

# METODE POVEĆANJA POUZDANOSTI SUSTAVA ODRŽAVANJA ZRAKOPLOVA

Željko Marušić, Izidor Alfirević, Omer Pita

Prethodno priopćenje

Analizirajući zrakoplovne nesreće na svjetskom uzorku u proteklih 20 godina, uočen je trend povećanja učešća održavanja kao primarnih uzroka nesreća. Značajnim unapređenjima zrakoplovne tehnike došlo je do smanjenja učešća posade i zrakoplova, kao primarnih uzroka zrakoplovnih nesreća, a istodobno nije bilo značajnijih pomaka na području održavanja, što je uzrokovalo da udio održavanja sve više raste proporcionalno sve većem smanjenju primarnih uzroka: posada i zrakoplova. Usavršavanjem zrakoplovne tehnike, ljudska greška će sve više dolaziti u prvi plan kao uzrok neželjenih događaja vezanih uz održavanje zrakoplova. Zbog toga je nužno poduzeti odgovarajuće korake na makro i mikro planu, u pravcu izgradnje novog pristupa prema ljudskom čimbeniku. Odgovarajući koraci podrazumijevaju napuštanje starih dogmi o nepogrešivosti održavanja i o isključivo pojedinačnoj odgovornosti krajnjih izvršitelja za greške u održavanju. U cilju smanjenja ljudskih grešaka u održavanju, cijela industrija i zrakoplovne vlasti ulažu napore kako bi se umjesto kulture kažnjavanja prešlo na kulturu istine. U tom je smislu nužno iskreno sagledati sve činjenice vezane uz ljudske greške u održavanju, njihovu detaljnu analizu te korištenje prikupljenih informacija za poboljšanje i prevenciju budućih sličnih propusta. Posebna je pozornost posvećena metodama kontrole bez razaranja u općem zrakoplovstvu, kao bitnom čimbeniku povećanja pouzdanosti zrakoplova.

**Ključne riječi:** zrakoplovne nesreće, primarni uzroci nesreća, kultura istine, greške u održavanju, kontrola bez razaranja, ljudski faktor u održavanju

## Methods for increasing of aircraft maintenance system reliability

Preliminary notes

Analysing aircraft accidents on the world fleet in past 20 years, it can be determined that there is a trend of increasing number of maintenance errors as primary cause of accident. Substantial improvement of aircraft and its systems leads to decrease of pilot errors and aircraft as primary causes of aircraft accidents and, as there is no substantial improvement in the area of maintenance, maintenance errors are more frequently causes of accidents. It is important to take steps both locally and globally to build new approach to human factors in maintenance. The first and most important step is to dismiss the old dogma about maintenance being error free and about exclusively personal responsibility of maintenance technicians for maintenance errors. The whole industry, together with the authorities, is now putting a lot of efforts to replace the blame culture with the just culture. The just culture anticipates that human errors happen and that all circumstances and facts have to be collected and analysed in order to use this information for prevention of future errors. This article is emphasizing non-destructive inspections as a very important part of aircraft maintenance with significant role in increasing reliability of the aircraft.

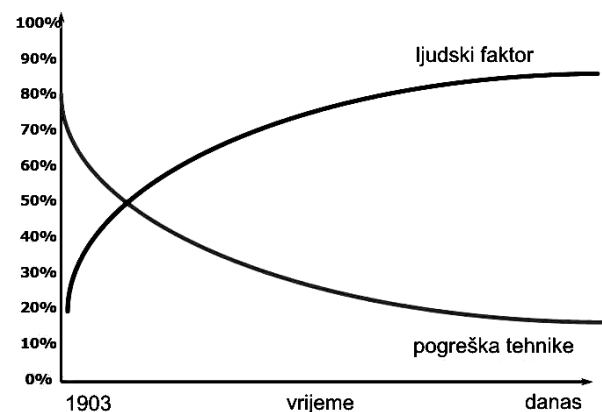
**Keywords:** aircraft accidents, primary cause of accident, just culture, maintenance error, non destructive testing, human factors in maintenance

## 1

### Uvod

#### Introduction

Promatrajući globalni zrakoplovni promet na svjetskoj razini, uočeno je da se u transportnom zrakoplovstvu 12-15 % svih zrakoplovnih nesreća dešava vezano uz manjkavosti sustava održavanja zrakoplova. U 95 % slučajeva, uzrok je isključivo ljudski faktor. Najčešći uzroci nastanka ovakvih pogrešaka je neprovođenje radnih procedura na propisan način, odnosno njihovo skraćivanje. U izvještajima o uzrocima takvih nesreća, navodi se najčešće: psihološki pritisak uslijed nedostatnog vremena održavanja pred polijetanje zrakoplova, nedostatak adekvatne opreme, nedovoljan trening tehničkog osoblja, loša međusobna koordinacija tehničkog osoblja te premorenost i pad koncentracije osoblja koje izvodi procedure održavanja. Također je uočeno, da postoje značajne oscilacije u pojavama grešaka tijekom radnog dana, te se one najčešće javljaju tijekom ranih jutarnjih sati. Radeći analize u odnosu na prethodne dekade, zrakoplovne vlasti raznih zemalja uočile su da je postotak nesreća nastalih uslijed lošeg održavanja u značajnom porastu u odnosu na druge uzroke nesreća.



Slika 1. Udio ljudskog faktora i tehnike u uzrocima nesreća tijekom posljednjih 100 godina

Figure 1. Share of human factor and technique in causes of accidents in the last 100 years

Tako je npr. Nacionalni sigurnosni američki odbor zrakoplovstva izvijestio da je tijekom posljednjih 12 većih zrakoplovnih nesreća koje su se desile američkim operaterima, pet od njih bio uzrok lošeg održavanja zrakoplova. Greške u održavanju, nisu samo skupe kao posljedica gubitka ljudskih života ili imovine, nego su također i značajan trošak ukoliko je let otkazan zbog

uočene greške na zrakoplovu ili prinudnog slijetanja. Polovica otkaza leta koji se odnose na greške vezane uz motornu sekciju, posljedica su isključivo lošeg održavanja. Prosječan zrakoplov koji kasni primjerice u polijetanju zbog uočene greške, košta kompaniju oko 10.000 USD po satu kašnjenja polijetanja. Sveukupno, ukupni trošak lošeg održavanja na području SAD-a iznosi oko milijardu dolara godišnje. Primjerice, povratak preoceanskog zrakoplova poput Boeinga 747 u polaznu zračnu luku zbog otkaza, uz sve ostale troškove, zajedno s jednim noćenjem putnika u hotelu, košta kompaniju oko 250.000 USD. Analizirajući brojke gore navedenih primjera, jasno je o kakvom krupnom problemu se radi te mu se mora pristupiti s najvećim stupnjem pažnje i analitičnosti kako bi ga se svelo na najmanju moguću mjeru.

## 2 Etiologija grešaka ljudskog faktora u sustavu održavanja - podaci iz svjetske literature

Etiology of mistakes of human factor in the system of maintenance – data from the World literature

Analizirajući velik uzorak grešaka održavanja stotinjak najvećih svjetskih zračnih prijevoznika na zrakoplovima mase iznad 5700 kg (tu spada većina komercijalnih putničkih zračnih prijevoznika), uočeni su nakon pomne analize sljedeći uzroci i to redom prema učestalosti:

1. pogrešna montaža zrakoplovnih komponenti
2. ugradnja pogrešnih dijelova
3. neprecizan razvod i spajanje električne instalacije zrakoplova
4. loše podmazivanje
5. nedostatan pričvršćeni poklopci motora i ostalih servisnih otvora na oplati
6. neosigurani poklopci na mjestima utakanja goriva ili motornog ulja
7. neotklanjanje sigurnosnih zatika brava stajnog trapa prije polijetanja zrakoplova.

Iako postoje analize vjerojatnosti nastanka grešaka vezano uz različite uzroke, u svjetskoj literaturi ima relativno malo podataka o samoj analizi uzroka zbog kojih do samih tih grešaka i dolazi.

Gotovo nevjerojatno zvuči podatak da gotovo 7 % grešaka u održavanju nastaje prilikom banalnog tegljenja zrakoplova u hangaru ili na prilazu njemu, kada zrakoplov udari u nekakvu zaboravljenu opremu na tlu ili završetak krila zapne za vrata hangara.

Mnoge nepravilnosti nastaju uslijed prevelike rutiniranosti osoblja, koje ne prati propisanu pisanu proceduru korak po korak, kada se uslijed uljuljanosti u pretjeranu sigurnost uslijed velikog iskustva napravi banalna početnička greška. Ovakve greške nastaju kada se osoba koja servisira zrakoplov pretjerano oslanja na svoje veliko pozitivno iskustvo tijekom dugogodišnjeg istovjetnog rada. Jedna od najčešćih takvih, konkretnih

pogrešaka je aktivacija hidrauličkog sustava, prilikom probe, bez da se prethodno provjerila pozicija komandi u kokpitu zrakoplova.

Često puta, tehničko osoblje obavi korektno sve procedure, ali greška u održavanju ipak nastane, jer druga služba u kompaniji nije ažurirala tehničku dokumentaciju, na osnovu servisnog biltena ili preporuke o održavanju koju je izdala nadležna zrakoplovna vlast ili proizvođač zrakoplova.

Iz donje tablice je uočljivo koliko veliki utjecaj na pojavnost greške u sustavu održavanja ima psihološki pritisak na tehničko osoblje. Naime, gustoća zračnog prometa, usprkos svjetske recesije, je u značajnom porastu. Konkurencija je naročito izražena u takvim uvjetima, te su zračni operateri u permanentnoj borbi za opstanak, prisiljeni na rezanje troškova svih vrsta. Kako je stavka održavanja značajna u ukupnoj analizi uspješnosti poslovanja, kako bi se izbjegli sekundarni gubici nepoštovanja reda letenja, neplaniranih iznenadnih otkaza leta pojedinih zrakoplova, često puta se na tehničko osoblje vrši veliki pritisak da se ispražnjeno mjesto popuni sa zrakoplovom koji je pri kraju remonta i tada se doslovce "kupuje" vrijeme.

Tablica 1. Najčešće greške u sustavu održavanja\*  
Table 1. The most common errors in maintenance system

Vrsta greške	N	%
Loše rukovanje servisnom opremom tijekom održavanja	80	13
Nepotpuna instalacija	48	8
Upuštanje u opasnu proceduru mimo propisa	45	7
Pogrešna pozicija ugrađenog dijela	44	7
Greške prilikom tegljenja zrakoplova na zemlji	44	7
Udarac zemaljske opreme u zrakoplov (pokretne stepenice)	31	5
Alat ili dio opreme zaboravljen	27	4
Pogrešna oprema ili njezin dio ugrađen	23	4
Propisani dio opreme nije ugrađen	22	4
Ugradbeni dio oštećen tijekom servisiranja	21	3
Servisni otvor nije propisno zatvoren	21	3
Propisani servis nije izveden	20	3
Loša kvaliteta tehničke opreme	15	2
Greška nije pronađena	15	2
Pogreške u proceduri	14	2
Sustav pušten neispravan u proizvodnji	12	2
Sustav nije reaktiviran/deaktiviran	10	2
Zaboravljen sigurnosni zatik	9	1
Dokumentacijske pogreške	9	1
Ostalo	95	15

\* Pojavnost je zaokružena na najbliži postotak; N = broj uzoraka

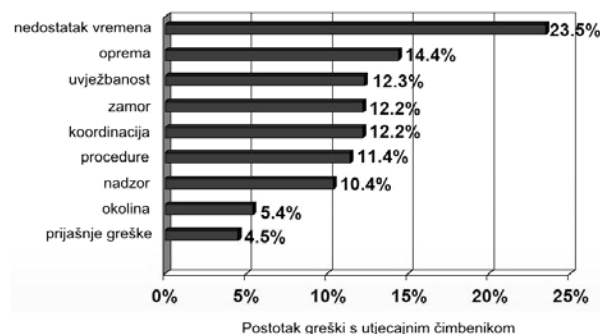
Kao što je vidljivo iz slike 2, drugi veliki uzrok lošem održavanju je loša i neadekvatna oprema. Često puta, se prilikom izvođenja nekog prilično složenog zahvata na zrakoplovu, primjerice modifikacije dijela strukture, za što je potrebno ishoditi i dozvolu zrakoplovnih vlasti, improvizira sa neodgovarajućim alatima i napravama, koji nemaju granična odstupanja u tolerancijama mjera, ali ipak nisu stopostotno odgovarajući.

Ugradnja rezervnih dijelova je poseban problem. Za razliku od automobilske industrije, koja tolerira ugradnju zamjenskih dijelova umjesto originalnih, a što se nigdje u svijetu ne provjerava na tehničkim pregledima,

niti jedna komponenta rezervnog dijela u zrakoplovstvu ne smije biti ugrađena bez odgovarajućeg originalnog certifikata. Tako se nakon nesreće zrakoplova American Airlines na letu 587, koji je pao 103 sekunde nakon polijetanja iz New Yorka u ocean, 12. studenog 2001., pretpostavljalo da je uzrok nesreće neadekvatan dio mlaznog motora ilegalno nabavljen na crnom tržištu. Ova tvrdnja nikada nije dokazana, ali je opće poznata činjenica da se često sa istog tipa zrakoplova skida funkcionalni rabljeni komad opreme i ugrađuje na identičan zrakoplov čija komponenta je trajno otkazala.

Umor i pad koncentracije je također veoma čest faktor, naročito u prekovremenim satima kada se slučajno poklopi da se u servisu nalazi neplanirano više zrakoplova kojima je istekao radni resurs, a ti zrakoplovi nisu istog tipa i kategorije pa zrakoplovni tehničari istovremeno rade na različitim sustavima s adekvatnom dokumentacijom servisnih kataloga, biltena, te kataloga rezervnih dijelova. Ukoliko se u takvim uvjetima ne provedu neposredne provjere od strane kontrolora procedure, znaju se provući određeni propusti s mogućim fatalnim posljedicama. Jedna od najopasnijih situacija, je pauziranje usred jedne faze posla, jer se nakon pauze često previdi stupanj dovršenosti posla, te ukoliko se cijela procedura ne prekontrolira ispočetka, nastaje mogućnost kritičnog događaja.

Tehnički pregled zrakoplova je uistinu timski posao, te ukoliko ne postoji koordinacija među osobljem, međusobna kompatibilnost i uvježbanost u slijedu radne procedure, postoji opasnost u propustu montaže dijela opreme, ili neodgovarajućeg slijeda ugradnji komponenata, što, ukoliko je sreće, će biti uočeno na probnom testiranju prije leta zrakoplova. Osim tehničke pismenosti i razumijevanja detaljnih skica i dokumentacije, važno je da osoblje koje sudjeluje u održavanju, prolazi stalnu socijalnu i komunikacijsku obuku kako ne bi došlo do neželjenih neprenošenja važnih informacija.



Slika 2 Uzroci nastanka pogrešaka  
Figure 2 Causes of error appearance

Loše provedene procedure održavanja imaju korijen u loše sročenoj ili neodgovarajuće ažuriranoj dokumentaciji. Jedan od ilustrativnih primjera je recimo kod opaske u tehničkoj knjizi zrakoplova gdje

je zapisana opaska o provjeri curenja tekućine i brtvljenja iste, a da nije izričito navedeno radi li se o curenju goriva ili primjerice ulja.

### 3 Etiologija grešaka ljudskog faktora u sustavu održavanja - iskustva iz RH

Etiology of mistakes of human factor in the system of maintenances – experience from Croatia

Uvođenjem nekažnjivog izvještavanja (non-punitive reporting) u reviziji propisa JAR145 iz 2002. godine nastoji se doći do dragocjenih podataka o ljudskim greškama u održavanju. Nažalost, iskustvo pokazuje da osoblje održavanja nerado prijavljuje svoje greške strahujući od kazne. Kažnjavanje ljudskih grešaka ima dugu tradiciju u zrakoplovstvu, te je teško očekivati značajne promjene u kratkom vremenu po pitanju širenja kulture istine. Zamjenski izvor dragocjenih podataka su ankete u kojima se ne tretira pojedinačni slučaj ljudske greške već se prikupljaju općenitije informacije na bazi iskustva anketiranih iz više situacija kada se dogodila ljudska greška.

U srpnju 2006. provedena je anketa zrakoplovno tehničkog osoblja kod jednog hrvatskog zračnog prijevoznika s područja ljudskog čimbenika u održavanju. Cilj ankete je bio utvrditi kako neposredni izvršitelji radova održavanja zrakoplova opažaju greške u održavanju. Anketa je bila dragovoljna, sudionicima u anketi ponuđeno je da sami odluče hoće li upisati svoje ime ili će anketa biti anonimna. Anonimno je popunilo anketu 14 % anketiranih, dok je 86 % anketiranih upisalo svoje ime i prezime.

U anketu je uključeno oko 10 % ovlaštenog osoblja održavanja (licenciranih aviomehaničara) dotičnog zračnog prijevoznika.

#### Anketirano osoblje

Osobe koje su sudjelovale u anketi muškog su spola i imaju između pet i deset godina radnog iskustva u zrakoplovstvu, te predstavljaju radno najaktivniji kadar u službi održavanja.

Svi anketirani licencirani su aviomehaničari, te su prošli kroz tečaj "human factors in maintenance" u posljednje dvije godine.

#### Uzroci ljudskih grešaka u održavanju

Na pitanje koje su najčešće posljedice ljudske greške u održavanju, između ponuđenih osam odgovora, anketirani su odgovorili kako slijedi:

Nepravilna instalacija komponenti	42 %
Alat zaboravljen na zrakoplovu	28 %
Ostalo	16 %
Sustav zrakoplova aktiviran/korišten na nesiguran način	14 %

Na pitanje koji su najčešći uzroci ljudskih grešaka, anketirani su odgovorili kako slijedi:

Uzrok	Postotak mehaničara koji je naveo taj uzrok
Vremenska stiska	100 %
Smjenski rad (noćni rad)	100 %
Radna okolina	71 %
Zamor	57 %
Problemi s koordinacijom radova	43 %
Nedostatak znanja ili vještine	28 %
Nedostupan alat	28 %
Nedostatak komunikacije	15 %

Na pitanje koja je najčešća greška u održavanju odgovori su sljedeći:

Uzrok	Postotak mehaničara koji je naveo taj uzrok
Neispravna izolacija	80 %
Nekorektna instalacija komponente (nekompletna instalacija, kriva orijentacija, sustav nije deaktiviran ili aktiviran, sustav nije adekvatno testiran)	20 %

Na pitanje u kojoj fazi se greške najčešće otkrivaju odgovori su sljedeći:

Faza	Često	Redovito	Ponekad	Nikad
Tijekom operacije zrakoplova	-	-	40 %	60 %
Za vrijeme trajanja samog rada	-	-	60 %	40 %
Tijekom formalne kontrole radova	-	40 %	60 %	-
Nakon što je rad završen	-	20 %	-	80 %

Koliko često se događaju ljudske greške u održavanju:

Uzrok	Postotak mehaničara koji je naveo taj uzrok
Tjedno	86 %
Dnevno	14 %
Više puta dnevno	0 %

Pogodujući čimbenici u provedenim istragama su zastupljeni prema sljedećoj tablici:

Utjecaj ili pogodujući čimbenik	Postotak istraženih grešaka u kojima je utvrđen kao čimbenik
Vremenska stiska	100 %
Smjenski rad (noćni rad)	70 %
Radna okolina	10 %
Zamor	62 %
Problemi s koordinacijom radova	31 %
Nedostatak znanja ili vještine	35 %
Nedostupan alat	0 %
Nedostatak komunikacije	20 %

Interesantno je usporediti rezultate ankete s evidencijom i rezultatima istraga registriranih grešaka održavanja u istoj kompaniji. Distribucija stvarnih pogrešaka na temelju analize istraga grešaka tijekom petogodišnjeg perioda 2002. – 2007. je sljedeća:

Vrsta greške	N	%
Loše rukovanje servisnom opremom tijekom održavanja	0	
Nepotpuna instalacija komponenti	2	11,8
Upuštanje u opasnu proceduru mimo propisane	0	
Pogrešna pozicija ugrađenog dijela	2	11,8
Greške prilikom tegljenja zrakoplova na zemlji	0	
Udarac zemaljske opreme u zrakoplov (pokretne stepenice)	1	5,9
Alat ili zrakoplovni dio zaboravljen na zrakoplovu	1	5,9
Pogrešni zrakoplovni dio ugrađen	0	
Ugradbeni dio oštećen tijekom instalacije/servisiranja	1	5,9
Servisni otvor nije propisno zatvoren	0	
Propisani servis nije izveden	1	5,9
Loša kvaliteta tehničke opreme	0	
Greška nije pronađena	0	
Primjena neodgovarajućeg alata	1	5,9
Pogreške u proceduri instalacije/deinstalacije komponente, nepridržavanje procedure	6	35,3
Sustav pušten neispravan u proizvodnji	0	
Sustav nije reaktiviran/deaktiviran	0	
Zaboravljen sigurnosni zatik	1	5,9
Dokumentacijske pogreške	0	
Ostalo	1	5,9
	17	

Stvarne istrage su pokrenute temeljem otkrivanja greške u sljedećim fazama:

Faza u kojoj je greška otkrivena	%
Tijekom operacije zrakoplova	22,2
Za vrijeme trajanja samog rada	27,8
Tijekom formalne kontrole radova	50,0
Nakon što je rad završen	0,0

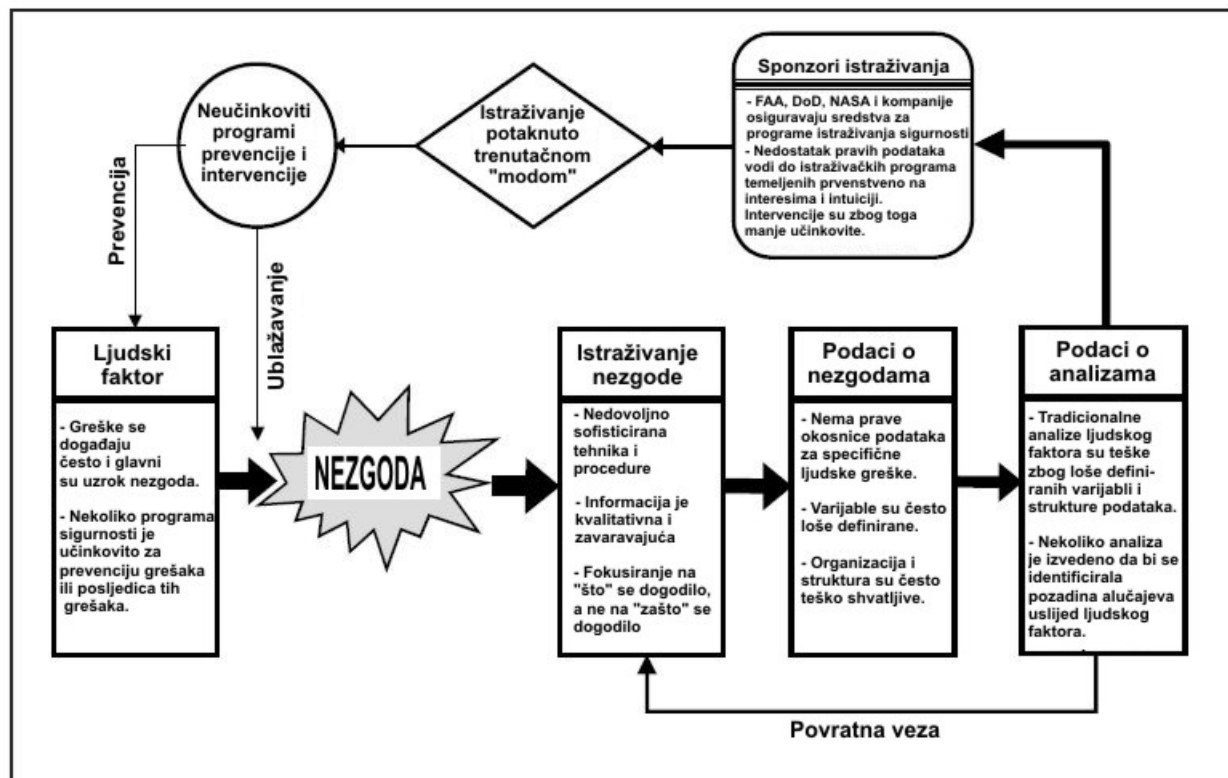
Interesantno je uočiti da postoji gruba podudarnost između stvarnih pokazatelja dobivenih analizom rezultata istraga ljudskih grešaka održavanja i rezultata ankete.

Također, postoji značajna nepodudarnost između podataka dostupnih u literaturi i podataka dobivenih analizom realnih podataka domaćeg operatora. Jedino objašnjenje za ovakvu nepodudarnost je da postoji bitna razlika u metodologiji klasificiranja grešaka između raznih autora.

Iznimno važan aspekt u odnosu na pouzdanost sustava održavanja imaju metode tzv. kontrole bez razaranja (KBR). Radi se o skupu metoda za pronalaženje skrivenih grešaka u materijalu, i to na takav način da ispitani materijali odnosno uređaji ostaju nakon pregleda neoštećeni i mogu, ako u njima nisu otkrivene nedopuštene greške, biti stavljeni u normalnu eksploataciju. Metode KBR-a su usredotočene na otkrivanje mikro pukotina na površini ili ispod površine ili na nedostupnim mjestima. KBR metode se primjenjuju na samom zrakoplovu ili tijekom pregleda pojedinih komponenti zrakoplova u procesu remonta.

Najčešće metode koje se koriste su: vizualna, magnetska, penetrantska, radiografska, ultrazvučna i metoda vrtložnih struja. Svaha ovog rada nije objašnjenje fizikalnih zakonitosti i principa pojedine metode, nego što se sa ispravnom primjenom i razradom tehnološkog postupka, može postići s njima u funkciji povećanja pouzdanosti i efikasnosti sustava održavanja. U sustavu održavanja zrakoplova, posebna pažnja se posvećuje vizualnim metodama. To su metode gdje se pomoću različitih lupu velike jakosti, odnosno specijalnih optičkih uređaja – endoskopa/boroskopa prodire kroz

male otvore na strukturi zrakoplova gdje optička sonda dolazi do područja koje se pomno ispituje. Boroskopi imaju mogućnost jakog osvjetljenja unutrašnjih tamnih područja radi vizualnog pregleda, fotografiranja ili video reprodukcije. Optički sustav boroskopa (endoskopa/videoskopa), prenosi veoma oštru sliku visoke rezolucije sve do okulara ili udaljenog video monitora na kojima se nalaz kritične greške interpretira i procjenjuje da li njegova veličina može ugroziti sigurnost ugradbenog dijela.



Slika 3 Dijagram toka analize uzroka zrakoplovnih nesreća s povećanjem pouzdanosti  
 Figure 3 Flow diagram of analysis of aircraft accident causes with increased of reliability

Prednost ovih uređaja u odnosu na druge je što se pomoću njih mogu detaljno ispitati dijelovi primjerice mlaznog motora: komore izgaranja ili turbine, a da se ne moraju demontirati sa zrakoplova. Metoda je jeftina, brza i pouzdana i učestvuje u najvećem postotku prilikom KBR-pregleda zrakoplova u odnosu na druge metode.

Loša strana svih KBR metoda je što one nisu egzaktno u smislu da bez velikih pripremnih radnji i iskustva donose egzaktnu vrijednost pukotine ili neke greške, na osnovu koje se tehnička služba odnosi prema detektiranom problemu. Osim detaljno razrađene procedure ispitivanja, svaki KBR-djelatnik u hijerarhijskom lancu operater/ispitivač – tehnolog/kontrolor – specijalist metode KBR-a, mora biti detaljno uvježban kako

njegovo izvođenje ispitivanja ili interpretacija rezultata ne bi utjecala na nivo pouzdanosti otkrivanja i kvalifikacije/kvantifikacije kritičnog defekta. Jedna od najpoznatijih nesreća zbog koje se je pažljivije i rigoroznije pristupilo ispitivanju vizualnim metodama je nesreća zrakoplova kompanije Aloha Airlines 1988. kada je došlo do odvajanja 5,5 metara oplata od stražnjeg dijela pilotske kabine do okvira s napadnom ivicom krila na visini do 24.000 ft. Naime, detaljna analiza je pokazala da je pri inspekcijskom pregledu propušteno uočiti zamorne pukotine i popuštanje smične nosivosti zakovica u zoni odcjepljenja oplata.

## 4

**Upotreba KBR metoda u funkciji povećanja pouzdanosti sustava održavanja zrakoplova**

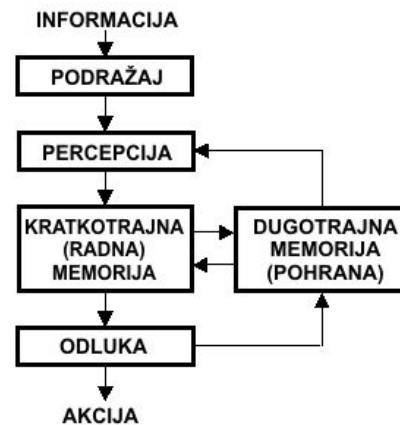
Usage of KBR method for reliability increasing of aircraft maintenance system

Pravilna primjena pisanih procedura i poštivanje normi, uvjet je da metode Kontrole bez razaranja podignu nivo funkcionalnosti sustava održavanja zrakoplova. Iako su ove metode ključne za ispravno održavanje i funkcioniranje zrakoplova, apsurd je u tome da je u pravilnoj primjeni postupaka i standarda jedina garancija da će to biti i izvršeno, a u što je opet uključen ljudski faktor, tako da se tu može raditi ili o krucijalnoj pomoći sustavu, pa sve do potpunog fijaska, ako se zakaže u postupku primjene ispitivanja grešaka u konstrukciji zrakoplova. Evo jednog primjera kao potvrda ozbiljnosti ovog aspekta. Podaci su pronađeni u bazi podataka Nacionalnog odbora za sigurnost letenja (National Transportation Safety Board-NTSB), SAD-a.

Izveštaj N75B/AAR-98-01: Dva putnika su poginula na letu kompanije Delta 1288, kao posljedica otkaza motora tijekom polijetanja iz Pensacole na Floridi, 6. lipnja 1998. godine. Naknadna istraga je pokazala da je prilikom 100-satnog pregleda, tehničaru koji je ispitivao glavnu osovinu motora boroskopskim uređajem, promakla kritična uzdužna pukotina na sekciji JT-8D.

Ljudski faktor je pojam koji prvenstveno pripada polju psihologije. Ljudske pogreške bi mogli definirati kao razliku onoga što je trebalo biti izvedeno i onoga što je uistinu izvedeno. Neke od fizikalnih osobina koje utječu na ovaj pojam su: motorika, koordinacija sustava oko-glava, fleksibilnost, sposobnosti vida uključujući prepoznavanje boja, opća fizička kondicija, sposobnost obavljanja dugotrajnijeg rada u određenim radnim uvjetima. Svaka od ovih osobina pojedinačno ima značajan utjecaj na određenu metodologiju ispitivanja metodama KBR-a. Prilikom ispitivanja i interpretacije rezultata, ispitivač svaku pronađenu indikaciju mora klasificirati i sistematizirati, uspoređujući je s uzorcima poznatih grešaka pohranjenih u atlasima i bazama podataka tipičnih diskontinuiteta. Često puta su prisutni loši uvjeti osvjetljenja, pojava tzv. lažnih grešaka kao posljedica loše pripreme tehnologije ispitivanja, ili se naprosto radi o sličnim indikacijama, koje nedovoljno iskusan ispitivač može pobrkati s nekom drugom indikacijom i tako ugroziti sigurnost ispitivanog objekta. Kao što je vidljivo na slici 4. mentalni proces ispitivanja u tipičnoj KBR proceduri sadrži sljedeće korake: podražaj, percepciju, kratkoročno pamćenje, dugoročno pamćenje, donošenje odluke te rezultirajuću akciju. Neke od tehnika ispitivanja sadrže u sebi dodatne teškoće u ovom procesu odlučivanja, što učiniti s eventualno pronađenom greškom. Tu spadaju recimo ultrazvučno ispitivanje integrularne korozije koja se proteže kroz primjerice čitavu visinu zida ramenjače

zrakoplovnog krila. Orijentacija takve greške je paralelna sa smjerom rasprostiranja ultrazvučne zrake na njenom putu, a priroda ultrazvuka je takva da interpretiramo signal odbijene ultrazvučne zrake od površine diskontinuiteta (prema Snellovom zakonu, dio ultrazvučne energije se reflektira od granice drugog medija, a dio se refraktira.) Reflektirani dio hvatamo s drugom sondom i prema veličini i mjestu signala na ekranu osciloskopa interpretiramo položaj i oblik diskontinuiteta. Jasno je da u ovom slučaju, interpretacija rezultata u velikoj mjeri ovisi o spretnosti tehničara, njegovom iskustvu i kreativnosti, pa tako ovakva osjetljiva ispitivanja može obavljati samo maksimalno iskusno i uvježbano osoblje.



Slika 4. Dijagram toka odlučivanja o tretiranju pronađenog diskontinuiteta

Figure 4. Flow diagram of decision making of detected discontinuity treatment

Percepcija igra veoma važnu ulogu u funkciji pronalazanja, lokaliziranja, razdvajanja, usporedbe i kategorizacije dvaju ili više diskontinuiteta. Primjer dobre percepcije je interpretacija dvaju odvojenih signala nastalih istovremeno kao posljedica refleksije ultrazvučne zrake od dviju različitih grešaka u materijalu. Važna je razlučivost signala ali također i spoznaja o poziciji grešaka u materijalu u sve tri dimenzije. Pri tome je osim dobre percepcije, potrebno imati znanje o fizici ultrazvuka, geometrijskim karakteristikama diskontinuiteta u materijalu, vrsti i obliku signala na ekranu osciloskopa, itd. U kratkotrajnoj "radnoj" memoriji može se istovremeno trenutno obrađivati do sedam informacija, međutim nadolaskom novih informacija, gube se one stare. Kako se prilikom ispitivanja, pogotovo ako se radi o automatskoj metodi skeniranja sondom primjerice oplata krila, radi o "čitavom moru" nadolazećih podataka, nikako se sustav odlučivanja u mozgu ne smije povezati s upotrebom kratkoročne memorije. Upravo iz tog razloga je neobično važno iskustvo ispitivača te upotreba dugotrajne memorije koja pronađenu grešku ispravno kvalificira i kvantificira. Većina primjena KBR metoda i tehnika ispitivanja zahtijeva sekvencijalni proces odlučivanja kroz seriju

primjena proceduralnih ili tehničkih koraka. U postupku donošenja odluke, formulira se početna hipoteza, a upotrebom kasnije prikupljenih informacija se početna hipoteza prihvaća ili odbacuje.

Većina KBR metoda i tehnika ispitivanja zahtijeva sekvencijalni proces donošenja odluka o interpretaciji nalaza, jer se i metodika prikupljanja informacija o greškama odvija u više različitih koraka. U donošenju odluke o nalazu, postavlja se inicijalna hipoteza, te se onda u kasnijim dopunskim analizama drugim tehnikama i postupcima ispitivanja hipoteza potvrđuje, korigira ili sasvim odbacuje. Da bi se ilustriralo koliko je ljudski faktor važna karika u postupku ispitivanja, u SAD-u je u Nacionalnom državnom laboratoriju za zrakoplovstvo (Sandia National Laboratories), izvršeno ispitivanje u kojem se je uspoređivala vjerojatnost pronalaženja etalonske greške, odnosno eventualni pogrešan nalaz, dvanaestorice iskusnih ispitivača, pri čemu je uočeno značajno odstupanje u vjerojatnosti pronalaženja stvarnog diskontinuiteta. Ispitivane su greške u oplati trupa zrakoplova, a metoda ispitivanja su bile vrtložne struje. Rezultat je prikazan u tablici 2.

Iz nalaza se uočava relativno slab nivo osjetljivosti detekcije pogrešaka, koje su veoma male, ali svakako detektibilne postojećim metodama. Nameće se zaključak, da mnogi sitni diskontinuiteti promaknu prilikom ispitivanja zrakoplova, pogotovo ukoliko se radi o velikoj brzini ispitivanja, ali to ne ugrožava konstrukciju, jer su greške daleko po dimenzijama od onih kritičnih. U suprotnosti sa slabim nalazom, uočava se veliko odstupanje u odlučivanju pri interpretaciji nalaza, što se ističe u posljednja dva stupca tablice 2. Tako inspektor B, radi mnogo propusta, a također i pronalazi nekoliko lažnih grešaka. Inspektor F radi nekoliko ili gotovo ništa propusta. Dva inspektora E i G su donosili perfektne odluke o nalazu ispitivanja. Analizirajući ovo ispitivanje, uočava se da svi inspektori trebaju jače permanentno treniranje na pojačanju pronalaženja grešaka i njihovoj interpretaciji.

Tablica 2 Odstupanje u pronalaženju interpretacije rezultata grupe operatera

Table 2 Deviation in looking for interpretation of results of operator group

Inspektor	Vjerojatnost traženja pogreške	Vjerojatnost propusta pogreške	Vjerojatnost lažne pogreške
A	0.31	0.27	0.14
B	0.51	0.66	0.11
C	0.47	0.31	0.26
D	0.44	0.07	0.42
E	0.52	0.00	0.00
F	0.40	0.00	1.00
G	0.47	0.00	0.00
H	0.66	0.03	0.84
I	0.64	0.23	0.80
J	0.64	0.07	0.17
K	0.64	0.17	0.22

Druga studija je pokazala da je grupa od dvanaest ispitivača s jednogodišnjim iskustvom ultrazvučnog ispitivanja, ali pojačano s trojednim intenzivnim tečajem kontrole kvalitete, imala stupanj pouzdanosti pronalaženja grešaka od 92,7 %, naspram grupe s iskustvom od prosječnih 7,7 godina, sa stupnjem pouzdanosti ispravne detekcije grešaka od 37,6 %. Iz toga je vidljivo koliko je važan intenzivno vježbanje kontrole kvalitete s naglaskom na osjetljivost kontrole ispitivanja i ispravne interpretacije nalaza ispitivanja.

Jedan od glavnih odrednica efikasnosti treninga je iznalaženje detaljnih zadataka i vještina (procedura) kako bi se maksimalno stavilo pod kontrolu parametre procesa ispitivanja koji imaju presudan utjecaj na interpretaciju nadenih rezultata, odnosno visoku vjerojatnost pronalaženja istih. Neki od tih parametara su: stupanj osvjetljenosti predmeta ispitivanja, umjeravanje instrumenata ispitivanja itd. Potrebno je što više uključivati vježbanje pomoću računalnih simulacija i animacija čime se pouzdanost ispitivanja ostvaruje maksimalnom automatizacijom ispitivanja i odlučivanja o prirodi diskontinuiteta.

## 5

### Zaključak

### Conclusion

Statistički promatrano, u globalnom, svjetskom zrakoplovnom putničkom prometu, uočeno je da u 10-15 % slučajeva zrakoplovnih nesreća, kao i samih incidenata krivac leži u ljudskom faktorom službe održavanja zrakoplova. Kako se u većini slučajeva, kod zrakoplovnih nesreća, greške ne mogu ispraviti, jer se danak plaća u ljudskim životima i velikoj materijalnoj šteti, pristupilo se detaljnoj analizi nastanka propusta s namjerom njihovog umanjivanja. Detaljno su analizirani svi čimbenici poput psihološkog pritiska zbog nedostatka vremena, loše međuljudske koordinacije, nedovoljnog vježbanja i obuke itd. Osim posredne štete koja se dešava zbog otkaza komponenti i slijedno tome otkazanog leta ili prinudnog slijetanja, nemjerljivi su gubici u ljudskim životima i shodno tome materijalnoj šteti nastaloj uslijed pada zrakoplova. Detaljno su proučavani svi uzroci nastanka pogrešaka u procesu održavanja zrakoplova, i uvedeni su razni elementi praćenja etiologije nastanka grešaka, njihovoj kvalifikaciji i kvantifikaciji. Proučen je u raznim zrakoplovnim kompanijama sustav praćenja uzroka nastanka grešaka s razrađenom procedurom kaznene odgovornosti, ukoliko se radi o npr. teškom nemaru tehničkog osoblja. Uočeno je rigoroznije pristupanje europskih zrakoplovnih vlasti nego onih u SAD-u, po pitanju stupnja obuke tehničkog osoblja.

Kako je uočeno u više neovisnih studija, došlo je do značajnog opadanja pouzdanosti interpretacije rezultata u KBR kod ispitivanja zrakoplova u servisnim pregledima. Induktivno-deduktivnim metodama pristupilo se traženju razloga ove zabrinjavajuće pojave, jer

je uočeno da čak i kod višestruko certificiranog i educiranog osoblja na baznim metodama ispitivanja metodom Kontrole bez razaranja, s višegodišnjim iskustvom, postoji izrazita tendencija ove pojavnosti. Pristupilo se detaljnoj analizi, kompletnom ažuriranju procedura ispitivanja, primjenjujući najnovije standarde tehničke kontrole zrakoplova. Organiziran je maksimalan nivo automatizacije ispitivanja, koristeći simulacijske metode, kompjutorizirana pomagala i trenutnu podršku operaterima ispitivanja pri donošenju pogrešnih presudbi. Istražene su psihološke metode bržeg učenja tipičkih grešaka, i iako pouzdanost ispitivanja nikada neće biti stopostotna, uz stalno vježbanje i obuku, težiti će se ka smanjenju pogrešnosti interpretacije grešaka na prihvatljivu razinu koja neće ugrožavati sigurnost letenja.

Usavršavanjem zrakoplovne tehnike, ljudska greška će sve više dolaziti u prvi plan kao uzrok neželjenih događaja vezanih uz održavanje zrakoplova. Zbog toga je nužno poduzeti odgovarajuće korake na makro i mikro planu, u pravcu izgradnje novog pristupa prema ljudskom čimbeniku. Odgovarajući koraci podrazumijevaju napuštanje starih dogmi o nepogrešivosti održavanja i o isključivo pojedinačnoj odgovornosti krajnjih izvršitelja za greške u održavanju. Nov pristup prema ljudskom čimbeniku baziran je na:

- priznavanju činjenice da se greške događaju,
- priznavanju i prepoznavanju organizacijskog aspekta ljudske greške,
- odgovornosti rukovodstva za izgradnju, provedbu i kontinuirano unapređenje sustava upravljanja greškama (*error management*),
- izgradnji nove sigurnosne kulture (kulture istine),
- primjeni naučnih spoznaja i istraživanja s područja ljudskog čimbenika u održavanju.

Ovaj novi pristup nije samo teorijsko naklapanje. Zakonodavci, a prije svega se to odnosi na najjače - FAA i EASA (JAA), su u postupku odgovarajućih izmjena temeljnih propisa koji reguliraju održavanje zrakoplova u smislu definiranja zahtjeva za uvođenjem safety management sustava na temelju novih principa vezanih uz ljudski čimbenik. Prema tome, uskoro će se zrakoplovna zajednica u Europi, pa tako i u RH, morati ustrojiti sukladno nadolazećoj promjeni regulative.

Obzirom da su ljudski čimbenik u održavanju i ljudska greška u održavanju vrlo osjetljive teme s aspekta dosadašnje kulture i pravnih normi, usvajanje novih principa vezanih uz ljudski čimbenik u održavanju je dugoročan posao od strateškog značaja. U okruženju i uvjetima koji vladaju unutar zrakoplovne zajednice RH, ne treba očekivati brze rezultate već se treba ozbiljno pripremiti za dugoročan dosljedan i kontinuirani rad na primjeni novih principa i provedbi sigurnosne regulative.

U ovom radu su između ostalog izloženi rezultati anketa i istraga incidenata provedenih upravo na novim principima, a kojima je cilj donošenje zaključaka i izvlačenje pouka za budućnost. Ovako dobiveni rezultati istraga moraju biti komunicirani unutar zrakoplovne zajednice kako bi bili postignuti maksimalni učinci.

## 6 References

### Literatura

- [1] Rankin, W. L. Maintenance Human Factors Regulatory Requirements: A Basis for Tool Development, Proceedings on Seventh GAIN World Conference, Montreal, Canada, 28-30 September 2004.
- [2] National Transportation Safety Board (2000). Aviation accident statistics. Available: [www.ntsb.gov/aviation/Stats.htm](http://www.ntsb.gov/aviation/Stats.htm)
- [3] International Civil Aviation Organization. Investigation of human factors in accidents and incidents (Human Factors Digest #7), Montreal, 1993.
- [4] Shappell, S.; Wiegmann, D. A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. The International Journal of Aviation Psychology, 7, 1997, pp. 269-91.
- [5] Douglas, A. W.; Shappell, S. A. A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Final Report, DOT/FAA/AM-01/3 Office of Aviation Medicine Washington, D.C. 20591
- [6] Alfirević, I.; Franjković, D.; Galović, B. Non-destructive testing in aviation // 8th International Conference on Traffic Science - ICTS 2004, Transportation logistics in science and practice : Proceedings / Fabjan, Daša (ur.). Portorož : Fakultet za pomorstvo i promet, 2004. 1-10 (međunarodna recenzija, znanstveni rad).
- [7] Galović, B.; Alfirević, I.; Domitrović, A. Strategy Directions for Aviation safety Issue in View of Small vs. Large Category Aircraft // 19th Annual FAA/JAA International Conference, Material Package/Separat / Sabatini, Nicholas A. (ur.). Washington, USA : Federal Aviation Administration, 2002. 1-10 (međunarodna recenzija, znanstveni rad).
- [8] Douglas, C. L. Nondestructive Testing for Aircraft, Jeppesen, 1994.
- [9] Flight Safety Boeing Training International Seattle, Washington, <http://www.fsbti.com/>
- [10] Human factors in airline maintenance: A study of incident reports, Bureau of Air Safety Investigation, 1997.
- [11] Taylor, J. Tools and Techniques for Evaluating the Effects of Maintenance Resource Management (MRM) in Air Safety. Santa Clara, Santa Clara University, 2002.
- [12] Patankar, M. Root Cause Analysis of Rule Violations by Aviation Maintenance Technicians. San Jose, CA, San Jose State University, 2002.
- [13] Patankar, M.; Taylor, J. Analysis of Organizational and Individual Factors Leading to Maintenance Errors. In Proceedings of the 2001 World Aviation Congress & Exposition, Seattle, WA, 2001.



**Author's Address (Adresa autora):**

*Doc. dr. sc. Željko Marušić, dipl. ing.*  
E-mail: zeljko.marusic@fpz.hr  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Zavod za aeronautiku  
10000 Zagreb, Hrvatska

*Izidor Alfirević, dipl. ing.*  
E-mail: izidor.alfirevic@fpz.hr  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Zavod za aeronautiku  
10000 Zagreb, Hrvatska

*Omer Pita, dipl. ing.*  
E-mail: omer.pita@croatiaairlines.hr  
Croatia Airlines d.d.  
Sektor održavanja zrakoplova  
Savska cesta 71  
10000 Zagreb, Hrvatska