Analiza programa održavanja starog zrakoplova s klipnim motorom

Bajlo, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:477953

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dino Bajlo

ANALIZA PROGRAMA ODRŽAVANJA STAROG ZRAKOPLOVA S KLIPNIM MOTOROM

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 19. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3371

Pristupnik: **Dino Bajlo (0035177051)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Analiza programa održavanja starih zrakoplova s klipnim motorom**

Opis zadatka:

U radu je potrebno definirati pojam starog zrakoplova s klipnim motorom. U nastavku je potrebno dati pregled preporuka proizvođača zrakoplova za održavanje vezano uz starost zrakoplova na primjeru proizvođača Cessna. Potrebno je istražiti, analizirati i komentirati starost flote klipnih zrakoplova u RH. Obzirom na programe održavanja klipnih zrakoplova, npr. C172, potrebno je dati pregled potrebnih izmjena i dopuna programa održavanja obzirom na godinu proizvodnje.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor:

doc. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA PROGRAMA ODRŽAVANJA STAROG ZRAKOPLOVA S KLIPNIM MOTOROM

ANALYSIS OF THE MAINTENANCE PROGRAM OF AGEING AIRCRAFT WITH PISTON ENGINE

Mentor: doc. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Dino Bajlo
JMBAG: 0035177051

Zagreb, srpanj 2016.

Sažetak

Starenjem zrakoplova dolazi do određenih promjena koje mogu narušiti sigurnost i pouzdanost, a time i plovidbenost zrakoplova. Najvažnije promjene na koje treba obratiti pozornost su korozija i zamor materijala U prosjeku današnja flota malih zrakoplova na svjetskoj razini spada u stare zrakoplove. Da bi održali plovidbenost tih zrakoplova proizvođači izdaju mnoge dopune, odnosno izmjene programa održavanja. Kao jedan od važnih primjera može se izdvojiti program SID koji izdaje Cessna kako bi operatori pomoću dodatnih pregleda mogli održati plovidbenost stare flote.

Ključne riječi: stari zrakoplov, korozija, zamor materijala, Cessna, SID

Summary

Aging aircraft comes to certain changes that may impair the safety and reliability and thus the airworthiness of the aircraft. The most important changes, that need attention, are corrosion and fatigue. Current small aircraft fleet can be considered as ageing aircraft fleet. To maintain the airworthiness of these aircraft, manufacturers released many additions or modifications to the maintenance program. The most important program called SID is issued by the Cessna to operators with recomendations for additional inspections to ensure airworthiness of ageing aircraft.

Keywords: ageing aircraft, corrosion, fatigue, Cessna, SID

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Definicija starog zrakoplova 3

1.1 Starenje zrakoplova 4

1.2. Pouzdanost zrakoplova 5

1.3. Kontinuirana plovidbenost 6

3. Analiza broja zrakoplova u Republici Hrvatskoj 2016. godine uz usporedbu sa stanjem iz 2009. godine 8

3.1. Tipovi zrakoplova 9

3.2 Starost zrakoplova 10

4. Zamor materijala u zrakoplovstvu 11

5. Korozija u zrakoplovstvu 13

6. Cessna SID – izmjene programa održavanja 17

6.1 Cessna SID – osnovni pojmovi 17

6.2 Ispitivanje metodama bez razaranja 20

6.3. SID definirani pregledi 21

6.4. Primjer implementacije SID programa 22

6.5. Reakcija nadležnih državnih tijela na uvođenje SID programa 25

7. Zaključak 27

Literatura 28

Popis slika 30

Popis grafikona 31

1. Uvod

Danas u svijetu leti jako veliki broj malih zrakoplova, odnosno zrakoplova generalne avijacije. Takvi zrakoplovi su najbrojniji su u školstvu, a još ih se može naći u privatnom vlasništvu, aeroklubovima itd. Glavnina razvoja generalne avijacije je započela nakon Drugog svjetskog rata i razvija se velikom brzinom.

Svjetski prosjek danas govori da je na globalnoj razini generalna avijacija sve starija. Manje se investira u kupnju novih zrakoplova nego u preprodaju istih. Mnogi od ranije spomenutih zrakoplova su danas prešli predviđeni životni vijek. S obzirom na to, potrebne su investicije u produženje životnog vijeka da bi se zadržala funkcionalnost i sigurnost takvih zrakoplova.

SAD, kao predvodnik zrakoplovne industrije, prvi je započeo s istraživanjem problema starenja zrakoplova. Njihove zrakoplovne vlasti, ali i država, su već sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća donijele nekoliko zakona i pravilnika koji su se bavili problemom starenja njihove flote.

S obzirom na fizikalne pojave koje nastaju na zrakoplovnim konstrukcijama tijekom vremena, a koje su u većini slučajeva neizbježne, potrebno je bilo pronaći nekakvo rješenje koje bi pokrilo takav problem.

Proizvođači zrakoplova su na temelju dotadašnjih iskustava počeli izdavati dokumente koji su se bavili izmjenama metoda održavanja. Cessna, najpopularniji proizvođač generalne avijacije, je najprije za svoje dvomotorne zrakoplove, a onda i za seriju jednomotornih zrakoplova, izdala seriju dokumenata koji su se bavili izmjenama programa održavanja da bi operatori starijih zrakoplova bili u koraku s problemima koji se pojavljuju.

Tema ovog završnog rada je analiza implementacije izmjena programa održavanja starih zrakoplova proizvođača Cessna. Jednomotorni zrakoplovi proizvedeni od 1946. do 1986. godine spadaju u tu grupu zrakoplova kojima su izmjene namijenjene.

Završni rad je strukturiran u 7 poglavlja. Nakon uvoda u drugom poglavlju su izložene osnovne informacije o starim zrakoplovima i pojmovima vezanim za tu temu. U trećem poglavlju su prikazani rezultati istraživanja broja zrakoplova i njihove starosti u Hrvatskom registru zrakoplova. U četvrtom i petom poglavlju objašnjeni su pojmovi zamora materijala i korozije u zrakoplovstvu, kao dvije najvažnije posljedice starenja zrakoplova. Glavna tema ovog rada, izmjene programa održavanja i implementacija istih, predstavljena je u 6 poglavlju. Konačno mišljene vezno uz temu izloženo je posljednjem poglavlju odnosno zaključku.

2. Definicija starog zrakoplova

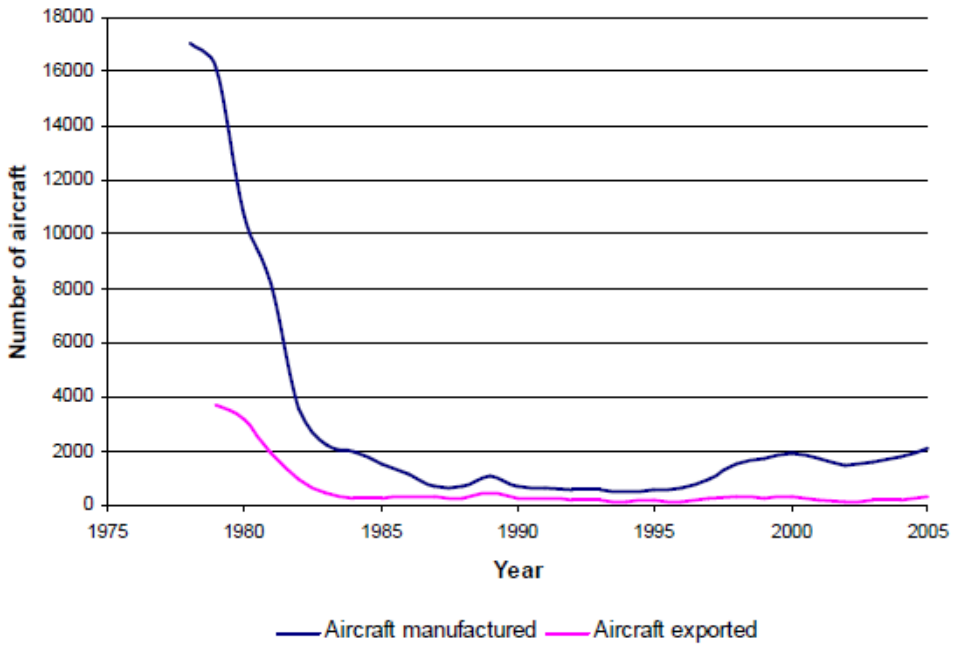
Starost zrakoplova je dosta teško definirati. Najčešće je to kombinacija kronološke starosti, broja sati leta te broja ciklusa. Svaka od ovih karakteristika ima neki utjecaj na starost. Kronološko vrijeme naročito utječe na pojavu i razvoj korozije kod zrakoplova, dok sati leta i ciklusi najviše utječu na zamor materijala. Uz sve ovo navedeno, neposredno na starost zrakoplova utječu uvjeti i kvaliteta održavanja te radni uvjeti u kojima je zrakoplov proveo velik dio radnog vijeka.

Većina današnjih malih zrakoplova predviđena je za životni vijek od otprilike 20 godina koji je još ograničen i predviđenim satima leta, odnosno ciklusa. Mali zrakoplov se definira kao jednomotorni ili dvomotorni zrakoplov težine do 5700 kg s klipnim motorom. [1] Danas je najviše malih zrakoplova prizvođača Cessna i Piper. Unutar tog životnog vijeka, uz izvršavanje predviđenog održavanja, korisnik osigurava normalan i siguran rad zrakoplova. Danas je na svjetskoj razini prosjek starosti generalne avijacije 30 godina, a smatra se da će do 2020. godine prosjek biti 50 godina. Velika većina generalne avijacije danas se koristi daleko duže od predviđenog životnog vijeka. Također, treba spomenuti da je većina starih zrakoplova certificirana prema američkom standardu CAR-3 (*Civil Aviation Regulations*), standardu koji je nastao tijekom pedesetih godina prošlog stoljeća i danas je znatno zastario. [2]

Stari zrakoplov možemo definirati kao svaki zrakoplov kojem se investicijama i detaljnijim održavanjem produžuje životni vijek. Prema nekim drugim definicijama starim zrakoplovom smatra se svaki zrakoplov stariji od 30 godina. Kod takvog zrakoplova u redovnom održavanju, osim svih predviđenih postupaka, potrebno je uvrstiti i postupke kojima se dodatno kontroliraju problemi vezani uz starost zrakoplova kao što su pojava korozije, odnosno zamor materijala. [3]

Takvo produženje životnog vijeka, odnosno korištenje zrakoplova dulje od predviđenog vremena, je karakteristično za operatere generalne avijacije i privatne vlasnike malih zrakoplova s obzirom da je investicija za kupnju novog zrakoplova znatno veća nego ulaganje u daljnje održavanje. Proizvodnja novih zrakoplova je u padu od sedamdesetih godina prošlog stoljeća [3]. S obzirom na cijene novih

zrakoplova danas, a popularnost i kvalitetu mnogih starijih zrakoplova, danas se mnogi operatori odlučuju za kupnju korištenih odnosno starih zrakoplova.



Grafikon 1. Broj prozvedenih zrakoplova po godinama u SAD-u **[3]**

Pad broja zrakoplova započinje 1980ih i nakon toga do danas intenzitet proizvodnje i izvoza zrakoplova ostaje konstantan kako je vidljivo u grafikonu 1.

1.1 Starenje zrakoplova

S obzirom na starenje, zrakoplov se može podijeliti na tri dijela zahvaćena starenjem:

- struktura
- pogonska jedinica
- ostali sustavi

Strukturom zrakoplova smatraju se trup, krila te upravljačke površine. Ti dijelovi zrakoplova su opterećeni na različita ciklička opterećenja te su zbog toga osjetljivi na

zamor materijala. Također, većina tih dijelova je metalna što ih čini osjetljivim na koroziju. Pouzdanost strukture zrakoplova ovisi o svim njezinim dijelovima pa je zbog toga vrlo važna kontrola svih pojedinih dijelova s obzirom da starenje neće jednako utjecati na sve dijelove [3]. Ovisno o smještaju i funkciji, određeni dijelovi će biti više odnosno manje zahvaćeni starenjem.

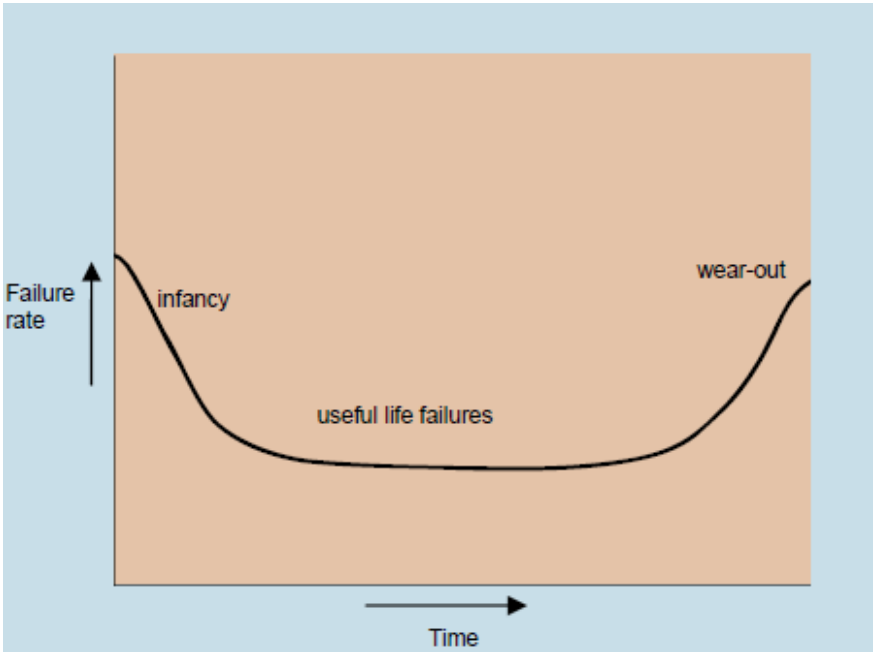
Starenje nema toliki utjecaj na pogonsku jedinicu zrakoplova s obzirom da se remont zrakoplovnih motora u pravilu vrši redovno, okvirno svakih 2000 sati [4]. Većina dijelova na koje starenje može utjecati, odnosno dijelova koji rade pod velikim opterećenjem, se redovno zamjenjuje. Smatra se da dijelovi motora nemaju životni vijek vezan uz zamor materijala, nego se njegovo stanje prati pomoću „praćenja zatečenog stanja“ (*on condition monitoring*). Motori koji se neredovito koriste su nešto osjetljiviji na starenje, jer takve motore najčešće zahvaća korozija te vrlo često zbog oštećenja cilindra, odnosno klipa i prstenova, dolazi do veće potrošnje ulja i problema s podmazivanjem.

Ostali sustavi na zrakoplovu su također podložni starenju. Pod ostalim sustavima se najčešće smatra elektrosustav zrakoplova, instrumenti te hidrosustav, odnosno pneumatski sustav. Najznačajniji utjecaj starenja kod električnog sustava zrakoplova je manifestiran kao degradacija izolatora električnih vodova. Kod generalnog zrakoplovstva (*general aviation*) i danas su najčešće zastupljeni klasični instrumenti. Takvi instrumenti, naročito oni kod kojih su zastupljeni pokretni dijelovi, su vrlo osjetljivi na trošenje s vremenom, odnosno starenje. Od toga je najvažnije spomenuti instrumente sa žiroskopom. [3]

1.2. Pouzdanost zrakoplova

Pouzdanost zrakoplova je sposobnost zrakoplova i svih njegovih komponenti da obave svoju zadanu funkciju.

Životni vijek zrakoplova sa stajališta pouzdanosti može se podijeliti u tri faze: „djetinjstvo“, „kvalitetan život“ i “starost“. Takvu podjelu je moguće predočiti kao krivulju u obliku „kade“ (*bathub curve*), kako je vidljivo u grafikonu 2. [3].



Grafikon 2. Životni vijek zrakoplova **[3]**

Tijekom „djetinjstva“ zrakoplov ima nešto veći intenzitet otkaza zbog pojave početnih nedostataka i grešaka proizvodnje. Tijekom „korisnog života“ pouzdanost zrakoplova raste i ostaje konstantna sve do „starosti“. Krajem životnog vijeka sve je više i više otkaza, te je pouzdanost manja zbog starenja zrakoplova.[3] Cilj produženja životnog vijeka zrakoplova je fazu „starosti“ odgoditi što više, odnosno pouzdanost iz druge faze zadržati što je dulje moguće.

1.3. Kontinuirana plovidbenost

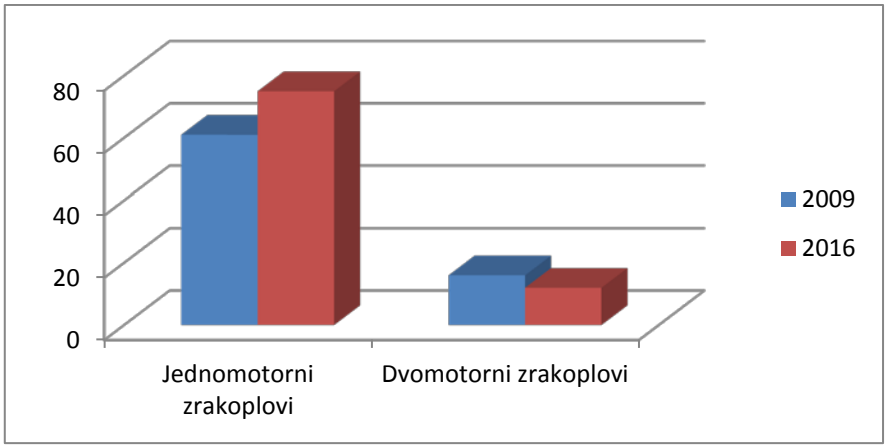
Kontinuirana plovidbenost je pojam osiguravanja plovidbenosti zrakoplova tijekom cijelog njegovog životnog vijeka. Sustav održavanja i vođenja kontinuirane plovidbenosti, osim proizvođača zrakoplova uključuje i samog operatora kao izvor podataka o uočenim problemima i nedostacima tijekom eksploatacije. Kontinuirana plovidbenost je opisana u propisu EASA PART-M. Tim propisom definirani su osnovni pojmovi i pravila vezani uz kontinuiranu plovidbenost [5]. Može se reći da se kontinuirana plovidbenost proteže kroz cijeli životni vijek zrakoplova. Na temelju tih podataka i ostalih podataka proizvođača, operatori zrakoplova vrše izmjene svojih

programa održavanja kroz servisne biltene, odnosno servisna pisma i AD note. Program održavanja je dokument u kojem su opisane sve obaveze, radnje i zadaci koji su potrebno da bi se održala kontinuirana plovidbenost zrakoplova. Program održavanja definira vlasnik, odnosno operator zrakoplova, a taj program odobrava nadležna zrakoplovna vlast. Servisni bilteni (*Service Bulletin*), odnosno servisna pisma (*Service Letter*) su vrsta dokumentacije vezana uz kontinuiranu plovidbenost koju izdaje proizvođač zrakoplova i namijenjena je operatorima zrakoplova. Najčešće opisuje moguće izmjene u programima održavanja u svrhu učinkovitijeg, sigurnijeg i isplatljivog održavanja. U osnovi servisni bilteni i pisma nisu obavezni za primjenu, ali servisni bilteni mogu biti izdani i kao obavezni servisni bilteni. Treća vrsta dokumentacije su AD note (*Airworthiness Directive*). AD note izdaje nadležna zrakoplovna vlast te su obavezne za implementaciju svima kojima su namjenjene. Kao i u servnim biltenima i pismima, AD notama se zahtjeva izmjena ili proširenje programa održavanja.

Kontinuirana plovidbenost je vrlo značajna u starenju zrakoplova s obzirom da operator dobiva podatke o stanju flote kroz godine, naročito iz perspektive zamora materijala, korozije i ostalih problematičnih pojava vezanih za starenje. Na taj način proizvođač može vršiti prilagodbe programa održavanja da bi se održao što duži životni vijek zrakoplova. [3]

3. Analiza broja zrakoplova u Republici Hrvatskoj 2016. godine uz usporedbu sa stanjem iz 2009. godine

Za potrebe ovog završnog rada provedena je analiza stanja malih zrakoplova u Registru zrakoplova Republike Hrvatske [6] s naglaskom na zrakoplove proizvođača Cessna, te je napravljena usporedba stanja Registra iz 2005. godine sa stanjem Registra 01. travnja 2016. godine. S obzirom na temu završnog rada u analizi je posebna pažnja pridodana broju zrakoplova tipa Cessna i njihovoj starosti. Od ukupno 124 mala zrakoplova, u Registru zrakoplova nalazi se 86 malih zrakoplova tipa Cessna i Piper. Za potrebe ovog istraživanja uzeti su u obzir samo zrakoplovi proizvođača Cessna i Piper. U odnosu na stanje iz 2009. godine vidljiv je porast broja malih zrakoplova. U registru je 8 zrakoplova više. S obzirom na razvitak zrakoplovstva unazad nekoliko godina te pojavu sve više pilotskih škola, takav porast je očekivan. Od navedenih 86 zrakoplova, jednomotornih zrakoplova je ukupno 75 (2009. ih je bilo 61), a dvomotornih je 12 (2009. ih je bilo 16).

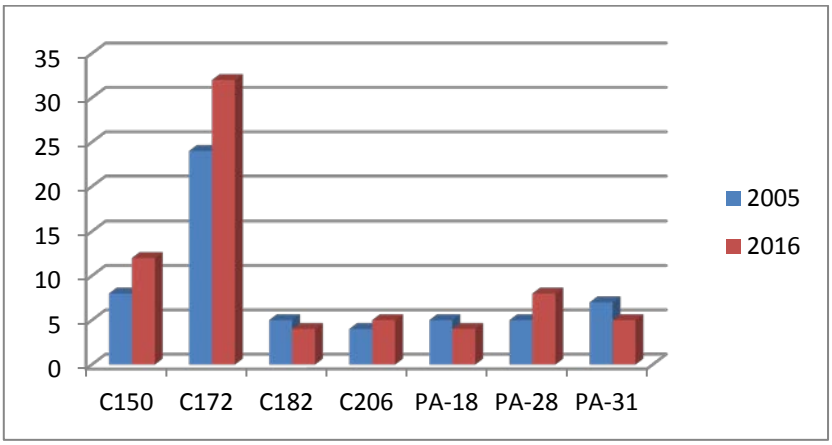


Grafikon 3. Klasifikacija zrakoplova prema broju motora

3.1. Tipovi zrakoplova

Na grafikonu 4. vidljiv je ukupni broj zrakoplova, od čega su 64 zrakoplova tipa Cessna, a 22 zrakoplova su tipa Piper. Od zrakoplova tipa Cessna očekivano najviše je zrakoplova Cessna 172, ukupno 32 komada. Slijedi Cessna 150 kojih je ukupno 12 komada. Cessni 206 je 5 komada, a Cessni 182 je ukupno 4 komada. Cessna modeli 152, 188, 210, i 310 prisutni su u Registru svaki u dva primjerka, dok je po jedan zrakoplov modela Cessna 177, 185 i 207. Sa zrakoplovima tipa Piper situacija je slijedeća: najviše je zrakoplova modela PA-28, ukupno 8 zrakoplova, slijede modeli PA-31 i PA-18 sa 5, odnosno 4 komada. Još se mogu pronaći modeli PA-34 i PA-44 sa dva zrakoplova svaki i PA-23 i PA-25 sa po jednim zrakoplovom.

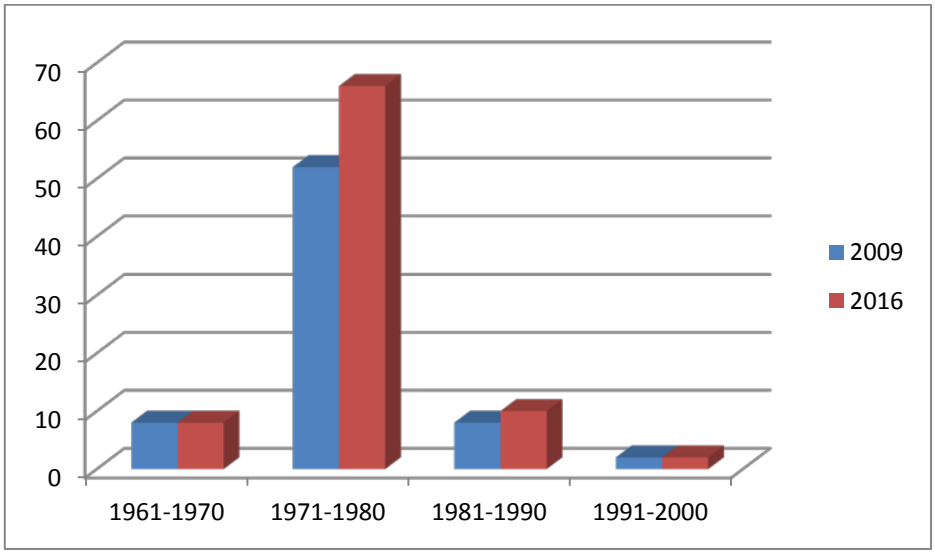
Usporedno sa stanjem iz 2009. godine vidi se da je ukupno 9 zrakoplova više u Registru zrakoplova. S obzirom na popularnost zrakoplova Cessna 172, najviše novih zrakoplova je tog modela, ukupno 8. Tendenciju povećanja broja komada prati Cessna 150 sa 4 zrakoplova više. Gledajući zrakoplove proizvođača Piper, PA-28 broji 3 nova zrakoplova u Hrvatskom registru. Još vrijedi spomenuti novi zrakoplov, Cessnu 206, kojih će zasigurno biti još više s obzirom na njegovu popularnost kao padobranskog zrakoplova. Među analiziranim modelima, zrakoplovi tipa Cessna ne bilježe pad ni kod jednog modela, dok je kod zrakoplova modela Piper vidljiv smanjen broj modela PA-18, PA-25, PA-34, PA-23 i PA-31. Jedini primjerak zrakoplova PA-46 više nije u Registru prema stanju iz 2016 godine.



Grafikon 4. Klasifikacija zrakoplova po tipu

3.2 Starost zrakoplova

Kako je vidljivo prema grafikonu 5., od 86 malih zrakoplova najveći broj ih je proizveden između 1971. i 1980. (66 zrakoplova ukupno). Od 1981. do 1990. proizvedeno je ukupno 10 zrakoplova, a između 1961. i 1970. 8 komada. Samo 2 zrakoplova su proizvedena od 1991. do 2000.



Grafikon 5. Klasifikacija zrakoplova po starosti

Uspoređujući sa Registrom zrakoplova iz 2009. vidi se da je udio zrakoplova po godištima vrlo sličan. Najviše je zrakoplova proizvedenih između 1971. i 1980. (77% prema Registru 2016., 68% prema Registru iz 2009.) Takav postotak zrakoplova generalne avijacije uobičajen je i na europskoj, odnosno svjetskoj razini. Zrakoplova proizvedenih između 1961. i 1970., odnosno između 1981. i 1990. ima oko 10%. Takav postotak je prema stanju i iz 2009. i iz 2016. Vidljiv je mali porast zrakoplova proizvedenih od 1981. do 1990., odnosno mali pad broja zrakoplova proizvedenih od 1961. do 1970. Takav pad broja najstarijih zrakoplova je normalan s obzirom na probleme i troškove eksploatacije zrakoplova tih godišta. Najmanje zrakoplova je proizvedeno od 1991. do 2000., svega 2%. Zaključno, postotak udjela zrakoplova po godištima je vrlo sličan, te se može ustanoviti da se, kao i 2009., i dalje radi o „staroj floti“ zrakoplova.

4. Zamor materijala u zrakoplovstvu

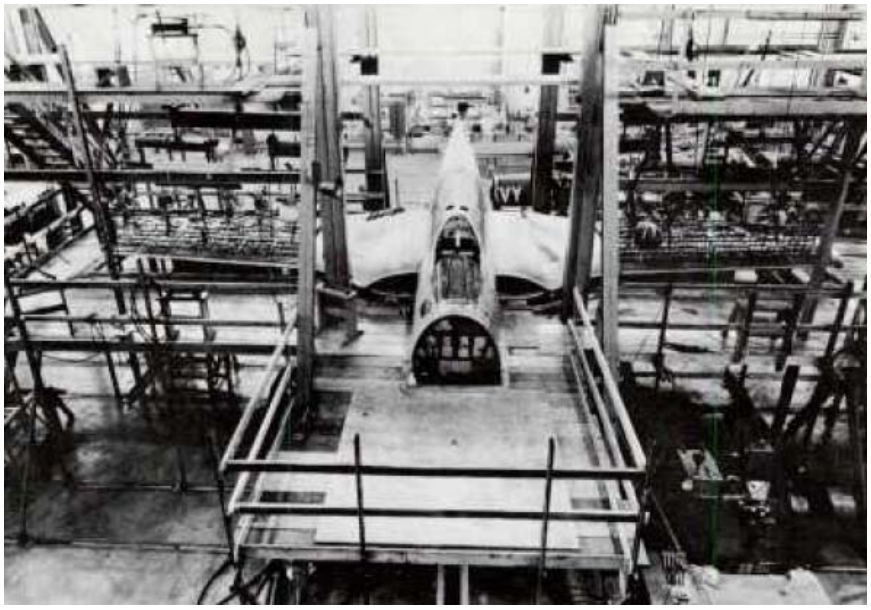
Zamor materijala nastaje kada je konstrukcija izložena naglim promjenama opterećenja. Zamor materijala u svojim početnim fazama ne narušava bitno čvrstoću materijala nego postupno dolazi do slabljenja materijala i kada opterećenje prijeđe maksimalno opterećenje koje materijal može podnijeti, dolazi do pojave pukotina, odnosno loma. Dok se pukotina ne pojavi zamor materijala nije moguće primijetiti. [7] Kod zrakoplova je to naročito izraženo u polijetanjima i slijetanjima gdje je konstrukcija ciklički opterećena.

U vremenu nastanka starijih zrakoplova zamor materijala se nije uzimao u obzir kao važna stavka u eksploataciji. Danas je to sastavni dio svakog dizajna zrakoplova. Pri konstrukciji zrakoplova najčešće se u obzir uzimaju materijali, geometrija i način montaže, odnosno sastavljanja zrakoplova. Materijali su početna točka u proračunavanju elemenata na zamor materijala. Danas se mogu dobiti vrlo precizni podaci o ponašanjima materijala na zamor, ali su to najčešće samo podaci dobiveni u laboratorijskim uvjetima što ne predstavlja nekakav realan podatak za konstrukciju s obzirom na nepoznavanje svih ostalih uvjeta u kojima će se taj konstruktivni element nalaziti. Prilikom konstruiranja treba uzeti u obzir načine na koji će elementi biti spojeni, odnosno kako će tada biti opterećeni, također treba izbjegavati one oblike elementa koji imaju karakteristiku koncentracije naprezanja u pojedinim točkama. Također, teoretski zamor materijala moguće je spriječiti predimenzioniranjem elemenata, ali tako nešto u zrakoplovstvu najčešće nije praktično. Postoji mnogo slučajeva gdje je došlo do pojave zamora materijala unatoč vrlo dobroj konstrukciji. Najčešći razlog je zaostalo opterećenje prilikom montaže, odnosno sastavljanja zrakoplova [8]

Kako je ranije spomenuto, zrakoplov je složena konstrukcija koja je prilikom polijetanja, odnosno slijetanja, izrazito dinamički opterećena, te je s toga vrlo bitna redovna kontrola svih konstruktivno značajnih dijelova zrakoplova. Opterećenja tijekom leta se procjenjuju praćenjem odstupanja g opterećenja. Slijetanje je faza leta koja najviše doprinosi pojavi zamora materijala. Opterećenja prilikom slijetanja ovise najviše o vrsti operacija, vrsti terena na koji se slijeće i položaju centra težišta.

Starenjem zrakoplova, uz neizbježnu koroziju, pojava zamora materijala je neizbježna.

Svi dijelovi zrakoplova sastavljeni su od velikog broja manjih komponenti i postoji veliki broj varijanti opterećenja takvih struktura. Prilikom testiranja cijelih krila zrakoplova na zamor materijala pokazalo se da najčešće do loma dolazi na spojnim elementima, naročito zakovicama (Slika 1). Pri proračunu zrakoplovnih konstrukcija vrlo je teško precizno predvidjeti moguću pojavu zamora materijala. Najčešće se, kombinacijom poznatih podataka o ponašanju materijala na zamor i iskustva, mogu pretpostaviti moguća mjesta pojave zamora i njegove posljedice [8].



Slika 1. Laboratorijsko testiranje krila na zamor materijala **[8]**

5. Korozija u zrakoplovstvu

Pojava korozije kod zrakoplova je jedna od najčešćih pojava vezanih uz starost zrakoplova. Od trenutka izlaska iz proizvodnje zrakoplovne konstrukcije, koje su u velikoj većini metalne, moraju biti zaštićene. Korozija djeluje kemijski, odnosno elektrokemijski na metal. Oštećenja od korozije mogu nastati na okom vidljivim mjestima, to jest površini metala, dok ona opasnija oštećenja nastaju ispod površine metala i vrlo su teško uočljiva bez sofisticiranih načina pregleda. Kemijska korozija nastaje djelovanjem najčešće lužnatih ili kiselih spojeva na metal. Takav tip korozije je ograničen samo na mjesto kontakta metala sa agresivnim kemijskim spojem. Za razliku od kemijske korozije, elektrokemijska korozija može djelovati na puno većoj površini. Svi metali imaju neki specifični elektropotencijal. Pojavom nekog vodljivog medija, najčešće vode koja se manifestira kao vlaga, dolazi do električkog povezivanja razlike potencijala i vrlo mala struja počinje teći. Takva struja izaziva oksidaciju materijala, a time i propadanje materijala. Može se ustanoviti da su osnovni uvjeti za pojavu korozije metali različitog potencijala i neki vodljivi medij [9]

Korozijski uvjeti u zrakoplovstvu su vrlo specifični s obzirom na uvjete eksploatacije zrakoplova. Zrakoplov se tijekom životnog vijeka susreće s mnogo različitih radnih uvjeta koji su često vrlo pogodni za nastanak korozije.

Zrakoplovi su tijekom polijetanja i slijetanja često izloženi prašini, sitnom kamenju i raznim drugim objektima koji mogu uzrokovati sitna oštećenja i ogrebotine. Također, opasnost od pojava ogrebotina i oštećenja postoji i prilikom održavanja. Takva oštećenja su vrlo pogodne početne točke za nastanak i širenje korozije.

Atmosfera je jedan od najznačajnijih čimbenika korozije. Najčešće se dijeli na ruralnu, industrijsku, obalnu i obalno-industrijsku. Također, ovisno o podneblju u kojem se zrakoplov nalazi, značajni podaci su i temperatura, odnosno vlažnost. U industrijskim atmosferama kao problem prisutan je veliki udio raznih agresivnih zagađivača u zraku, dok u obalnim atmosferama najveći problem predstavlja morska sol.

Visoka temperatura je najčešće pokretač korozije s obzirom da se većina kemijskih reakcija ubrzano događa povišenjem temperature. Temperatura znatno

utječe na brzinu, to jest intenzitet djelovanja korozije na aluminiju kao najpopularnijem konstruktivnom metalu u zrakoplovstvu.

Vlažnost je drugi važni čimbenik korozije. Vlaga uzrokuje stvaranje tankog električki vodljivog filma koji stvara električni članak [10]

Vrste korozije karakteristične za zrakoplovne strukture su: [9]

- površinska korozija
- kontaktna korozija
- intergranularna korozija
- korozija uzrokovana opterećenjem
- fretting

Površinska korozija se manifestira kao hrapavost, odnosno sitna oštećenja površine konstrukcije uz nastanak sitnog, najčešće praškastog otpadnog materijala (Slika 2). Nastaje ili kemijskim ili elektrokemijskim putem. Često je teško uočljiva ako nastaje ispod boje. Ponekad je takva korozija uočljiva na površini u obliku sitnih uzdignutih oštećenja boje, koji podsjećaju na „crve“ koji prolaze ispod. Takav oblik se naziva filiformna korozija [10] Kemijskim putem površinska korozija najčešće nastaje u prostoru za smještaj baterija na zrakoplovu s obzirom da tu dolazi do kontakta s agresivnim akumulatorskim tekućinama. Tijekom popravaka i održavanja može doći do kemijskog oštećenja tijekom zavarivanja i čišćenja površina, s obzirom da sredstva za čišćenje često sadrže kemijski agresivne spojeve. [9]



Slika 2. Površinska korozija **[9]**

Kontaktna korozija se pojavljuje između površina dvaju različitih metala. Na kontaktnoj površini u prisustvu nekog vodiča dolazi do pojave propadanja metala uzrokovanog korozijom (Slika 3.). Takva korozija je opasna jer se najčešće pojavljuje na dijelovima koji nisu vidljivi bez rastavljanja. [9]



Slika 3. Kontaktna korozija **[9]**

Intergranularna korozija se pojavljuje na granicama zrna u samom materijalu i gotovo nikad nije vidljiva golim okom jer se rijetko pojavljuje na površini. Na često nevidljivim, vrlo malim oštećenjima površine, dolazi do kontakta nečistoća i samih zrna materijala sa atmosferom, što posljedično dovodi do početka korozije. U vrlo teškom obliku takve korozije može doći do „listanja“ površine materijala. Listanje se pojavljuje na površini jer dolazi do delaminacije granica među zrnima materijala zbog nagomilane nečistoće između zrna kako je vidljivo na slici 4. [10]



Slika 4. Delaminacija uzrokovana korozijom **[9]**

Korozija uzrokovana opterećenjem je specifični oblik korozije koji se javlja nakon pojave malenih pukotina na materijalu koji se dodatno šire zbog propadanja materijala u pukotini djelovanjem korozije. Takva korozija se širi do potpunog loma konstrukcije. [9]

Fretting je vrsta korozije koja se pojavljuje na površinama koje su priljubljene jedna na drugu, ali se svejedno mogu vrlo malo pomicati. Najčešće je to na priljubljenim površinama koje su izložene vibracijama. Takva pojava je zapravo kombinacija korozije i trošenja materijala. [10] Korozija stvara sitne čestice koje zbog priljubljenosti površina ostaju unutar tog prostora, a zbog malog pomicanja, najčešće amplitudne karakteristike, dolazi do abrazije površina. Smatra se da se korozija inicijalno pokrene trošenjem. Posljedice pojave su veće što je intenzitet korozije snažniji. Također, smatra se da vlaga i kisik pospješuju *fretting*. Takve pojave su opasne jer najčešće pospješuju pojavu zamora materijala. [9] Na slici 5. prikazan je primjer ove vrste korozije.



Slika 5. *Fretting* **[9]**

6. Cessna SID – izmjene programa održavanja

Zrakoplovna industrija je pokrenula izdavanje raznih dokumenata u kojima se savjetuje revizija, odnosno proširenje odobrenih programa održavanja da bi se održala potrebna sigurnost i pouzdanost starih zrakoplova. Takvi dokumenti najčešće uvjetuju izmjene nakon što je zrakoplov prekoračio neko kalendarsko vrijeme i(li) satove leta. Tendenciju izdavanja takvih dokumenata prvi su pokrenuli proizvođači velikih zrakoplova, ali su vrlo brzo i proizvođači generalne avijacije prihvatili takvu praksu. [3] Takvi dokumenti su kod operatora velikih zrakoplova obvezni, dok su kod generalne avijacije mnoge državne krovne zrakoplovne organizacije ostavile na izbor primjenu takvih programa. Operatorima generalne avijacije takve izmjene programa najčešće predstavljaju znatni trošak. Najveći dio troška predstavlja inicijalno saniranje svih pronađenih problema nakon uvođenja programa, dok sam trošak daljnjeg kontinuiranog održavanja nije toliko značajan.

6.1 Cessna SID – osnovni pojmovi

Cessna Aircraft Company je najpopularniji proizvođač školskih i zrakoplova generalne avijacije na svijetu. I danas je najbrojniji proizvođač u registrima zrakoplova. Danas leti još otprilike 145 tisuća zrakoplova tipa Cessna prosječne starosti 42 godine. [11] S obzirom da znatno prekoračenje predviđenog životnog vijeka flote, Cessna je izašla sa nadopunom programa u obliku SID-a (*Supplemental Inspection Document*). SID program je objavljen putem servisnog pisma u listopadu 2012. godine. Cilj SID dokumenata je proširiti preglede koji se vrše, s posebnom pozornošću na koroziju i zamor materijala. SID dokumenti su izašli za sve Cessnine zrakoplove serije 100, 200 i 300 proizvedene između 1946. i 1986. [12] Za potrebe ovog završnog rada uzet će se u obzir samo SID dokumenti vezani za zrakoplov Cessna 172, kao najčešći i najpopularniji zrakoplov generalne avijacije danas. Primjena tih dokumenata se ne predviđa za zrakoplove koji imaju 30 tisuća sati leta ili više. Cessna predviđa otpis takvih zrakoplova. Preporučene izmjene programa održavanja se odnose na primarne i sekundarne komponente trupa zrakoplova. [13]

Ostali sustavi zrakoplova nisu dio ovih dokumenata. Svi predviđeni pregledi se baziraju na vizualnim pregledima i na pregledima bez razaranja (*NDT – Non Destructive Testing*). Ovi dokumenti su predviđeni za propisno održavane zrakoplove i za nemodificirane zrakoplove. Za sve modificirane zrakoplove, kao što su STOL (*Short Take Off and Landing*) konverzije i vortex generatori, potrebne su dodatne revizije SID dokumenata.

Tijekom izvođenja pregleda vrlo je bitan tok informacija između operatora i proizvođača. Proizvođač će sve eventualne dobivene informacije od operatora uvrstiti u izmjene SID-a, ako je potrebno.

Konstrukcija zrakoplova je podijeljena u osnovne konstrukcijske elemente (*PSE – Principal Structural Element*). Da bi neki dio mogao biti osnovni konstrukcijski element mora zadovoljiti dva uvjeta: mora biti komponenta koja značajno sudjeluje u preuzimanju opterećenja prilikom leta i na tlu, i otkaz takvih komponenti bi znatno ugrozio sigurnost leta. [13]

PSE se mogu podijeliti na:

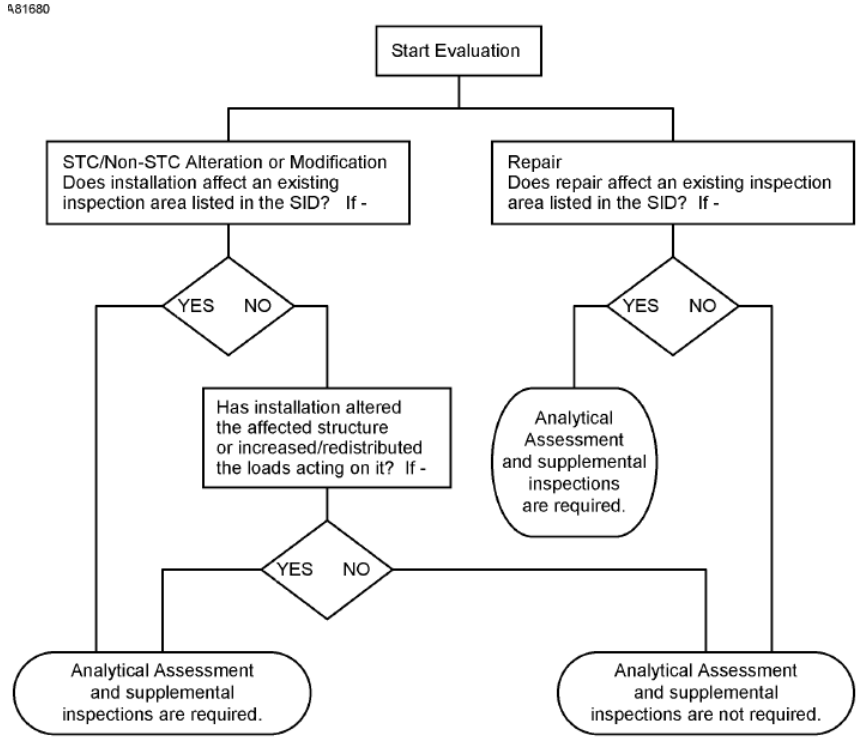
- krila i rep
- trup
- stajni trap
- nosači motora

Osnovna procjena stanja zrakoplova se vrši kroz nekoliko faza:

- korištenje zrakoplova
- spektar opterećenja
- procjena zamora materijala
- vrste zrakoplovnih operacija
- korozijski uvjeti

Pod pojmom korištenje zrakoplova smatra se procjena opterećenja s kojima se zrakoplov susretao u dotadašnjem životnom vijeku. Procjena se vrši na temelju prosjeka opterećenja u uobičajenom letu. U obzir se uzimaju ukupna masa zrakoplova, teret, gorivo, visina, brzina i udaljenost. Takav let se podijeli u segmente, te se za svaki segment računaju prosječna opterećenja na temelju podataka.

Spektar opterećenja se prikazuje kao bruto iznos opterećenja, odnosno prikazuje uvjete rada zrakoplova iz pogleda opterećenja. U taj spektar uključena su opterećenja tijekom leta, opterećenja tijekom slijetanja, opterećenja tijekom vožnje na zemlji i ciklusi zrakoplova. Nakon procjene (Slika 6.) dobivaju se dva spektra opterećenja, jedan prilikom normalne eksploatacije i drugi prilikom nenormalne eksploatacije [13].



Slika 6. Dijagram toka procjene potrebnih SID pregleda **[13]**

Procjena zamora materijala se vrši za svaki osnovni konstrukcijski element posebno. Određuju se najvjerojatnija mjesta oštećenja i mehanizmi djelovanja.

Vrste operacija zrakoplova se procjenjuju na temelju prosječne udaljenosti leta i prosječnog vremena leta koji se računa kao omjer ukupnih sati leta i broja ciklusa, kako je vidljivo u prikazanoj formuli..

$$Average\ Flight\ Length\ = \frac{Number\ of\ Flight\ Hours}{Number\ of\ Flights}$$

Ako je dobivena vrijednost manja od 30 minuta, potrebno je uzeti u obzir vremenski raspon za detaljni pregled. Metode detaljnog pregleda se također uzimaju u obzir i za zrakoplove koji su 30% ili više vremena proveli u letovima na maloj visini. Za sve ostale mogućnosti uzima se u obzir vremenski raspon za uobičajeni pregled.

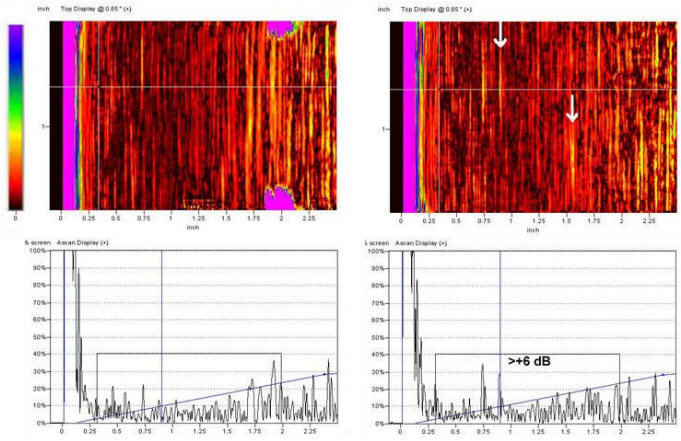
Ako je zrakoplov prije inicijalnog pregleda, odnosno prije zadnjeg pregleda više od 30% vremena boravio u korozijski opasnom području, potrebno je koristiti vremenske razmake za detaljni pregled. [13]

6.2 Ispitivanje metodama bez razaranja

SID dokumenti predviđaju u pregledima korištenje vizualnog pregleda, vrtložnih struja, testiranje penetrantima, magnetna testiranja i ultrazvučne preglede.

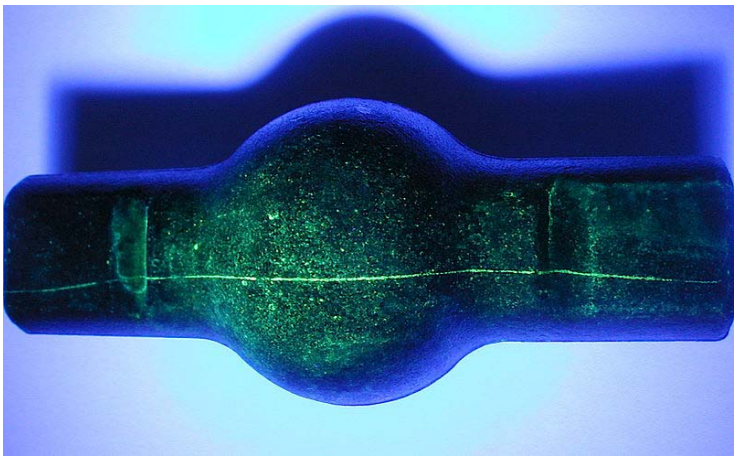
Vizualni pregledi su najstariji načini pregleda u održavanju. Takvom metodom se mogu otkriti razne nepravilnosti i oštećenja na površini materijala. Osim golim okom, mogu se koristiti razna pomoćna sredstva kao što su povećala, kamere, boroskopi, osvjetljenja itd. S takvim sredstvima moguće je vidjeti neke okom nevidljive nepravilnosti, a moguće je i pregledati inače nedostupna mjesta.

Ultrazvučnim metodama (Slika 7.) se najčešće mjere debljine materijala nakon popravka, uklanjanja korozije itd. Uređaj mjeri vrijeme prolaska ultrazvučnog vala kroz materijal.



Slika 7. Ispitivanje materijala ultrazvukom [9]

Testiranje penetrantima se vrši zbog otkrivanja sitnih pukotina i diskontinuiteta na površini (Slika 8). Mogu se koristiti samo na onim površinama koje su normalno dostupne. Osim klasičnih penetranata postoje floroscentni i oni vidljivi samo pod ultraljubičastim svjetlom.



Slika 8. Testiranje penetrantima [9]

Magnetnim testiranjem vrše se pregledi isključivo električki vodljivih materijala. Takvim ispitivanjima je moguće otkriti diskontinuitete na površini ili vrlo blizu površine. Inducira se magnetno polje u metalu koji je tretiran feromagnetnim česticama te se prati njihov raspored na površini pomoću kojeg se mogu otkriti nepravilnosti.

Kao i kod magnetnog testiranja, testiranje vrtložnim strujama može otkriti nepravilnosti na površini ili malo ispod površine. Vrtložne struje nailaskom na diskontinuitete induciraju magnetno polje koje se detektira te se kasnije može interpretirati. [13]

6.3. SID definirani pregledi

Svi pregledi su definirani ili kalendarskim razdobljem ili satima naleta zrakoplova. Vrste pregleda, odnosno termini provedbe su u SID dokumentu definirani brojevima od 1. do 27. Pregledi pod brojevima 2 do 6 su pregledi vezani uz CPCP (*Corosion Prevention and Control Program*) program o kojem će biti nešto više rečeno kasnije.

Od kalendarskog razdoblja definirani su pregledi koji se vrše svakih 12, 24, 36, 48 i 60 mjeseci, odnosno svakih 3, 5, 10 ili 20 godina. Prema satima naleta definirani su pregledi svakih 100, 500, 1000, 3000, 6000 i 10000 sati. [13]

Termin svih pregleda, ako je definiran satima naleta, može se prekoračiti za 10 sati, odnosno za 30 dana ako je definiran kalendarskim razdobljem. Pregled se može izvesti i ranije, s time da, ako je izveden unutar 10 sati do predviđenog termina pregleda, sljedeći termin se ne pomiče, dok ako se pregled izvede više od 10 sati prije predviđenog termina, termin sljedećeg pregleda pomiče se unaprijed za onoliko vrijeme koliko je pregled izvršen ranije. [13]

Svi pregledi su detaljno opisani u SID dokumentu. Opisan je način provođenja pregleda, vremenski intervali te je za svaki pregled definirana zona zrakoplova u kojoj se taj pregled vrši. Također, istaknuto je da li se pojedini pregledi vrše za zrakoplove svih godina proizvodnje ili samo za određena godišta zrakoplova.

Među ovim pregledima uvedenim SID programom važno je spomenuti dugoročni program kontrole korozije koji je proizvođač uveo kao način praćenja i prevencije pojave korozije na zrakoplovima. CPCP primarno ima svrhu preventivnog djelovanja na koroziju da razmjer te korozije ne bi utjecao na kontinuiranu plovidbenost zrakoplova. [13] Svrha tog programa nije potpuno sprječavanje korozije nego održavanje korozije uz minimalan rad na razini na kojoj nije ključan čimbenik u sigurnosti.

Prema ovom programu korozija je podijeljena u tri razine. Prva razina je najblaža, a treća razina je najgora. Prva razina predstavlja koroziju koja je lokalnog karaktera i najčešće se nakon sanacije više ne pojavljuje. Korozija razine dva je korozija koja se najčešće pojavljuje na svakom redovnom pregledu i potrebna je sanacija takve korozije. Korozija treće razine se pojavljuje tijekom svakog pregleda i ugrožava normalnu plovidbenost zrakoplova. [13]

6.4. Primjer implementacije SID programa

Na primjeru zrakoplova Cessna 172N u vlasništvu Fakulteta prometnih znanosti biti će prikazan način uvrštavanja izmjena u postojeći program održavanja.

Zrakoplov je proizveden 1977. godine, koristi se za IFR letenje i prosječno vrijeme leta je manje od 30 minuta pa se stoga primjenjuju vremenski rasponi za detaljne preglede. Također, zrakoplov je boravio većinom u korozijski neopasnom području pa se ne rabe vremenski rasponi za detaljni korozijski pregled [14]

Prema SID dokumentu određeni ranije izdani servisni bilteni moraju biti već implementirani da bi se moglo provesti daljnje uvrštavanje izmjena programa. Razlog tome je što ti servisni bilteni već sadrže određene izmjene programa koje se odnosne ta preglede iz domene SID programa.

Slijedeći servisni bilteni su predviđeni, odnosno već su implementirani za promatranu Cessnu:

- *Flap track and wing structure inspection* *SEB 95-03*
- *Horizontal stab inspection* *SEB 94-08*
- *Engine mount bracket inspection* *SEB 07-2R2*
- *Contol yoke inspection* *SEB 01-03*

Uz te servisne biltene uvrštena je još i AD nota *AD 2011-10-09 Seat locking mehanizm.* Uz to prezentirane su informacije o tome što je sve napravljeno na polju zaštite od korozije. [14]

S obzirom na navedene podatke o dosadašnjem životnom vijeku predmetnog zrakoplova implementirani su slijedeći pregledi:

- *SID 27-20-01 Rudder Pedal Torque Tube inspection*
- *SID 32-13-03 Main Landing Gear Axle inspection"*
- *SID 57-53-01 Flap track Corrosion inspection,*
- *SID 55-11-01 Horiziontal Stabilizer Fwd Spar Inspection,*
- *SID 53-47-01, Seat Rail & Seat Rail structure Corrosion*
- *SID 57-51-01, Aileron Support Structure Inspection*
- *SID 57-11-03, Wing Splice Joint at Strut Attach Inspection*
- *SID 55-30-01, Vertical Stabilizer,Rudder and Attachments Inspection*

Prethodno navedeni pregledi nisu svi pregledi predviđeni SID programom za taj model zrakoplova. Ostali pregledi nisu uključeni jer nisu svi predviđeni za zrakoplove svih godišta proizvodnje. Opseg godišta zrakoplova koji su uključeni u pojedini pregled definirani su serijskim brojevima zrakoplova. [13]

SID 27-20-01 opisuje vizualni pregled osovine pedala. Pregled se vrši zbog moguće korozije i pukotina. Korozija i pukotine su najčešće na mjestima koja su spajana zavarivanjem, te u slučaju otkrića pukotine ta mjesta je moguće popravljati. Pregled se inicijalno vrši nakon 10000 sati ili 20 godina a nakon toga svakih 3000 sati ili 5 godina [13].

SID 32-13-03 opisuje preglede osovina glavnih nogu stajnog trapa. U slučaju otkrića korozije potrebna je zamjena osovina. Predviđen je vizualni pregled uz korištenje vrtložnih struja ako su potrebne za potvrdu nalaza. Pregled se vrši inicijalno nakon 6000 sati ili 10 godina, a nakon toga svakih 1000 sati odnosno 3 godine [13].

SID 57-53-01 opisuje pregled rubova i vodilica zakrilaca. Da bi se ovaj pregled mogao provesti inicijalno mora biti proveden prethodno naveden servisni bilten SEB 95-03. Ako taj bilten nije implementiran, mora ga se implementirati prije provođenja ovog pregleda. Zakrilca i vodilice se kontroliraju vizualno na pojavu korozije odnosno „listanja“ rubova. Za promatrani zrakoplov koji nije boravio u korozijski opasnom području ovaj pregled se izvodi inicijalno nakon 20 godina, a nakon toga svakih 10 godina [13].

SID 55-11-01 definira potrebne preglede prednje ramenjače horizontalnog stabilizatora. Potrebno je utvrditi da li je instalirano ojačanje ramenjače (br. 0531007-1). Ukoliko je instalirano, pregled nije potrebno izvršavati. Vizualnim pregledom se provjerava integritet prednje ramenjače. Pukotine koje nisu propagirale dulje od sredine ramenjače mogu se sanirati bušenjem tako da se zaustavi daljnje širenje. Pregled se inicijalno vrši nakon 100 sati ili 1 godine, a nakon toga svakih 100 sati odnosno svakih godinu dana [13].

SID 53-47-01 opisuje pregled vodilica odnosno montaže sjedala. Prije pregleda mora biti implementirana ranije spomenuta AD nota 2011-10-09. Nakon uklanjanja sjedala vrše se pregledi vodilica na koroziju i ovisno o stupnju zahvaćenosti korozijom vodilice se saniraju ili zamjenjuju. Pregled se vrši svakih svakih 10 godina [13].

SID 57-11-03 predviđa pregled cijelih krila. Pregled se vrši vizualno i uz pomoć vrtložnih struja, boroskopa i povećala. Nakon uklanjanja svih servisnih panela i vrhova krila, pregledavaju se svi dijelovi i spojni elementi krila. Sve pretjerano

istrošene i korodirane dijelove potrebno je zamijeniti i cijelu strukturu detaljno sanirati u slučaju da je korozija pronađena [13].

SID 55-30-01 opisuje sve preglede potrebne za kontrolu integriteta vertikalnog stabilizatora i kormila dubine. Pregledi se vrše vizualno uz vrtložne struje po potrebi. Nakon rastavljanja potrebno je zamijeniti sve istrošene spojne elemente i sitne dijelove. Svi veći popravci strukture su mogući ako su opisani u važećem programu održavanja [13].

6.5. Reakcija nadležnih državnih tijela na uvođenje SID programa

Cessna je 2012. godine izdala servisno pismo broj SEL-05-01 s u kojem opisuje potrebu uvođenja izmjena u programe održavanje predviđene SID dokumentima. [15] S obzirom na ranije spomenuti broj jednomotornih Cessni i njihova godišta, vrlo veliki broj zrakoplova je bio zahvaćen ovim izmjenama. S obzirom na popularnost jednomotornih Cessni, znatni broj naročito starijih Cessni nalazi se u privatnim vlasništvima. Pojavom ovog programa koji na mnoge i vrlo male nedostatke djeluje preventivno što predstavlja znatan trošak, pojavio se otpor prema uvođenju takvih programa naročito među privatnim vlasnicima.

EASA kao krovna zrakoplovna organizacija na području Europe je dvije godine poslije, nakon analize situacije dala svoje mišljenje. EASA je 2014. izdala svoje tumačenje kao dokument EASA SIB (*Service Information Bulletin*) [15].

EASA preporuča svim vlasnicima da razmotre uvođenje SID programa, ali ga ne smatraju obaveznim za uvođenje. Smatraju da je potrebno analizirati svaki pregled posebno i razmotriti njegovu potrebu za uvođenjem. EASA u tom dokumentu ukazuje na pregled ramenjače Cessne 210 s obzirom da ima krilo s jednom ramenjačom i pojava problema bi mogla biti kritična. Također ukazuje na pozornost trimera kormila dubine na Cessnama 207, 208 i 210 kod kojeg se zbog starosti može pojaviti situacija gdje je kolo trimera potpuno labavo. Na svim Cessnama predviđaju kontrolu sustava prijenosa na pedalama, jer pojava korozije ili zamora na tom mjestu bi mogla dovesti do situacije potpunog otkaza kormila smjera. Također, dio vrlo važnih

pregleda je uvršten u FAA (*Federal Aviation Administration*) AD (Airworthiness Directive) note koje je prihvatila i EASA.

Konačno mišljenje EASAe je da uvrštavanje pregleda nije obavezno, ali da treba detaljno razmotriti razloge i moguće posljedice ne uvođenja tih pregleda. Također, oni koji preglede ne uvedu, trebaju dobiti odobreni program održavanja u kojem pokazuju na koji način će se i dalje održavati kontinuirana plovidbenost. [15]

Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo uvažava mišljenje EASAe iz prethodno opisanog dokumenta. Također, kako je napomenuto, komercijalni zračni prijevoznici moraju pripaziti na svoju politiku usklađivanja s neobaveznim izmjenama programa održavanja. Prema podacima dobivenim iz Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo zahtijevane izmjene programa održavanja implementiralo je oko 90% vlasnika zrakoplova zahvaćenih SID programom. [16]

7. Zaključak

Danas u svijetu ima jako veliki broj malih zrakoplova odnosno zrakoplova koji spadaju u tzv. generalnu avijaciju. Većina tih zrakoplova spada u stare zrakoplove.

Kod takvih zrakoplova počinju se pojavljivati problemi starenja – korozija i zamor materijala. S obzirom da su to neizbježne pojave potrebno je djelovati da bi se te pojave maksimalno usporilo i svelo na minimalnu razinu.

Proizvođači velikih zrakoplova su vrlo brzo počeli nalaziti rješenja i izlaziti u susret operatorima s izmjenama programa održavanja. Proizvođači malih zrakoplova su morali vrlo brzo ući u korak s njima i koristeći podatke dobivene kroz kontinuiranu plovidbenost, pronaći nekakvo rješenje problema starenja zrakoplova.

Cessna kao najveći proizvođač malih zrakoplova je prva izašla sa SID programom koji definira proširenje programa s izmjenama pregleda mogućih pojava zamora i korozije. S obzirom da je vrlo veliki broj zrakoplova bio zahvaćen tim izmjenama pojavio se određeni otpor prema provođenju istih. Vrlo veliki broj zrakoplova je u privatnim vlasništvima i vlasnici su se pribojavali dodatnog porasta troškova.

Problem starenja postoji i puno duže nego Cessna provodi izmjene te je ovakav program vrlo bitan napredak u rješavanju tog problema. Iako su se pojavljivale neistinite informacije da postoji „pozadina“ u uvođenju SID programa, takvi programi su potrebni i može se reći vrlo korisni s obzirom na moguće posljedice koje mogu nastati uslijed zanemarivanja starenja zrakoplova, odnosno neadekvatnog održavanja istih.

Literatura

[1] *CAP 698 Aircraft Performance Manual,* 2006.

[2] FAA, *Best Practices Guide for Maintaining Aging General Aviation Airplanes,* 2003.

[3] ATSB, »How Old is Too Old? The impact of ageing aircraft on aviation safety,« ATSB, February 2007.

[4] Bazijanac E., Zrakoplovni klipni motori, Zagreb, 2005.

[5] *Uredba komisije (EU) br. 1321/2014,* 2014.

[6] *Registar zrakoplova Republike Hrvatske,* Zagreb: HACZ, lipanj 2016.

[7] Marušić Ž. Bartulović D. Maković B., Aircraft Dynamics and Ageing, Tehnički vjesnik 22, 3(2015), str. 793-893, Zagreb 2015.

[8] Grover H. J., Fatigue of aircraft structures, Washington: Department of Navy, 1966.

[9] Riley A., Aardema B., Vosbury P., Aviation Maintenance Tehnician Handbook, FAA, Washington, 2008.

[10] Wallace W. Hoeppner W. D. Kandachar P.V., *AGARD Corrosion Handbook Volume 1. - Aircraft Corrosion: Cause and Case Histories,* Essex 1985.

[11] *Cessna Single Engine Safety Initiative,* 2012.

[12] Cessna Aircraft Company, *Service Letter SEL-05-01,* 2012.

[13] Cessna Aircraft Company, *Temporary revision number 5,* 2012.

[14] *Cessna 172 Aircraft Maintenance Program,* 2014.

[15] EASA, *Safety Information Bulletin 2014-01,* 2014.

[16] HACZ, *Provođenje SID programa sukladno EASA SIB 2014-01,* 2014.

Popis slika

Slika 1. Laboratorijsko testiranje krila na zamor materijala [8] 12
Slika 2. Površinska korozija [9] 14
Slika 3. Kontaktna korozija [9] 15
Slika 4. Delaminacija uzrokovana korozijom [9] 15
Slika 5. Fretting [9] 16
Slika 6. Dijagram toka procjene potrebnih SID pregleda [13] 19
Slika 7. Ispitivanje materijala ultrazvukom [9] 20
Slika 8. Testiranje penetrantima [9] 21

Popis grafikona

Grafikon 1. Broj prozvedenih zrakoplova po godinama u SAD-u [3]..... 4
Grafikon 2. Životni vijek zrakoplova [3]..... 6
Grafikon 3. Klasifikacija zrakoplova prema broju motora..... 8
Grafikon 4. Klasifikacija zrakoplova po tipu 9
Grafikon 5. Klasifikacija zrakoplova po starosti 10

METAPODACI

Naslov rada: Analiza programa održavanja starog zrakoplova s klipnim motorom
Student: Dino Bajlo
Mentor: doc. dr. sc. Anita Domitrović

Naslov na drugom jeziku (engleski): Analysis of the Maintenance Program of Ageing Aircraft With Piston Engine

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Ernest Bazijanac predsjednik
- doc. dr. sc. Anita Domitrović mentor
- v. pred. Izidor Alfirević, dipl. ing. član
- prof. dr. sc. Tino Bucak zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
Zavod: Zavod za aeronautiku
Vrsta studija: Preddiplomski
Studij: Aeronautika
Datum obrane završnog rada: 05. srpanj. 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu pod naslovom **Analiza programa održavanja starog zrakoplova s klipnim motorom** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 21.6.2016

(potpis)