

UTICAJ MASE I CENTRAŽE VAZDUHOPLOVA NA BEZBEDNOST LETENJA

Mr Olja Čokorilo *

Saobraćajni fakultet, Beograd

Dr Slobodan Gvozdrenović

Saobraćajni fakultet, Beograd

Dr Ljubiša Vasov

Saobraćajni fakultet, Beograd

Dr Petar Miroslavljević

Saobraćajni fakultet, Beograd

Udesi vazduhoplova uzrokovani greškama koje se odnose na masu i centražu najčešće se odnose na nepravilni utovar vazduhoplova ili korišćenje pogrešne vrednosti maksimalne mase vazduhoplova u poletanju za proračun performansi vazduhoplova. U ovom radu prikazani su udesi komercijalnih, putničkih i kargo vazduhoplova širom sveta koji su uzrokovani problemima usled mase i centraže. Takođe, analizirani su i ocenjeni najvažniji faktori koji do takvih udesa dovode, a to su greške u popunjavanju liste opterećenja, nepravilni utovar vazduhoplova i kretanje karga unutar vazduhoplova. Detaljna analiza grešaka u popunjavanju liste opterećenja izvršena je na primeru deset različitih scenarija za avion F100.

Ključne reči: masa i centraža vazduhoplova, bezbednost, lista opterećenja;

UVOD

Od samog početka eksploatacije vazduhoplova javljale su se avionske nesreće sa ozbiljnim posledicama. Iako statistički podaci ukazuju da je verovatnoća pojave udesa u vazдушnom saobraćaju manja nego u drugim vidovima prevoza, ishodi su najčešće sa tragičnim posledicama. Proizvođači aviona, savremenim tehnologijama utiču na povećanje bezbednosti, kao i rigorozne obuke koje prolaze posade širom sveta u cilju minimiziranja pojave nezgoda ili nesreća vazduhoplova. Stvaranje slike o ponašanju tehničkih sistema u procesu rada, predstavlja između ostalog i proces kvantitativnog istraživanja pouzdanosti datog sistema, odnosno njenih komponenata i uslovljeno je posedovanjem svih relevantnih podataka o ponašanju sistema u eksploataciji [7].

Analizama avionskih udesa [8,9] u periodu od 1950-2004. godine ustanovljeni su sledeći uzroci njihovog nastajanja od ukupno 2147 zabeleženih nezgoda/nesreća: 45% greška pilota; 25% nepoznat razlog; 13% mehanički otkazi; 7% vremenske neprilike; 5% sabotaža (bombe,

otmice...); 4% ljudska greška i 1% ostali uzroci. Ovim podacima nisu obuhvaćeni vojni, privatni i čarter vazduhoplovi.

Sličnu studiju je publikovao Boeing [2] u kojoj se navodi da su primarni uzroci avionskih nezgoda/nesreća u periodu od 1996-2005. godine sledeći: 55% greške posade; 17% vazduhoplov; 13% vreme; 5% kontrola letenja; 3% održavanje vazduhoplova; 7% ostalo. Ova studija uključuje 183 nesreća/nezgoda od kojih su za 134 utvrđeni uzroci dešavanja.

Udesi vazduhoplova uzrokovani greškama koje se odnose na masu i centražu najčešće se odnose na nepravilni utovar vazduhoplova ili korišćenje pogrešne vrednosti maksimalne mase vazduhoplova u poletanju za proračun performansi vazduhoplova. U ovom radu prikazani su udesi komercijalnih vazduhoplova širom sveta koji su uzrokovani problemima usled mase i centraže. Takođe, analizirani su najvažniji faktori koji do takvih udesa dovode, a to su greške u popunjavanju liste opterećenja, nepravilni utovar i kretanje karga unutar vazduhoplova. U vazдушnom saobraćaju bitno je sprovođenje

kontinualnog upravljanja rizikom koji se javlja na svim nivoima izvršenja operacija. Upravljanje rizikom uključuje identifikaciju, analizu i selekciju alternativnih mera za kontrolu rizika i odgovarajuću procenu performansi; ispituje ceo spektar rizika od relativno učestalih događaja sa malim posledicama, do vrlo malo verovatnih incidenata koji mogu naneti znatnu štetu; itd [6].

ZNAČAJ MASE I CENTRAŽE NA IZVRŠENJE OPERACIJA VAZDUHOPLOVA

Svaki avioprevoznik mora da obezbedi da operacije, utovar, masa i težište aviona, u toku bilo koje faze odgovaraju ograničenjima određenim u odobrenom letačkom priručniku aviona ili operativnom priručniku ako je restriktivniji. Masa i težište bilo kog aviona u floti se utvrđuju stvarnim merenjem pre početka upotrebe, a zatim u intervalima od četiri godine ako se uzima pojedinačna masa aviona i devet godina ako se koristi masa flote. Masa svih operativnih dodataka i članova posade koji su deo suve operativne mase aviona utvrđuje se merenjem ili korišćenjem standardne mase. Bitno je da se utvrdi uticaj njihovih položaja na težište aviona za svaki let. Masa ukrcanog tereta, uključujući i balast, se utvrđuje stvarnim merenjem ili određivanjem mase ukrcanog tereta saglasno standardnoj masi putnika i prtljaga.

Pre svakog leta avioprevoznik mora da izradi dokumentaciju o masi i centraži određivanjem tereta i njegovog rasporeda što omogućava vođi vazduhoplova da odredi da teret i njegov raspored bude takav da masa i granice centraže aviona ne budu premašene. Takođe, moraju se definisati i procedure za promene u teretu nakon izrade dokumentacije mase i centraže (Last Minute Changes-LMC).

Lista opterećenja (loadsheet) sadrži sve potrebne informacije iz kojih se može videti kako je vazduhoplov utovaren i pripremljen za obavljanje leta. Lista opterećenja predstavlja zvaničan dokument iz koga se može videti koliko je stavljeno tereta u svaki pojedinačni odeljak vazduhoplova iz čega se kasnije može proračunati centraža vazduhoplova ako se iz liste izvade ostali podaci o tome koliko je goriva bilo, koji vazduhoplov je išao na let, u kojoj konfiguraciji, sa koliko članova posade i sl. Podaci koji su sadržani u listi opterećenja su brojni, kao i odgovorna lica koja učestvuju u čitavom procesu, pa su stoga i greške koje se u praksi javljaju

brojne. Rutinske greške koje se često javljaju su slaba komunikacija, vremensko ograničenje u izvršenju zadatka, nedovoljna obučenosť posade i osoblja na zemlji koji učestvuju u organizaciji procesa. Na primer, bitna informacija koja se tiče LMC nije dobro prenesena vođi vazduhoplova ili ako je prenesena telefonom može se desiti da je pogrešno primljena. Najčešće se dešavaju greške kada se utovaruje vazduhoplov koji nije toliko poznat zbog nepoznate procedure utovara i karakteristika samog vazduhoplova.

Uticaj položaja težišta vazduhoplova na letne karakteristike

U zavisnosti od toga gde se kod vazduhoplova nalazi težište zavisice i njegove letne karakteristike, odnosno njegova uzdužna stabilnost i upravljivost. Iz tih razloga proizvođači vazduhoplova daju kupcima granične vrednosti položaja težišta i to krajnji zadnji dozvoljeni položaj težišta i krajnji prednji dozvoljeni položaj težišta. Ove granične vrednosti položaja težišta se daju u zavisnosti od mase vazduhoplova. Tako ukoliko je težište vazduhoplova napred, isti će se u toku leta drugačije ponašati u poređenju sa istim vazduhoplovom kada mu je težište pozadi.

Kod vazduhoplova kod koga je težište više napred za promenu napadnog ugla potrebno je delovati velikom silom na palicu vazduhoplova. To je znak da je vazduhoplov jako uzdužno stabilan i vrlo teško upravljiv [2]. Takođe, ako težište pređe jednu određenu granicu onda pilot i pri maksimalnom otklonu krmila visine neće moći da dovede vazduhoplov u takav položaj da krilo postigne najveći koeficijent uzgona potreban za sletanje pa će vazduhoplov zbog toga imati prilikom sletanja veću brzinu od one koju bi po svojim karakteristikama mogao da ostvari. Slična stvar se dešava i pri poletanju. Vazduhoplov će teško da se „odlepi“ tj. biće mu potrebna veća brzina, a samim tim i duža PSS za poletanje. U toku leta ovakav vazduhoplov zahteva trimovanje kako bi mogao da obezbedi horizontalan let i pri tome rasteretiti palicu. Pri ovakvom letu se stvara dodatni otpor vazduhoplova zbog čega će i potrošnja goriva biti veća.

Kod vazduhoplova kod koga je težište više nazad pri malim pokretanjima komandne palice vazduhoplov će znatno promeniti napadni ugao krila, a to se postiže delovanjem na palicu vrlo malom silom [2]. To je znak da vazduhoplov ima malu uzdužnu stabilnost, ali je zato vrlo lako

upravljiv. Rukovanje palicom mora biti izuzeno nežno jer naglo delovanje može da dovede do preopterećenja strukture vazduhoplova. Ako položaj težišta padne u jednu tačku (više unazad) koja se još zove i neutralna tačka, ili bude još više pozadi onda takav vazduhoplov ne može da leti već bi se u vazduhu ponašao kao list hartije – slobodan let. Kod vazduhoplova sa težištem koje je više nazad trimovanje je gotovo nepotrebno, jer to predstavlja pogodniju konfiguraciju za let obzirom na smanjenu potrošnju goriva u toku leta.

Kao zaključak se može navesti da ukoliko se težište vazduhoplova kreće od nekog prednjeg do nekog zadnjeg položaja onda ćemo od jako stabilnog i teško upravljivog vazduhoplova postepeno dobijati veoma malo stabilan i jako upravljiv vazduhoplov. Zato proizvođači vazduhoplova definišu granice unutar kojih se može kretati položaj težišta vazduhoplova.

Svaki pilot mora biti svestan ovih generalnih karakteristika, koje se odnose na većinu vazduhoplova, kada se utovaruju roba i prtljag i proračunava masa i centraža. Mnogo bitnija stvar je da su ove karakteristike u stvari ograničenja i mogu postati opasna ako se prekorače. „Prepunjavanje“ vazduhoplova podrazumeva degradiranje performansi, izlaganje vazduhoplova neverovatnom pritisku i zamoru materijala.

Veza između mase i centraže vazduhoplova

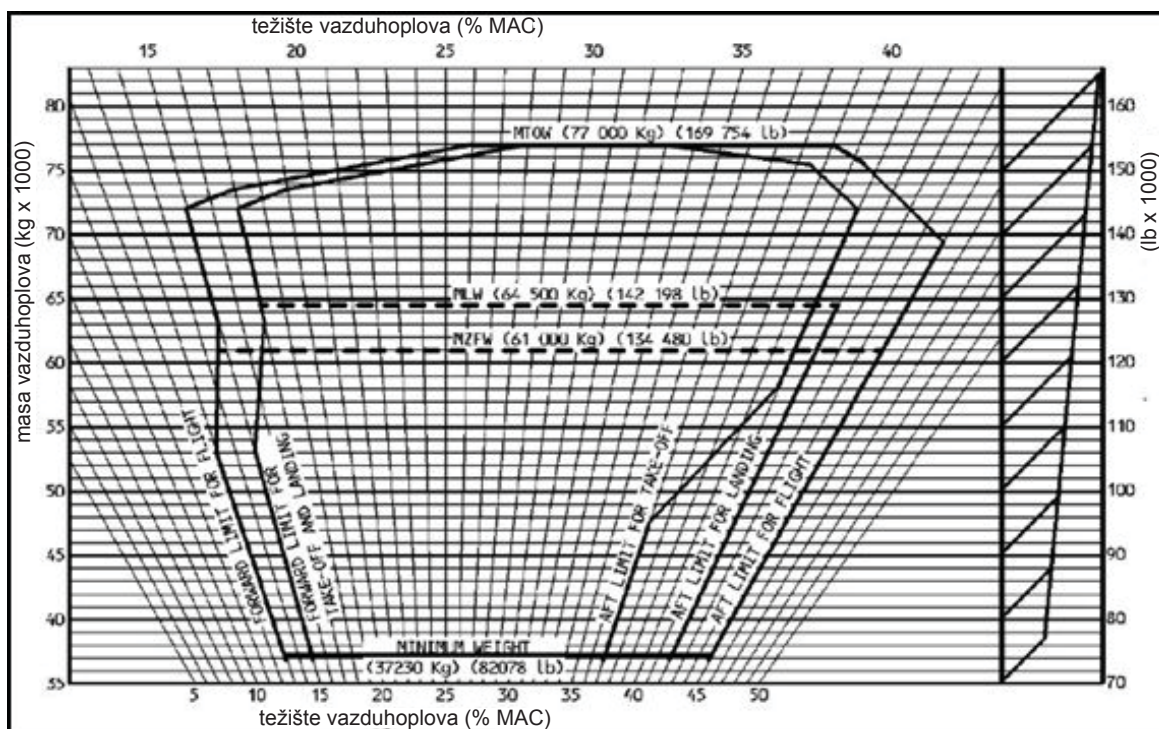
U praksi, granične vrednosti položaja težišta imaju dve vrednosti (slika 1): sertifikovane granice položaja težišta i operativne granice položaja težišta [5].

Sertifikovane granice (Certified limits) položaja težišta su vrednosti položaja težišta vazduhoplova za koje je vazduhoplov ispitan da u letu zadovoljava bezbednosne uslove i one zahtevaju širi opseg mogućih položaja težišta vazduhoplova. Operativne granice (Operational limits) položaja težišta su vrednosti položaja težišta koje daje proizvođač vazduhoplova.

Ove operativne granice položaja težišta pokrivaju uži opseg u poređenju sa sertifikovanim granicama. Razlog sužavanja leži u tome da izvesne greške, koje mogu da nastanu prilikom određivanja položaja težišta, na taj način budu uzete u obzir i da se tako poveća bezbednost letenja.

Drugi razlog je to što se u toku leta položaj težišta menja. Promena položaja težišta u toku leta se dešava iz više razloga: potrošnja goriva, uvlačenje i izvlačenje stajnog trapa, kretanje posade i putnika, serviranje hrane i pića i prodaja robe putnicima.

Sve ovo navedeno se odnosi na promenu položaja težišta po horizontali (duž ose simetrije



Slika 1. Operativne i sertifikovane granice težišta

vazduhoplova), dok promena položaja težišta vazduhoplova duž vertikalne ose nema bitniji uticaj.

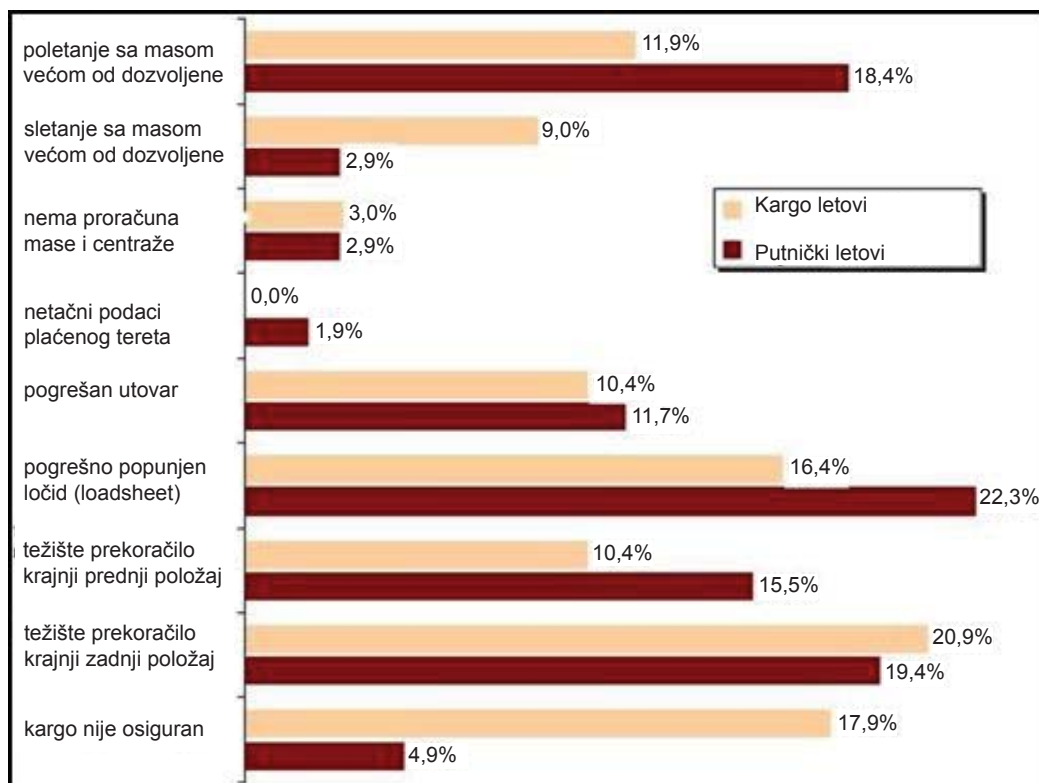
UDES I VAZDUHOPLOVA NASTALI USLED PROBLEMA SA MASOM I CENTRAŽOM VAZDUHOPLOVA

U svetu se svake godine dogodi veliki broj udesa vazduhoplova čiji su faktori uzroka vezani za probleme sa masom i centražom. Ovi udesi se dešavaju najčešće zbog nepravilnog utovara tereta i zbog korišćenja pogrešne vrednosti mase vazduhoplova u poletanju dobijene pogrešnim proračunom. Nesreće uzrokovane masom i centražom u kojima su učestvovali putnički, komercijalni vazduhoplovi širom sveta prate se od 1970. godine. U nastavku rada prikazani su rezultati koji se odnose na udese uzrokovane masom i centražom koje su kompanije prijavile u periodu od 1970-2005. godine i koji se odnose na komercijalne vazduhoplove (putničke i kargo) mase veće od 5500kg opremljene turbo - elisnom ili turbo - mlaznom pogonskom grupom. Analizom nisu obuhvaćeni vazduhoplovi korišćeni za probne letove, turističke letove, hitna sletanja i prilike vezane za sabotazu ili bilo koji drugi kriminalni akt.

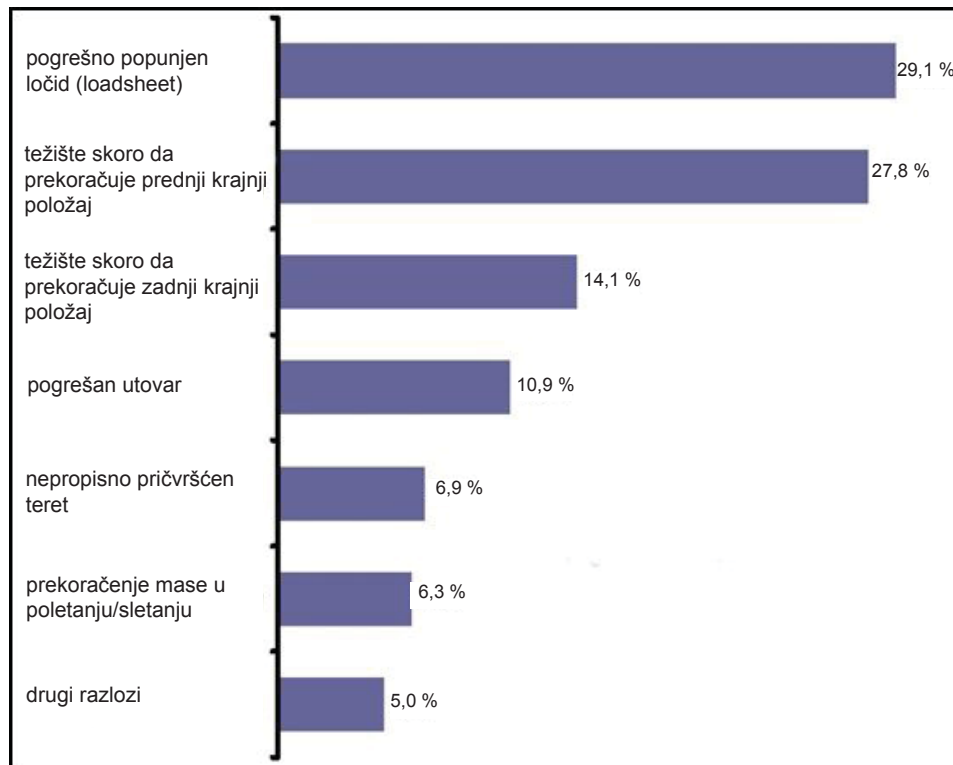
Uzorak je obuhvatio ukupno 82 nezgode/nesreće pri čemu su zabeležene 34 (41%) nesreće sa jednom ili više žrtava u vazduhoplovu. Istraživanjem je obuhvaćeno 50 (61%) putničkih letova i 32 (39%) kargo leta. Analizom podataka je utvrđeno da je rizik od nesreća prouzrokovanih masom i centražom za kargo vazduhoplove 8.5 puta veći nego za civilne vazduhoplove.

Raspodela faktora koji utiču na udese vazduhoplova vezane za masu i centražu

Na slici 2 prikazani su faktori koji utiču na udese povezane sa masom i centražom vazduhoplova. Na slici je izvršena podela na putničke i kargo letove. Postoje izvesne razlike u promenama faktora između kargo i putničkih vazduhoplova. Neosiguran teret je faktor koji je uvek prisutan kod kargo vazduhoplova i mnogo se manje pažnje njemu posvećuje kod putničkih vazduhoplova. Prekoračenje krajnjeg zadnjeg položaja težišta dešava se češće nego prekoračenje krajnjeg prednjeg položaja težišta. Ovo se odnosi i na putničke i na kargo vazduhoplove. Poletanje sa prekoračenom maksimalnom masom u poletanju se dešava češće nego sletanje sa prekoračenom maksimalnom masom u sletanju. Najviše nezgoda/nesreća kod putničkih vazduho-



Slika 2. Faktori koji utiču na udese vazduhoplova vezane za masu i centražu



Slika 3. Rezultati analize faktora koji utiču na udese kargo i putničkih vazduhoplova

plova u slučaju kada je dokument koji se popunjava prilikom utovara pogrešan se javlja u 22.3% slučajeva, a kod kargo vazduhoplova kada teret nije osiguran, u 17.9% slučajeva. Najmanje nezgoda/nesreća kod putničkih vazduhoplova je zabeleženo u slučaju unosa pogrešnih podataka koji se odnose na plaćeni teret, ukupno 1.9%.

Rezultati analize faktora koji utiču na udese kargo i putničkih vazduhoplova

Na slici 3 objedinjeni su podaci nezgoda/nesreća kargo i putničkih vazduhoplova. Može se uočiti da je najveći broj udesa prouzrokovan nepravilnim popunjavanjem liste opterećenja. Najmanji broj udesa je zabeležen usled prekoračenja mase na poletanju i sletanju.

U prethodnoj analizi videli smo da je mnogo češći slučaj nezgoda/nesreća kod kargo nego kod putničkih vazduhoplova, što i nije iznenađujuće. Kao glavni uzrok udesa vazduhoplova izdvaja se neadekvatno osiguran teret. To je bio slučaj sa 40% kargo vazduhoplova i samo 10% putničkih.

UZROCI NASTAJANJA UDESA VAZDUHOPLOVA USLED PROBLEMA SA MASOM I CENTRAŽOM VAZDUHOPLOVA

Neki od zabeleženih uzroka nastajanja udesa vazduhoplova usled problema sa masom i

centražom, prikazani su u nastavku:

- Slučaj kargo vazduhoplova: loše izvršenje operacije utovara prouzrokovalo je rušenje aviona i stradanje četvoro ljudi koji su se nalazili u avionu i jedne osobe na zemlji. Nesreća se dogodila 7. avgusta 1997. godine na letu broj 101a kompanije Fine Air, na relaciji Majami - Dominikanska Republika.
- Slučaj kargo vazduhoplova: u februaru 2000. godine srušio se još jedan kargo vazduhoplov zbog nemogućnosti kontrolisanja horizontalnog stabilizatora, kada su poginula 3 člana posade.
- Slučaj pogrešnog proračunavanja mase i centraže: 8. januara 2003. godine na letu 5481 avion Raytheon (Beechcraft) 1900D kompanije Air Midwest srušio se ubrzo posle poletanja sa Sharlot Douglas International aerodroma.
- Slučaj nepropisnog utovara vazduhoplova: 2. februara 2005. godine avion Bombardier Challenger CL-600-1A11 prekoračio je kraj PSS na Teterboro aerodromu u Nju Džersiju, prošao kroz zaštitnu ogradu preko auto-puta sa 6 traka, preko parkinga, a zatim udario u zgradu.
- Slučaj pomerene granice težišta: 22. septembra 2004. godine, avion B747-400F kom-

panije Korean Air sleteo je na međunarodni aerodrom u Oslu i rulao po PSS dok mu je težište prekoračilo krajnji prednji položaj, pa je sa brzinom od 60 čvorova u sletanju imao blago podignut nosni točak zbog čega je vazduhoplov izgubio kontrolu.

- Slučaj pogrešnog popunjavanja liste opterećenja: 11. decembra 1985. godine Arrow Air Flight MF1285R Douglas DC-8-63 poleteo je iz Kaira u Egiptu ka Fort Kambelu, SAD država Kentaki sa proračunatom masom aviona u poletanju koja je bila manja od stvarne mase na poletanju.

ANALIZA KRETANJA TEŽIŠTA U ZAVISNOSTI OD PROMENE BROJA PUTNIKA

Prilikom analize podataka o udesima kargo i putničkih vazduhoplova ustanovljeno je da je najveći broj nezgoda i nesreća prouzrokovan nepravilnim popunjavanjem liste opterećenja. U cilju ispitivanja kretanja položaja težišta vazduhoplova u funkciji promene broja putnika, u radu su analizirani slučajevi popunjavanja lista opterećenja za vazduhoplov F100.

Specifikacija vazduhoplova F100

F100 je regionalni avion doleta preko 1600nm (3000km). Posедуje glass cockpit, opremljen je FMS uređajem i omogućava sletanje pomoću auto-pilota na aerodrome kategorije 3A. U standardnoj verziji, putnička kabina ima kapacitet od 100 sedišta konfiguracije 2+3.

Strukturalna ograničenja mase su: MTOW 44450kg; MLW 39915kg; MZFW 36740kg. F100 je opremljen motorima Rolls-Royce Tay 620 ili jačom verzijom Tay 650 koja omogućava postizanje boljih performansi u fazi penjanja.

Analiza promene položaja težišta u funkciji promene broja putnika

Analiza promene položaja težišta u funkciji promene broja putnika izvršena je u odnosu na bazni scenario na primeru aviona F100. Definisano je 10 različitih scenarija popunjavanja liste opterećenja i balansnih lista (Balance Sheet) kako bi se utvrdilo kretanje položaja težišta vazduhoplova usled promene broja putnika koji se nalaze u vazduhoplovu. Određivanje položaja težišta vršeno je indeksnom metodom [1]. Za potrebe ove metode, koristi se definisan položaj težišta i to tako što se na horizontalnoj osi očitava

indeks, a na vertikalnoj masa vazduhoplova. Ovaj pojam indeksa uveden je iz praktičnih razloga jer su vrednosti momenta jako velike cifre, a indeks se određuje tako da su vrednosti zaokruženi brojevi. Početni podatak predstavlja BW – Basic Weight, pa se kao indeks dobija BI – Basic Index koji predstavlja jednu od koordinata polazne tačke u dijagramu. Za sve položaje ispred usvojene ose, vrednosti indeksa će imati negativne vrednosti, dok će za sve položaje iza usvojene ose, indeks imati pozitivne vrednosti.

Proračun operativne mase vazduhoplova

Operativna masa vazduhoplova (OW - Operating Weight) se može izračunati prema sledećoj formuli [4]:

$$OW=DOW+TOF \quad (1)$$

Pri čemu su:

- DOW (Dry Operating Weight) – bazična masa vazduhoplova na koju se dodaju operativni dodaci, npr. posada vazduhoplova, prtljag posade, letaćki priručnici i druga oprema.
- TOF (Take off Fuel) – gorivo koje vazduhoplov ima na poletanju, umanjeno za gorivo koje je potrošeno pre samog poletanja u toku startovanja motora i rulanja po PSS.

Proračun mase raspoloživog plaćenog tereta koji je moguće ukrcati u vazduhoplov

Proračun mase raspoloživog plaćenog tereta (putnici, prtljag i roba) – ATL (Allowed Traffic Load) koji je moguće ukrcati u vazduhoplov može se izračunati prema sledećoj formuli:

$$ATL=AWTO-OW \quad (2)$$

$$AWTO=\min\{MZFW+TOF; MTOW; MLW+TF\} \quad (3)$$

Pri čemu su:

- AWTO (Allowed Weight for Take-off) – dozvoljena masa aviona na poletanju;
- MZFW (Maximum Zero Fuel Weight) – maksimalna strukturalna masa aviona sa praznim rezervoarima za gorivo;
- MTOW (Maximum Take-off Weight) – maksimalna strukturalna masa aviona na poletanju;
- MLW (Maximum Landing Weight) – maksimalna strukturalna masa aviona na sletanju;
- TF (Trip fuel) – putno gorivo koje je planirano da se potroši od poletanja do prvog sletanja.

Referentni slučaj

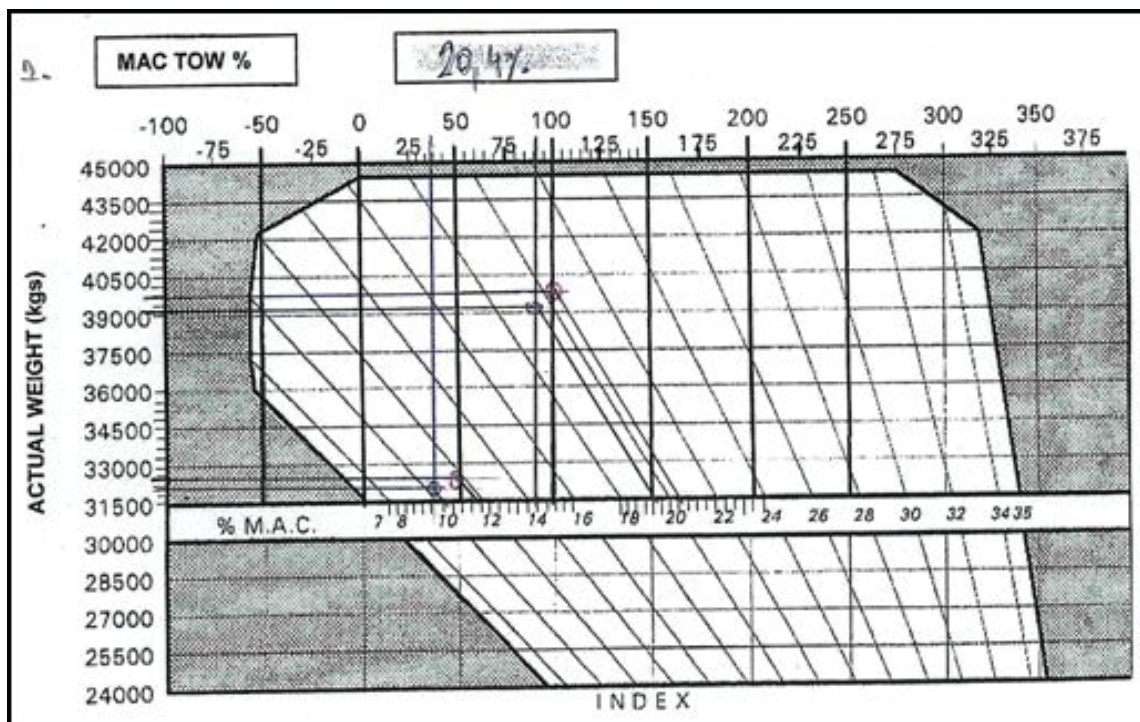
U ovom radu definisan je nulti scenario ili referentni slučaj na primeru aviona F100 koji obuhvata sledeće polazne pretpostavke:

- registarska oznaka YU-AOT;
- linija PGD-BEG;
- broj članova posade: 2 člana letачke posade i 3 člana kabinskog osoblja;
- verzija vazduhoplova 07;
- 50 odraslih putnika standardne mase 83kg i 5 beba čija masa nije merodavna za proračun težišta;
- DOW = 25566kg;
- TOF = 7000kg;
- TF = 4000kg;
- masa utovarenog prtljaga je 800kg;
- masa robe 1500kg;
- masa pošte 80kg;
- OW = 32566 kg.

Prema formulama (2) i (3) oduzimanjem ove mase od minimuma: MTOW, MLW i MZFW dobija se masa plaćenog tereta koji je moguće utovariti na taj let (u našem slučaju 11174kg). Ukupna masa utovarenog tereta koji uključuje prtljag, robu i poštu je 2380kg, a ukupni plaćeni teret za 50 putnika (koliko je usvojeno za referentni slučaj) je 6530kg. AZFW, ATOW i ALW dobijaju se kada

se na DOW vazduhoplova doda masa plaćenog tereta koji je utovaren. Stvarne mase nikada ne smeju preći maksimalne propisane mase. U listi opterećenja računa se još i koliko je plaćenog tereta moguće utovariti prilikom LMC. Kada se od mase plaćenog tereta koju je moguće utovariti oduzme masa koja je već utovarena dobija se koliko se još plaćenog tereta može dodati na let. U referentnom slučaju $11174\text{kg} - 6530\text{kg} = 4644\text{kg}$. Položaj težišta u ovom slučaju pre nego što se utovari plaćeni teret iznosi 19,2% SAT.

Nakon popunjavanja liste opterećenja, popunjava se balansni list za precizno određivanje položaja težišta u odnosu na srednju aerodinamičku tetivu vazduhoplova. Na osnovu verzije vazduhoplova, broja članova posade i DOW za merodavni avion, u proračunu je usvojeno DOI=366. Preporuku o optimalnom rasporedu broja putnika prema odeljcima putničke kabine daje proizvođač aviona. U radu je usvojen isti raspored u odeljcima A,B,C, dok se promene beleže u odeljku D. Na osnovu broja putnika u određenim odeljcima dobijaju se pojedinačni indeksi. Indeks za ukrcani teret dobija se iz posebne tabele. Nakon odgovarajućih proračuna dobija se indeks koji odgovara AZFW (Actual Zero Fuel Weight) i indeks koji odgovara ATOW (Actual Take-off Weight). U preseku ovih indeksa i odgovarajućih stvarnih masa dobija se stvarni položaj težišta za posmatrani let.



Slika 4. Položaj težišta za referentni slučaj

U referentnom slučaju, za avion F100, usvojene su izmene u poslednjem trenutku – LMC koje se odnose na povećanje ukupnog plaćenog tereta za 4 odrasla putnika mase 83kg, jedno dete čija je standardna propisana masa 35kg i za masu naknadno ukrcanog prtljaga od 80 kg, tj. ukupno 447 kg. Ova masa je prihvatljiva, jer je manja od 4644kg što je proračunom utvrđeno kao raspoloživi plaćeni teret. U radu je usvojena pretpostavka da će putnici obuhvaćeni LMC biti smešteni uvek u odeljak D. Nakon utovara LMC menjaju se i stvarne mase vazduhoplova, njihovi indeksi i položaj težišta na 20,4% SAT (slika 4). U daljoj analizi korišćen je položaj težišta vazduhoplova nakon LMC.

Za potrebe ovog rada izvršena je analiza promene broja putnika u funkciji promene položaja težišta aviona. U prethodnim poglavljima je pokazano da je najveći procenat udesa aviona u poletanju uzrokovan problemima sa masom i centražom nastao usled loše popunjenosti pomenutih dokumenata. U cilju detaljne analize razmatrani su slučajevi kada ovlašćeno lice popuni listu opterećenja (Load Sheet) sa greškom u broju putnika, pri čemu broj putnika varira od -20% do + 70% u odnosu na bazni slučaj koji obuhvata 50 putnika. Dobijeni rezultati prikazani su u nastavku.

U radu je razmatrano 10 različitih scenarija u kojima odgovorno lice pogrešno popunjava listu opterećenja pri čemu dolazi do sledećih promena:

- Povećava/smanjuje se ukupna masa putnika;
- Povećava/smanjuje se stvarna masa vazduhoplova sa praznim rezervoarima za gorivo;
- Povećava/smanjuje se stvarna masa vazduhoplova pri poletanju;
- Povećava/smanjuje se stvarna masa vazduhoplova pri sletanju;
- Smanjuje/povećava se teret koji je moguće utovariti nakon utovara plaćenog tereta;
- Menjaju se indeksi koji se korise za proračun težišta;
- Menja se položaj težišta.

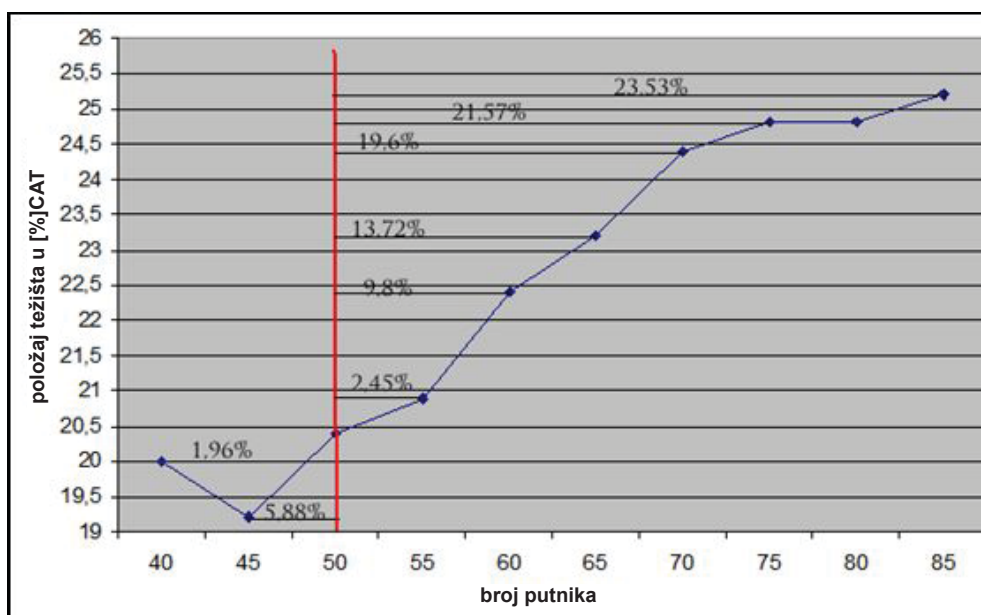
Povećanje/smanjenje broja putnika izaziva promenu položaja težišta kao što je prikazano na slici 5.

Na slici se može uočiti da je promena položaja težišta aviona, linearna funkcija promene broja putnika kao što je pokazano u formuli 4. Približavajući se maksimalnom broju putnika koji može da se ukrca u vazduhoplov u odnosu na kapacitet putničke kabine ta zavisnost postaje približno konstantna. Funkcija zavisnosti može se opisati formulom:

$$T=0.144*p-13.49 \quad (4)$$

Pri čemu je:

- T - položaj težišta u %SAT;
- p - broj putnika ukrcanih na let;
- $R^2 = 0.935$.



Slika 5. Promena broja putnika u funkciji položaja težišta

Tabela 1. Promena položaja težišta u funkciji promene broja putnika

Broj putnika	Promena broja putnika	Položaj težišta (%SAT)	Promena položaja težišta u odnosu na referentni slučaj
40	-20%	20.0%	1.96% u nazad
45	-10%	19.2%	5.88% u nazad
Referentni slučaj 50	-	20.4%	-
55	10%	20.9%	2,45% u napred
60	20%	22.4%	9,8% u napred
65	30%	23.2%	13,72% u napred
70	40%	24.4%	19,6% u napred
75	50%	24.8%	21,57% u napred
80	60%	24.8%	21,57% u napred
85	70%	25.2%	23,53% u napred

Iz analiziranih slučajeva koji se odnose na popunjene liste opterećenja i balansne liste (tabela 1) pokazano je da je promena položaja težišta prilikom utovara putnika i robe u poslednjem trenutku uvek u pozitivnom rastu u odnosu na položaj težišta pre toga, osim u slučajevima kada se položaj težišta pomera u levu stranu, odnosno kada je njegova vrednost nakon LMC veća od vrednosti težišta pre toga. U svim slučajevima usvojen je konstantan broj putnika u odeljcima A, B i C, (A=15, B=20, C=10), a preostali broj putnika raspoređivan je u odeljak D. U slučajevima kada je odeljak D bio popunjen, preostali LMC putnici smeštani su u odeljak C, što je povećalo negativni moment i uticalo na indekse koji utiču na definisanje položaja težišta.

ZAKLJUČAK

Bezbednost u vazдушnom saobraćaju je ključni prioritet u svim operativnim postupcima eksploatacije vazduhoplova. Praćenje i analiza udesa u vazдушnom saobraćaju doprinosi poboljšanju nivoa bezbednosti kroz primenu sistema upravljanja bezbednošću. U pogledu bezbednosti, za potrebe vršenja balansiranja vazduhoplova, neophodno je da osoblje koje na tim poslovima radi bude adekvatno obučeno i da se operativne procedure pravilno sprovode. Rizik od pojave vazduhoplovnih nesreća/nezgodna može biti znatno umanjen uvođenjem bezbednosnih standarda, savremene tehnologije i održavanja vazduhoplova.

Analizom podataka iz baze NTSB [10] utvrđeno je da je najviše udesa prilikom određivanja mase

i centraže vazduhoplova uzrokovano pogrešno popunjenim listama opterećenja. Na primeru od deset slučajeva različitih lista opterećenja, pokazano je kretanje položaja težišta. Nastale greške odnosile su se na opseg kretanja broja ukrcanih putnika od -20% do +70% u odnosu na kapacitet putničke kabine i svi položaji bili su u okviru sertifikovanih graničnih vrednosti koje je propisao proizvođač. U slučajevima sa 40 i 45 putnika težište je zauzelo položaj koji je više napred. Vazduhoplov kod koga je težište više napred je jako uzdužno stabilan i teško upravljiv, pa može imati prilikom sletanja brzinu veću od one koju bi mogao da ostvari prema svojim performansama. U poletanju mu je potrebna veća brzina i duža staza za poletanje. U krstarenju, takav vazduhoplov zahteva trimovanje što stvara dodatni otpor, a samim tim i veću potrošnju goriva.

U slučajevima sa 75, 80 i 85 putnika težište je zauzelo položaj koji je više napred. U tom slučaju vazduhoplov je vrlo lako upravljiv i ima malu uzdužnu stabilnost. Mora se voditi računa o tome da težište vazduhoplova ne upadne u položaj koji se zove neutralna tačka, jer se u tom slučaju gubi kontrola nad vazduhoplovom. U letu je trimovanje nepotrebno i predstavlja pogodniju konfiguraciju u pogledu ekonomičnosti letenja.

U ovom radu prikazani su udesi komercijalnih, putničkih i kargo vazduhoplova širom sveta koji su uzrokovani problemima usled mase i centraže. Takođe, analizirani su i ocenjeni najvažniji faktori koji do takvih udesa dovode, a to su greške u popunjavanju liste opterećenja, nepravilni utovar vazduhoplova i kretanje karga unutar vazduhoplova.

LITERATURA

- 1) Airbus (2004) Getting to grips with weight and balance, Flight Operations Support & Line Assistance, France: Airbus
- 2) Boeing (2006) Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 -2005, Washington: Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes P.O.
- 3) FAA (1999) Aircraft Weight and Balance Handbook: FAA-H-8083-1A USA: Federal Aviation Administration
- 4) IATA (2001) Airport Handling Manual, Geneva: International Air Transport Association
- 5) Razumenić, S. (1984) Performanse transportnih vazduhoplova, Beograd: Saobraćajni Fakultet
- 6) Savić, S., Stanković, M., Anđelković, B. (2005). Preventivno inženjerstvo -sistemsko inženjerstvo rizika, Istraživanja i projektovanja za privredu, 9, 17-28.
- 7) Vraneš, P., Tanasijević, M., Ivezić, D., Ivković, S. (2006). Pouzdanost hidraulične instalacije mašina pomoćne mehanizacije – primena teorije fazi skupova i činjeničnog zaključivanja, Istraživanja i projektovanja za privredu, 13, 37-44
- 8) <http://aviation-safety.net/database/events>
- 9) <http://aviation-safety.net/statistics>
- 10) www.nts.gov/ntsb/query.asp

ANALYSIS OF AIRCRAFT WEIGHT AND BALANCE RELATED SAFETY OCCURRENCES

Aircraft accidents related to weight and balance issues are occurred due to for instance incorrect loading of the aircraft and the use of wrong take-off weight for performance calculations amongst others. The present paper gives a review of weight and balance related accidents that have occurred with commercial aircraft worldwide. The objective of this research paper is to provide insight into the safety factors that are related to aircraft involved in exceeding their weight and balance limits. The paper analysed the most important factors involved in weight and balance accidents/incidents such are loadsheet errors, incorrect loading, and shifting of cargo. Finally the influence of load sheet errors on aircraft weight and balance systems are analysed using the data sample of aircraft F100.

Key Words: Aircraft Weigh and Balance, Safety, Loadsheets errors;

Rad poslat na recenziju: 04.05.2010.

Rad vraćen sa recenzije: 24.05.2010