

**FAZI EKSPERTSKI SISTEM ZA PODRŠKU ODREĐIVANJU  
POLETNO-SLETNIH STAZA U UPOTREBI  
PRIMER: AERODROM CIRIH  
FUZZY EXPERT SUPPORTING SYSTEM FOR  
DETERMINATION OF RUNWAY IN USE  
CASE STUDY: AIRPORT ZURICH**

Feđa Netjasov

**REZIME:** Određivanje poletno-sletne staze u upotrebi na aerodromima sa više poletno-sletnih staza je kombinatoran problem sa većim brojem ograničenja. Ovaj problem rešavaju kontrolori letenja u realnom vremenu što dodatno doprinosi složenosti problema. Zbog toga je u radu predstavljen prototip sistema za određivanje poletno-sletne staze u upotrebi zasnovan na ekspertskom znanju i fazi logici kojim se maksimizira iskorišćenje kapaciteta i minimizira nivo buke. U radu je predstavljena struktura sistema za podršku odlučivanju koji se sastoji iz dva dela. Prvi deo predstavlja fazi modele, čije izlazne rezultate koristi drugi deo – ekspertski sistem. Razvijeni sistem se odnosi na aerodrom Cirihi ali se logika i struktura mogu lako primeniti na bilo koji drugi aerodrom.

**KLJUČNE REČI:** PODRŠKA ODLUČIVANJU, FAZI LOGIKA, EKSPERTSKI SISTEM, AERODROMI, KONTROLA LETENJA

**ABSTRACT:** Determination of runways in use at an airport with multiple runways is a combinatorial problem with many constraints. This problem is solved by air traffic controllers in real time, which results in additional difficulties. This paper presents a prototype of a system for the determination of runways in use based on expert knowledge and fuzzy logic, by means of which the usability of runway capacity is maximized and noise level minimized. Paper presents a structure of decision support system consisting of two parts. First part presents fuzzy models, whose outputs are used in second part- expert system. Developed system is designed for Zurich airport but its logic and structure could easily be applied to any other airport.

**KEY WORDS:** DECISION SUPPORT, FUZZY LOGIC, EXPERT SYSTEM, AIRPORTS, AIR TRAFFIC CONTROL

#### UVOD

Služba aerodromske kontrole letenja je zadužena za kontrolisanje, tj. nadzor saobraćaja u poletanju i sletanju na određeni aerodrom a sve u cilju bezbednog, redovnog i ekspeditivnog odvijanja saobraćaja. Kontrolori letenja koji rade u ovoj službi locirani su u kontrolnom tornju na aerodromu. Kontrolori letenja vizuelnim putem nadgledaju odvijanje saobraćaja (direktno ili dvogledom kroz prozor tornja) a komunikaciju sa avionima ostvaruju putem radio veze na određenoj frekvenciji.

Za obavljanje posla kontrolori letenja pored neposrednog uvida u saobraćajnu situaciju, imaju i pregled buduće saobraćajne situacije (za nekoliko desetina minuta unapred) u obliku stripova (papirnih obrazaca koji sadrže neophodne informacije o svakom avionu čije se sletanje ili poletanje očekuje). Takođe preko elektronskih pokazivača dobijaju informacije o kontinualnim promenama pravca i intenziteta vetra a takođe na posebnim monitorima i meteorološke prognoze za nekoliko sati unapred, koje sadrže neophodne informacije o vidljivosti, visini baze oblaka, vidljivosti duž poletno-sletnih staza, količini oblačnosti, padavinama, itd.

Jedna od obaveza aerodromskih kontrolora letenja je da u skladu sa meteorološkim uslovima i saobraćajnom situacijom određuje koja će poletno-sletna staza (PSS) biti u upotrebi. Ovim se omogućava da avioni bezbedno obavljaju svoje operacije (poletanja i sletanja) sa što manjim kašnjenjem. Takođe, tokom

određivanja PSS u upotrebi kontrolori letenja vode računa i o iskorišćenju raspoloživih kapaciteta aerodroma i nivou buke (ovo je poseban problem kod aerodroma sa većim brojem PSS-a).

#### DEFINICIJA PROBLEMA

Problem određivanja PSS-a u upotrebi se karakteriše rešavanjem u realnom vremenu. U nekom momentu vremena, u zavisnosti od meteoroloških uslova i planirane saobraćajne potražnje, kontrolor letenja određuje staze u upotrebi rukovodeći se ciljem maksimiziranja iskorišćenja raspoloživog kapaciteta aerodroma izraženog kroz časovni broj operacija i minimiziranjem nivoa buke u okolini aerodroma. Jednom kada se odrede PSS-e u upotrebi, kontrolori dalje obavljaju posao samo sa težnjom bezbednog i redovnog odvijanja saobraćaja, sve dok se meteorološki uslovi ili planirana saobraćajna potražnja ne promene toliko da uzrokuju promenu staza u upotrebi.

Uzevši u obzir prethodno navedene činjenice, može se zaključiti da se kod aerodroma sa više PSS susrećemo sa veoma kompleksnim procesom donošenja odluka. To iz razloga što postoji veći broj dopustivih kombinacija staza u upotrebi pri čemu se svaka karakteriše određenim kapacitetom. Time se ovaj problem može okarakterisati kao kombinatoran. Sa druge strane koja staza će biti namenjena upotrebi u određenom momentu vremena zavisi svakako i od subjektivne ocene meteorološke i saobraćajne situacije od strane kontrolora letenja. Njihove ocene u mnogome zavise od iskustva, starosne dobi, karakteristika ličnosti i sličnih parametara.

U procesu donošenja odluka o stazi u upotrebi kontrolori letenja raspolažu čitavim spektrom podataka različite prirode i tačnosti. Neke od njih, iako ih dobijaju u eksplicitnoj formi oni, zbog specifičnosti svog posla, doživljavaju subjektivno (tj. u lingvističkoj formi) i takve ih koriste u procesu odlučivanja (npr. podatak o visini baze oblaka od 300ft oni doživljavaju kao "nisku" bazu, vidljivost od 8600m kao "dobru" vidljivost, očekivani broj aviona na poletanju od 37 kao "veliki" broj poletanja i slično). Sa druge strane, neke od podataka koje dobijaju u eksplicitnoj formi oni tako i doživljavaju i u procesu odlučivanja ih i koriste kao eksplicitne (npr. intenzitet vetra od 12kt ili pravac vetra – jugo-zapad).

Zbog prirode ulaznih promenljivih, tj. njihovog subjektivnog doživljaja, kao i zbog individualnih razlika između kontrolora letenja, u ovom radu će biti prikazan "ekspertski" model donošenja odluke o stazama u upotrebi baziran na fazi logici na primeru aerodroma Cirih u Švajcarskoj. Zamisljeno je da ovaj model može da služi aerodromskim kontrolorima letenja na ovom aerodromu počev od 2005-e godine kada će započeti primena novih operativnih koncepata, tj. određenih kombinacija PSS-a u upotrebi (Slika 1).

Iz razloga što navedeni koncepti još uvek nisu zaživeli, ovaj model nije verifikovan, tj. ulazni podaci na bazi kojih je model definisan su u domenu realnih ali subjektivno ocenjenih od strane autora na bazi njegovog poznavanja problema i lokalnih prilika na aerodromu. Sa tim u vezi treba uzeti ovaj model sa rezervom i smatrati ga prototipom modela za podršku odlučivanju u procesu određivanja staza u upotrebi.



Slika 1. Pregled dopustivih operativnih koncepata na aerodromu Cirih

**Konceptualni model procesa donošenja odluke o stazama u upotrebi**

Proces donošenja odluka o stazi u upotrebi sastoji se od nekoliko koraka (Slika 2):

- određivanje meteoroloških uslova – na bazi vidljivosti i visine baze oblaka;
- određivanje operativnog koncepta u upotrebi – na bazi meteoroloških uslova i pravca vetra;
- raspoređivanje aviona na staze u upotrebi – na bazi operativnog koncepta u upotrebi i procenjenog časovnog broja poletanja i sletanja.

Ulazni podaci u procesu odlučivanja su zbog svoje prirode i doživljaja od strane kontrolora letenja podeljeni u tri grupe.

Prvu grupu čine meteorološki podaci koji se doživljavaju leksikografski i oni su predstavljeni kao fazi skupovi. To su:

- vidljivost (merena u km) i
- visina baze oblaka (merena u ft)

Dругu grupu čine meteorološki podaci koji se koriste u ek-

splicitnom obliku i tu spadaju:

- stanje PSS (vlažna ili suva);
- brzina vetra (merena u kt) i
- pravac iz kog vetar duva.

U treću grupu podataka spadaju podaci o planiranom saobraćaju koji se takođe doživljavaju lingvistički:

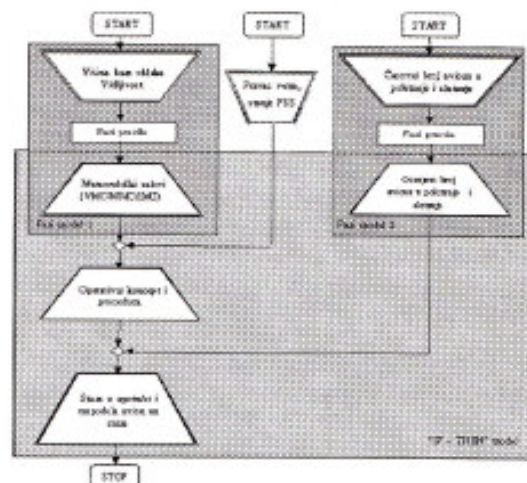
- planirani časovni broj poletanja i
- planirani časovni broj sletanja.

Zbog svega navedenog predloženo je da se proces donošenja odluke o stazama u upotrebi ostvaruje kroz tri modela:

**Fazi model 1:** na bazi vidljivosti i visine baze oblaka koje su predstavljene kao fazi skupovi određuju se meteorološki uslovi;

**Fazi model 2:** na bazi planiranih vrednosti časovnog broja poletanja i sletanja i apsolutne razlike između njih ocenjuje se vrednost broja poletanja i sletanja u narednom satu;

**"IF-THEN" model:** na bazi izlaznih rezultata iz Fazi modela 1 i 2 i podatka o pravcu vetra donosi se konačna odluka o operativnom konceptu u upotrebi i raspodeli aviona na staze.



Slika 2. Konceptualni model procesa donošenja odluka o stazama u upotrebi.

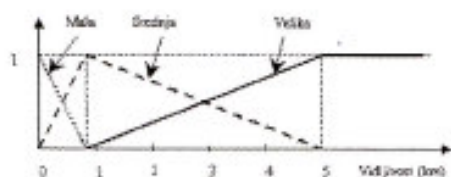
**Fazi model 1**

Kao što je već rečeno, u Fazi modelu 1 se na bazi vidljivosti i visine baze oblaka (koje se doživljavaju kao leksikografske i predstavljene su kao fazi skupovi) određuju meteorološki uslovi kao:

- vizuelni meteorološki uslovi - VMC (visual meteorological condition);
- marginalni meteorološki uslovi - MMC (marginal meteorological condition);
- instrumentalni meteorološki uslovi - IMC (instrumental meteorological condition).

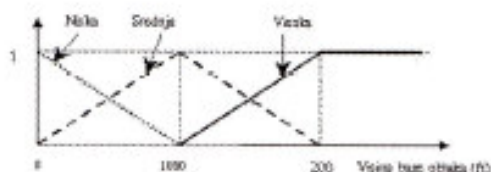
Ulazne promenljive koje se doživljavaju kao leksikografske predstavljene su fazi skupovima na sledeći način:

a) Vidljivost je predstavljena kao fazi skup koji sadrži 3 fazi broja: mala (od 0 do 800m), srednja (od 0 do 5km) i velika vidljivost (od 800m) (Slika 3).



Slika 3. Fazi skup "vidljivost"

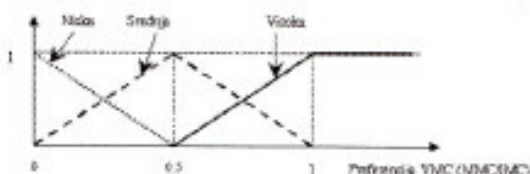
b) Visina baze oblaka je predstavljena kao fazi skup koji sadrži sledeća 3 fazi broja: niska (od 0 do 1000ft), srednja (od 0 do 2000ft) i visoka baza oblaka (od 1000ft) (Slika 4).



Slika 4. Fazi skup "visina baze oblaka"

Vrednosti granica fazi brojeva dobijene su na bazi meteoroloških preporuka i putem analize meteoroloških uslova za godinu dana (septembar 1999 - septembar 2000) na aerodromu Ciriha. Kao što se vidi pretpostavljeno je da su fazi brojevi trouglasti.

Pošto se kao izlaz iz modela dobija odluka vezana za meteorološke uslove onda su izlazne promenljive predstavljene u obliku fazi skupova "Preferencije VMC (ili MMC/IMC)". Fazi brojevi pripadajući navedenim fazi skupovima su predstavljeni kao trouglasti (Slika 5)



Slika 5. Fazi skup "preferencija VMC (MMC/IMC)"

Na bazi vrednosti fazi skupova "vidljivost" i "visina baze oblaka" definisana su fazi pravila na bazi kojih se određuje preferencija svakog tipa meteoroloških uslova. Pravila su prikazana u sledećim tabelama (Tabela 1).

Tabela 1. Preferencija VMC/MMC/IMC

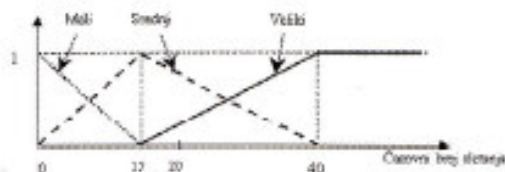
vidljivo	mala	M/S/V	S/V/S	S/V/S
	srednja	M/S/V	S/V/S	V/M/M
	velika	S/V/S	V/M/M	V/M/M
	niska	srednja	visoka	
	visina baze oblaka			

Konačan izbor tipa meteoroloških uslova vrši se na bazi vrednosti koeficijentata pripadnosti fazi skupovima "preferencija VMC/MMC/IMC" i to tako da se bira onaj tip meteoroloških uslova čiji je koeficijent pripadnosti najveći za date ulazne vrednosti vidljivosti i visine baze oblaka.

**Fazi model 2**

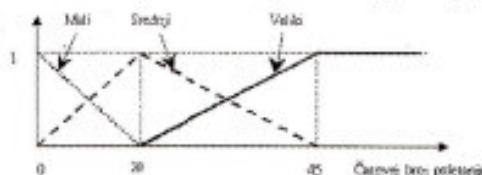
U Fazi modelu 2 se na bazi planiranog časovnog broja poletanja i sletanja i njihove apsolutne razlike (koji se doživljavaju kao leksikografski i predstavljeni su kao fazi skupovi) subjektivno ocenjuje broj poletanja i sletanja. Ulazne promenljive koje se doživljavaju kao leksikografske predstavljene su fazi skupovima na sledeći način:

a) Planirani časovni broj sletanja predstavljen je kao fazi skup koji sadrži 3 fazi broja: mali, srednji i veliki broj sletanja (Slika 6).



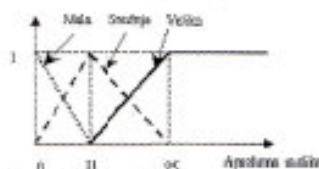
Slika 6. Fazi skup "časovni broj sletanja"

b) Planirani časovni broj poletanja predstavljen je kao fazi skup koji sadrži 3 fazi broja: mali, srednji i veliki broj poletanja (Slika 7).



Slika 7. Fazi skup "časovni broj poletanja"

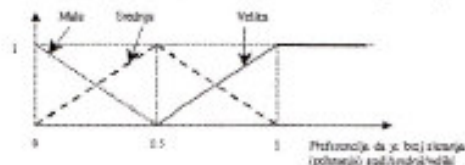
c) Apsolutna razlika planiranog časovnog broja poletanja i sletanja je predstavljena kao fazi skup koji sadrži 3 fazi broja: mala, srednja i velika razlika (Slika 8).



Slika 8. Fazi skup "apsolutna razlika"

Kao što se vidi pretpostavljeno je da su fazi brojevi trouglasti. Vrednosti osnova fazi brojeva dobijene su na bazi analize planiranog saobraćaja na aerodromu Ciriha iz novembra 2000. godine.

Kao izlaz iz Fazi modela 2 dobija se subjektivna ocena broja poletanja i sletanja pa su izlazne promenljive predstavljene u obliku fazi skupova "Preferencije da je broj poletanja mali (srednji/veliki)". Isto važi i za slučaj sletanja. Fazi brojevi pripadajući navedenim fazi skupovima su predstavljeni kao trouglasti (Slika 9).



Slika 9. Fazi skup "preferencija da je broj poletanja (sletanja) mali (srednji/veliki)"

Na bazi vrednosti fazi skupova "časovni broj poletanja" ("časovni broj sletanja") i "apsolutna razlika" definisana su fazi pravila na bazi kojih se određuje preferencija ocenjenog broja poletanja ili sletanja. Pravila su prikazana u sledećim tabelama, posebno za slučaj sletanja (Tabela 2) a posebno za slučaj poletanja (Tabela 3).

Tabela 2. Preferencija da je broj sletanja mali/srednji/veliki

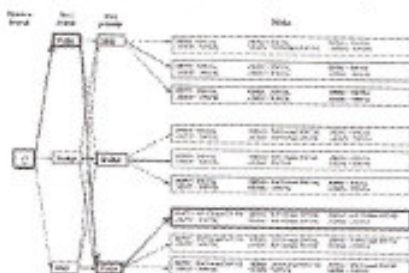
broj sletanja	mali	S/V/S	V/S/M	V/M/M
	srednji	M/S/V	S/V/S	V/S/M
	veliki	M/M/V	M/S/V	S/V/S
		mala	srednja	velika
apsolutna razlika				

Konačan izbor ocenjenog broja sletanja (poletanja) vrši se na bazi vrednosti koeficijenta pripadnosti fazi skupovima "preferencija da je broj sletanja (poletanja) mali/srednji/veliki" i to tako da se bira onaj broj sletanja (poletanja) čiji je koeficijent pripadnosti najveći za date ulazne vrednosti planiranog broja sletanja (poletanja) i apsolutne razlike planiranog broja sletanja i poletanja.

**Baza pravila**

Ovaj model na bazi rezultata Fazi modela 1 i uz dodatak podatka o pravcu vetra daje kao rezultat operativni koncept koji će se koristiti. Uz ovaj podatak i rezultate Fazi modela 2 dobija se raspodela saobraćaja na poletno sletne staze po kategorijama aviona. Raspodele saobraćaja koje se dobijaju kao konačan rezultat procesa donošenja odluka aerodromskog kontrolora letenja rezultat su prethodnih analiza na aerodromu Ciriha a koje se tiču problema minimiziranja buke u okolini aerodroma, tako da konačna odluka kontrolora letenja sadrži rešenje koje omogućava veće iskorišćenje kapaciteta aerodroma i smanjenje nivoa buke.

Primer pravila po kome se određuje konačan rezultat ovog modela dat je na Slici 10 za operativni koncept C i za razne kombinacije brojeva aviona u poletanju i sletanju.



Slika 10. Pravila raspodele aviona na staze u slučaju kada je u upotrebi operativni koncept C

**PROGRAMIRANJE**

Za potrebe programiranja fazi modela navedenih u prethodnom poglavlju korišćen je programski paket UNFUZZY 1.2 au-

tora Oscar D. Duarte-a sa Nacionalnog Univerziteta iz Kolumbije (1998). Ovaj paket se karakteriše izuzetnom lakoćom definisanja fazi skupova i pravila, kao i velikom fleksibilnošću. Dobijena je, takođe, i saglasnost autora za korišćenje ovog programskog paketa. Grafički interfejs ovog programskog paketa je "user friendly" i kroz nekoliko prozora omogućava lak unos određenih

Tabela 3. Preferencija da je broj poletanja mali/srednji/veliki

broj poletanja	mali	S/V/S	V/S/M	V/M/M
	srednji	M/S/V	S/V/S	V/S/M
	veliki	M/M/V	M/S/V	S/V/S
		mala	srednja	velika
apsolutna razlika				

parametara fazi skupova i brojeva, odabir načina defazifikacije, dobijanje izlaznih rezultata i njihovu grafičku prezentaciju.

Primenom ovog paketa napravljena su tri programa:

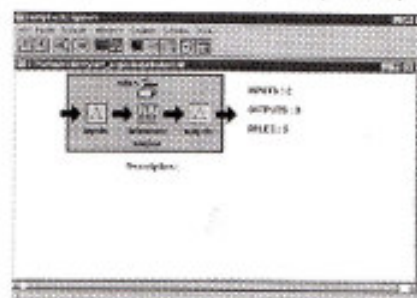
"Meteo Conditions" koji je stvoren na bazi Fazi modela 1 i služi za određivanje meteoroloških uslova;

"Departures" koji je razvijen na bazi Fazi modela 2 i služi za određivanje ocenjenog broja poletanja;

"Arrivals" koji je takođe razvijen na bazi Fazi modela 2 i služi za određivanje ocenjenog broja sletanja.

Za unos osnovnih podataka u programski paket UNFUZZY koristi se osnovni prozor (Slika 11). U okviru prozora se jednostavnim "klikom" na neki od ponuđenih ikonica otvara novi prozor u kome se mogu unositi parametri ulaznih promenljivih, izlaznih promenljivih, fazi pravila, relacije, itd.

Za potrebe korišćenja baze pravila napravljen je program "RunwayInUse" napisan u programskom jeziku Borland Pascal 7.0. Ovaj program je osmišljen kao interaktivni program u kome se u dva koraka unose ulazni podaci. U prvom koraku se unose meteorološki uslovi (kao rezultat fazi programa "Meteo conditions") a zatim pravac vetra (u stepenima od 0 do 360) i stanje poletno-sletne staze ("wet" or "dry"). Realizacijom ovog dela programa dobija se, kao rezultat, operativni koncept koji bi se trebao koristiti i odgovarajuća procedura sletanja (Slika 12). Po dobijanju ovog rezultata, unose se podaci o broju poletanja i sletanja u lingvističkoj formi (kao rezultati fazi programa "Departures" i "Arrivals"). Kao konačan rezultat dobija se raspodela aviona na staze u skladu sa pravilima iz baze pravila (Slika 12).



Slika 11. Osnovni prozor programskog paketa UNFUZZY



Slika 12. Izgled prozora programa "RunwayInUse"

**ZAKLJUČAK**

U ovom radu je prikazan jedan realan problem koji postoji kod aerodroma sa više poletno-sletnih staza – određivanje staza u upotrebi. Ovaj problem u realnim uslovima rešavaju aerodromski kontrolori letenja koji se prvenstveno rukovode ciljem omogućenja bezbednog, redovnog i ekspeditivnog odvijanja saobraćaja u poletanju i sletanju na posmatrani aerodrom.

Pošto se proces donošenja odluke vezan za izbor staze u upotrebi rešava u nekoliko koraka i pošto su ulazni podaci potrebni za ovaj proces po svojoj prirodi "fazi", pristupilo se izradi fazi ekspertskog modela donošenja odluka koji kontrolorima može služiti za evaluaciju sopstvenih rešenja ili za sugerisanje novih rešenja. Ovaj model se bazira na primeni dva fazi "pod" modela kojima se određuju ulazni podaci za treći model koji predstavlja bazu pravila. Jedan od pomenutih fazi modela odnosi se na meteorološke uslove a drugi na ocenu broja poletanja i sletanja koji predstavljaju ključne parametre za donošenje pomenute odluke.

Programi su razvijeni na primeru aerodroma Ciriha iz razloga što se raspolagalo velikom količinom saobraćajnih i meteoroloških podataka za ovaj aerodrom i zbog ličnog autorovog iskustva stečenog radom na njemu. Konačni rezultati primene pomenutih programa predstavljani su u formi staza u upotrebi i

raspodeli različitih tipova aviona, u poletanju i sletanju, na staze. Ovakav rezultat predstavlja rešenje početnog problema određivanja staza u upotrebi, koje istovremeno omogućava da se kapacitet aerodroma što više iskoristi a takođe i da se smanji buka u okolini aerodroma. Zbog ovoga se smatra da razvijeni fazi ekspertski model može biti od velike koristi u realnim uslovima.

Na kraju treba istaći da razvijeni ekspertski model nije verifikovan realnim podacima z razloga što pomenuta rešenja problema još uvek nisu zaživela u realnosti. Verifikacija bi svakako doprinela verodostojnosti razvijenog modela i zbog toga predstavlja budući korak u daljem razvoju ovog modela.

**LITERATURA:**

1. Dr Dušan Teodorović, Dr Shinia Kikichi: "Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju",
2. Saobraćajni Fakultet Beograd, 1994
3. Oscar G. Duarte: "UNFUZZY 1.2",
4. Universidad Nacional de Columbia, 1998.
5. Feda Netjasov: "Implementation of New Zurich Airport Capacity Concepts",
6. Unique Zurich Airport, Ciriha, Švajcarska, 2001.
7. Feda Netjasov: "Fuzzy Expert Model for Determination of Runways in Use – Case Study: Airport Zurich", referat na 30-om Simpozijumu iz operacionih istraživanja (SYM-OP-IS) u sekciji "Transport i saobraćaj", Herceg Novi, 2003.



Mr Feda Netjasov, dipl. ing.  
Asistent-pripravnik Katedra za aerodrome i bezbednost vazdušne plovidbe  
Odsek za vazdušni saobraćaj i transport  
Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Oblasti interesovanja: planiranje, rojektovanje, analize i modelovanje u oblasti vazdušnog saobraćaja, aerodroma i kontrole letenja

**info m**

**UPUTSTVO ZA PRIPREMU RADA**

Tekst pripremiti kao Word dokument, A4, u kodnom rasporedu 1250 latinica ili 1251 ćirilica, na srpskom jeziku, bez slika.

Naslov, apstrakt i ključne reči dati na srpskom i engleskom jeziku.

Autor(i) treba da obavezno prilože svoju fotografiju, navede instituciju u kojoj radi i oblast kojom se bavi.

Jedino formatiranje teksta je normal, **bold**, *italic*, ***bolditalic***, velika i mala slova.

Mesta gde treba ubaciti slike naglasiti u tekstu (Slika 1...)

Proveriti da li su poslate sve slike!

Slike pripremiti odvojeno, VAN teksta, imenovati ih kao u tekstu, u sledećim formatima: vektorske slike - cdr.

(ako ima teksta u okviru slika pretvoriti u krive), ai, fi, eps (šeme i grafikoni), rasterske slike: tif, psd, jpg

u rezoluciji 300 dpi 1:1 (fotografije, ekranski prikazi i sl.)

Molimo vas da obratite pažnju na veličinu i izgled slika (prema koncepciji časopisa)