niš, Srbija
- [3] Aerodrom „Konstantin Veliki“ Niš, Statistika, dostupno na: <https://nis-airport.com/statistika/> (poslednji put posećeno: avgust 2021)
- [4] Tošić V, Mirković B. *Vazduhoplovna pristaništa 1*, drugo izdanje. Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija, 2019.

- [5] International Civil Aviation Organization ICAO Doc 4444 Air Traffic Management, šesnaesto izdanje, Montreal Canada, 2016
- [6] Svorcan A. *Analiza kapaciteta vazdušne strane Aerodroma „Konstantin Veliki“* Niš, završni rad, Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija, 2021.
- [7] Pavlović G, Mirković B. *Simulations of airside operations at Airport Nis*, Zbornik radova sa XLVI Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Kladovo, Srbija, pp. 687-692, 2019.
- [8] Šljukić S, Đogatović M, Mirković B. Simulacioni model za određivanje lokacije izlaza u zavisnosti od vremena zauzetosti poletno-sletne staze, *Zbornik radova sa XLVI Simpozijuma o operacionim istraživanjima*, Kladovo, Srbija, pp. 705-710, 2019.
- [9] Tošić V, Mirković B. Investigating Untapped Capacity at Single-Runway Airports using Short Final Curved Approach, Dual Glide Slope, and Double Threshold. *Transportation Research Record*, 2020, Vol. 2674, issue 9, pp. 1136-1146, 2020.

SUMMARY

RUNWAY CAPACITY ANALYSIS AT NIS AIRPORT

The paper deals with the runway capacity analysis at Airport Konstantin the Great in Niš. Runway capacity with the current infrastructure (Scenario 1) is estimated and compared to runway capacity after the parallel taxiway is introduced (Scenario 2). This paper is motivated by the current development of Nis Airport infrastructure that, among others, includes taxiway system improvements.

Key Words: *airport, runway, taxiway system, capacity*