

Gorivni sustav putničkog zrakoplova kao uzrok zrakoplovnih nezgoda i nesreća

Blagaić, Kiara

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:119:672705>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUŠILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 28. ožujka 2019.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna prijevozna sredstva**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5087

Pristupnik: **Kiara Blagaic (0135235872)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Gorivni sustav putničkog zrakoplova kao uzrok zrakoplovnih nezgoda i nesreća**

Opis zadatka:

Uvodno opisati osnovne značajke gorivnog sustava, s načinima primjene u prijevoznim sredstvima. Opisati osnove gorivnog sustava putničkog zrakoplova Airbus A320 te konstrukciju i rad najvažnijih sklopova/dijelova. Analizirati, u osnovnom, najvažnije zrakoplovne nesreće izazvane problemom/greškom u gorivnom sustavu. Izračunati protok u gorivnom sustavu zrakoplova Airbus A320 u uvjetima krstarenja. Predložiti mjere za povećanje pouzdanosti gorivnog sustava.

Mentor:



prof. dr. sc. Željko Marušić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**GORIVNI SUSTAV PUTNIČKOG ZRAKOPLOVA KAO
UZROK ZRAKOPLOVNIH NEZGODA I NESREĆA**

**FUEL SYSTEM AS A CAUSE OF AVIATION
INCIDENTS AND ACCIDENTS**

Mentor: prof. dr.sc. Željko Marušić

Student: Kiara Blagaić

JMBAG: 0135235872

Zagreb, rujan 2019.

Sažetak

Rad opisuje elemente, konstrukciju i vrste gorivnih sustava s obzirom na tip zrakoplova. U svrhu objašnjenja gorivnog sustava dvomotornih mlaznih zrakoplova kao primjer uzet je zrakoplov Airbus A320. Analizirane su najutjecajnije zrakoplovne nesreće uzrokovane gorivnim sustavom te doprinos pri podizanju razine sigurnosti u pogledu gorivnog sustava. Također u ovom radu izrađen je matematički izračun je protoka goriva za zrakoplov Airbus A320 pri krstarenju.

Ključne riječi: gorivni sustav; gorivni spremnici; Airbus A320; nedovoljna količina goriva; zatajenje motora

Summary

This thesis describes elements, construction and types of aircraft fuel systems. For the purpose of explaining the fuel system of twin-engine jets, an Airbus A320 was taken. The most influential aviation accidents caused by the fuel system, as well as their contribution to raising the level of safety with respect to the fuel system. Also in this thesis was made a mathematical calculation of the fuel flow for aircraft Airbus A320 in the cruise.

Key words: fuel system; fuel tanks; Airbus A320; insufficient fuel supply; engine failure

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Gorivni sustav zrakoplova	3
2.1.1. Statični (kruti).....	4
2.1.2. Pomični spremnici.....	5
2.1.3. Integralni spremnici.....	6
2.2. Pumpe.....	7
2.2.1. Dobavne pumpe	7
2.2.2. Pumpe za dobavljanje goriva.....	7
2.3. Ventili	8
2.4. Cijevi i spojevi.....	9
2.4.1. Cijevi.....	9
2.4.2. Spojevi.....	10
2.5. Pročišćivači gorivnog sustava	11
2.6. Grijači	12
3. Funkcije sustava dobave goriva	13
3.1. Stvaranje pretlaka u sustavu	13
3.2. Dovod goriva u motor	13
3.3. Pretakanje goriva	14
3.4. Punjenje/pražnjenje sustava	14
3.5. Ventilacija spremnika	15
3.6. Izbacivanje goriva (<i>fuel jettison</i>)	15
4. Zrakoplovna goriva.....	17
4.1. Mjerenje količine goriva.....	19
4.2. Instrumenti	22
5. Gorivni sustav prema vrsti zrakoplova	24
5.1. Gorivni sustav manjih jednomotornih zrakoplova	24
5.2. Gorivni sustavi manjih višemotornih zrakoplova.....	27
5.3. Gorivni sustavi velikih višemotornih zrakoplova s radijalnim motorima	28
5.4. Gorivni sustav mlaznih zrakoplova	29
6. Gorivni sustav zrakoplova Airbus A320.....	31

6.1. Preinake u svrhu povećanja sigurnosti.....	40
7. Analiza nesreća	42
7.1. Značajne nesreće uzrokovane gorivnim sustavom.....	51
7.1.1. East coast Flight 3101	51
7.1.2. Cathay Pacific Flight 780	52
7.1.3. Avianica Flight 52	54
7.1.4. Air Transat Flight 236	60
7.1.5. British Airways Flight 38.....	63
7.1.6. Gimli Glider	66
8. Izračun protoka goriva zrakoplova Airbus A320 u fazi krstarenja	71
9. Prijedlozi za poboljšanje	76
10. Zaključak.....	78
Literatura.....	79
Popis slika.....	82
Popis Grafova	84
Popis Tablica	85

1. Uvod

Od postojanja prvih motora, sustav za gorivo se sastoji od jednog ili više spremnika koji su međusobno spojeni kako bi se svaki motor mogao opskrbljivati gorivom.

U počecima zrakoplovstva kompleksniji sustavi nisu bili potrebni zbog jednostavnosti zahtjeva ondašnjih zrakoplova, no kako se tehnologija razvijala i integrirala u nove zrakoplove, oni su postajali sve kompleksniji. Sukladno tome, povećavao se opseg posla i industrija je razvijala nove tehnologije i nove instrumente koji bi zrakoplovima velikih kapaciteta omogućili nesmetani rad kao i onima s par sjedala.

Razvijanjem zrakoplovne industrije razvijali su se i putevi dobavljanja goriva motorima ali se povećavala i stopa nesreća s čestim tragičnim ishodima.

Ovaj završni rad opisuje elemente koji tvore gorivni sustav sa svim njegovim zadaćama. Navedene su neke od najutjecajnijih nesreća suvremenog doba, koje su bile uzrokovane kvarom gorivnog sustava ili prilikom rukovođenja gorivnog sustava. Za primjer gorivnog sustava mlaznih zrakoplova uzet je gorivni sustav zrakoplova Airbus A320, koji je jedan od najutjecajnijih proizvođača u pogledu noviteta tehnologije zrakoplova i njegovih sustava.

Rad se sastoji od deset poglavlja. Nakon uvoda, opisani su osnovni elementi gorivnog sustava te opis i podjela na vrste.

U trećem poglavlju navedene su funkcije sustava dobave goriva, podijeljene na stvaranje pretlaka, dovod goriva do motora, pretakanje goriva, punjenje / pražnjenje sustava, ventilacija spremnika i izbacivanje goriva.

U četvrtom poglavlju su navedena zrakoplovna goriva koja se danas upotrebljavaju, njihove značajke i osnovni instrumenti korišteni za indikaciju parametara gorivnog sustava.

Peto poglavlje ukazuje na razlike unutar gorivnih sustava različitih zrakoplova, gdje su razmatrani gorivni sustavi manjih jednomotornih zrakoplova, manjih i velikih višemotornih zrakoplova s radijalnim motorima.

Gorivni sustav zrakoplova s mlaznim motorima, na primjeru zrakoplova Airbus A320 razmatra se u poglavlju šest.

Sedmo poglavlje daje statistički prikaz zrakoplovnih nesreća, te omjer nesreća uzrokovanih kvarom u gorivnom sustavu.

Protok goriva za zrakoplov Airbus A320 u uvjetima krstarenja izračunat je u osmom poglavlju.

Mišljenje za suvremenizaciju gorivnog sustava kakvoga znamo danas dato je u devetom poglavlju.

Deseto poglavlje sadrži zaključak cjelokupnog rada, nakon čega je navedena literatura, slike, grafovi i tablice korištene pri izradi.

2. Gorivni sustav zrakoplova

To je sustav koji omogućuje da se gorivo puni, sprema i provodi do sustava izgaranja. Njegova glavna uloga u zrakoplovu kao cjelini je da osigura pouzdan dotok goriva do pogonskih jedinica odnosno motora. Kada bismo zamislili gorivni sustav u najosnovnijem obliku, sastajao bi se od jednog spremnika, unutar kojega se gorivo pogoni gravitacijom i cijevi, čija je uloga prevesti gorivo do motora. Kod suvremenih, većih putničkih ili teretnih zrakoplova nalazimo višestruke spremnike te je samim time i sam gorivni sustav veći i kompleksniji. S obzirom na veličinu samog zrakoplova i motorom kojim je pogonjen razlikuju se i gorivni sustavi te njihovi dijelovi i veličine.

Osnovni dijelovi: spremnik goriva, cijevi za gorivo, pročištač goriva, pumpa (crpka) goriva, regulator tlaka, regeneracijski ventil. Ključni faktor da bi se održala sigurnost leta je ispravan rad svih dijelova gorivnog sustava. Najvažnije je da gorivni sustav mora biti u stanju spremiti te isporučiti pročišćeno gorivo pod tlakom i određenom brzinom protoka motoru, pri kojem će zrakoplov biti u mogućnosti izvesti sve potrebne manevre, neovisno o vanjskim uvjetima leta zrakoplova.

2.1. Spremnici

Oblik spremnika najčešće se određuje pri kraju konstruiranja zrakoplova kada su struktura i karakteristike pogonskih sustava poznate. Način raspodjele spremnika (broj, lokacija) ovisit će i o namjeni zrakoplova, u smislu nosivosti, doleta i brzine. Uzimajući u obzir da gorivo čini veliki dio ukupne mase zrakoplova, jasno je da pri izradi proračuna za balansiranje treba uzeti u razmatranje rasporede i volumene spremnika.

Kod nekih konfiguracija se spremnik smješten u stražnjem dijelu trupa može koristiti za pomicanje težišta zrakoplova. Pozicija težišta se može optimalno podesiti tako da nije potrebno dodatno balansirati (*trimati*) upravljačke površine (najčešće kormilo visine), čime se automatski smanjuje otpor a povećava dolet. Raspored spremnika ovisit će o broju motora, konstrukciji krila i topologiji (unutarnjih prostora) zrakoplova.

Kada su granice spremnika poznate, potrebno je odrediti volumen i odgovarajući sustav

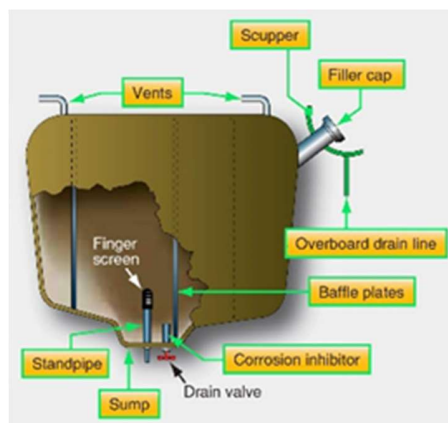
spremnika. Daljnja razrada karakteristike triju osnovnih vrsta spremnika obrađena je u nastavku. [1]

2.1.1. Statični (kruti)

Ovo su prvi oblici spremnika koji su se upotrebljavali u zrakoplovstvu. Nalazili bi se s vanjske strane zrakoplova, bili su vidljivi, dok se u novije vrijeme nalaze unutar same konstrukcije.

Usljed nedostataka više nisu glavni oblik spremnika:

1. Zbog velikih brzina, potrebno ih je vrlo čvrsto ugraditi u strukturu zrakoplova.
2. Potrebna su dodatna učvršćenja koja predstavljaju problem jer se povećava sveukupna masa zrakoplova i time smanjuje masa koja bi mogla biti u obliku goriva, putnika ili opreme.
3. S obzirom na to da su izgrađena i implementirana s vanjske strane zrakoplova na mjestu same proizvodnje cjelokupnog zrakoplova, u slučaju tehničkog kvara, teško i nepraktično ih je zamijeniti ili servisirati.
4. Iz praktičnih i ekonomskih razloga, mogu se nadograditi samo na pogodne aeroprofile zrakoplova. [1]



Slika 1: Prikaz statičnog spremnika. [1]

2.1.2. Pomični spremnici

Napravljeni su od materijala otpornih na gorivo te su lakši od statičnih spremnika. Svojim nedefiniranim oblikom se mogu prilagoditi prostorima unutar zrakoplova gdje statični spremnici ne bi bili praktični. Također u slučaju udara zrakoplova, puno je manja vjerojatnost oštećenja u odnosu na statične ili integralne spremnike.

Neki spremnici imaju premaz (pjenu) s vanjske strane, pa u slučaju da dođe do oštećenja spremnika, u kontaktu s gorivom se pjena rastapa i zatvara rupu.

Nedostaci:

1. Nema sigurnosti da je dno spremnika ravno, što može dovesti do stvaranja grebena koji će u kombinaciji s nakupljenom vodom uzrokovati koroziju.
2. U slučaju napuknuća spremnika, gorivo se može izliti s unutarnje strane prije negoli bude vidljivo s vanjske.
3. Cijelom dužinom moraju biti točno pričvršćeni kako bi se spriječilo da ih pojedini oštri predmet ne probije.
4. Moraju biti dobro pričvršćeni kako ne bi pali prilikom korištenja goriva.
5. Jedanput namočeni, ne smiju biti ostavljeni da se osuše, jer je mogućnost veća da dođe do puknuća i kasnijeg curenja goriva.
6. Imaju rok trajanja (nakon nekog vremena postaju porozni) . [1]



Slika 2: Prikaz pomičnog spremnika. [1]



Slika 3: Prikaz pomičnog spremnika. [2]

2.1.3. Integralni spremnici

Pričvršćeni (zapečaćeni) s unutarnje strane, omogućuju držanje goriva unutar prostora koji do sad nisu bili razmatrani kao pogodni.

Glavni spremnici smješteni su u krilima zrakoplova te je zbog toga, ovaj način spremanja goriva dobilo naziv mokro krilo (*wet wing*). Treba uzeti u obzir da se krilo savija i uvija pod utjecajem aerodinamičkih sila, pa će mjerenje goriva biti kompleksnije te se iz tog razloga senzori često ugrađuju u većem broju. Strukture krila su iskorištene tako da ne predstavljaju prepreke već dio sustava. Tetive unutar krila spojene su za višestrukim premazom od gume te se tako spremnik prilagodio konstrukciji a ne konstrukcija spremniku. [1]

Kao i kod pomičnih spremnika, također se treba pripaziti kako ne bi ostali suhi, jer u tom slučaju pucaju i puštaju gorivo. Zbog svojih karakteristika, omogućavaju zrakoplovu da zaprimi više goriva, samim time i duže prijeđene udaljenosti.

Kod većih zrakoplova suvremenijeg doba pogonjenih propelerskim motorom, omogućena je iskoristivost prostora pri samim vrhovima krila. Gorivo se kreće od krajeva prema korijenu samog krila. Kod pojedinih manevara zrakoplov se nagnje te da bi se spriječila mogućnost da se gorivo sumira na krajevima krila, ugrađuju se čepovi (*baffles*) koji kontroliraju pokretanje goriva. Isti efekt imaju i rebra krila, gdje je gorivo u mogućnosti proći kroz rebro s obzirom na to da postoji otvor između njih i okolne strukture.

Ugrađuju se i zaklopni ventili (*flapper valves*), koji se u slučaju pomicanja goriva u jednu

stranu otvaraju, a drugu zatvaraju. [1]

2.2. Pumpe

2.2.1. Dobavne pumpe

Dobavne pumpe (*feed / booster pump*) zaslužne su za stvaranje potrebnog protoka goriva na ulazu u motorsku sekciju. Bitne su pri samom paljenju motora dok još motorom gonjene pumpe nisu u funkciji, kako bi pokrenule goriva. Ova vrsta pumpe kod pojedinih zrakoplova nije uvijek u funkciji, već služe kao zamjena u slučaju otkaza primarne pumpe.

Ona dobavlja tlak goriva pri pokretanju motora te se koristi kao prevencija pri velikim visinama kako ne bi došlo do prestanka ubrizgavanja goriva uslijed pare. Pojavu kojoj pod utjecajem niskog tlaka, relativno visoke temperature i velikog opterećenja motora (velikog protoka) dolazi do isparavanja goriva nazivamo kavitacijom (*vapor lock*). Uslijed isparavanja se značajno smanjuje protok goriva i zato može doći do gašenja motora. Upravo iz tog razloga sigurnosna mjera propisuje da u sustavu dobave mora vladati tlak barem za 0,3 bar veći od tlaka isparavanja goriva.

Osim električno pogonjenih dobavnih pumpi, mogu se koristiti i ejektorske pumpe čija je prednost što nema pokretnih dijelova pa je u tom smislu pouzdana, a mana im je da imaju relativno usko područje rada. [3] [4]

2.2.2. Pumpe za dobavljanje goriva

Da bi omogućili dobavljanje goriva iz udaljenih spremnika koristimo pumpe za pretakanje goriva. Tijekom leta dolazi do postupne potrošnje goriva koja utječe na smanjenje mase zrakoplova pa samim time djeluje i na njegovo težište.

S obzirom na to da je težište ono koje utječe na stabilnost zrakoplova, ugrađuju se pumpe koje nam omogućavaju preraspodjelu goriva po spremnicima, te samim time i održavanje težišta unutar željenih granica. Preraspodjela, koja je kod zrakoplova koji su osjetljiviji na pomicanje težišta automatizirana, je brza i efikasna.

Da bi se omogućila što veća stopa sigurnosti, ugrađuju se i dodatne pumpe koje će u slučaju otkaza automatske preraspodjele, početi pumpati gorivo iz jednog spremnika u drugi i samim time održati težište. U pojedinim modelima zrakoplova dio spremnika se nalazi u vertikalnom stabilizatoru, gdje je upotreba pumpi obavezna te je bitno napomenuti da se pretakanje goriva između tako udaljenih spremnika izvršava za vrijeme krstarenja, kada je zrakoplov u horizontalnom ravnotežnom letu.

Gorivo se tijekom leta pomiče zbog utjecaja sila inercije, to je vrlo bitno spomenuti jer ako može doći do značajnog pomicanja težišta zrakoplova ili stvaranju preopterećenja konstrukcije pri pomicanju goriva. Kako bi se isključile te dvije mogućnosti u strukturu spremnika se ugrađuju pregrade, koje sprječavaju zapljuskivanje goriva. [3] [4]

2.3. Ventili

Unutar gorivnog sustava razlikujemo više vrsta ventila. Većina ventila se pokreće elektronski dok oni koji imaju samo dva položaja (*On/Off*) su otvoreni sve dok struje ima (položaj *On*), a ako se struja isključi i oni se automatski zatvaraju, okreću u položaj *Off*.

Primjeri nekih ventila su:

- Zaporni ventili (*shutoff valves*) se koriste za prekid dobave goriva u motor ili u određeni dio sustava. Primjer zapornih ventila su ventili za punjenje/praznjenje spremnika a koriste se za kontrolu raspodjele goriva tijekom procesa punjenja odnosno praznjenja.
- Ventili za unakrsnu dobavu goriva (*cross-feed valves*) funkcioniraju poput slavina. Oni su bitni kod višemotornih zrakoplova jer omogućuju da u slučaju otkaza jednog motora motor koji je i dalje funkcionalan dobiva gorivo i dalje iz svih spremnika. Ventili za unakrsnu dobavu goriva su u tom pogledu logistika napajanja motora gorivom te se iz tih razloga uspoređuju sa slavinom.

- Ventili za izbacivanje goriva (*fuel dump valves*) su zaduženi za izbacivanje viška goriva i to isključivo u izvanrednim situacijama. Ova vrsta ventila je sastavni dio sustava kod velikih zrakoplova koji lete na veće prekomorske udaljenosti. Slučaj je da je kod takvih zrakoplova masa zrakoplova pri polijetanju puno veća nego pri slijetanju, s obzirom na to da zbog velikih udaljenosti trebaju biti opremljeni velikim količinama goriva. Ako neposredno nakon polijetanja dođe do otkaza te se zrakoplov treba prizemljiti, pilot je dužan izbaciti višak goriva tako da masa zrakoplova bude prihvatljiva za performanse slijetanja. Upravo zbog takvih situacija u svijet zrakoplovstva je uvedena ovakva vrsta ventila.
- Ventili za odzračivanje se koriste kako bi odstranili višak zraka iz spremnika tijekom procesa punjenja, za vrijeme punjenja spremnika novim gorivom.
- Nepovratni ventili od kojih je jedan primjer zaklopni ventili (*flapper valve*) koji se u slučaju pomicanja goriva u jednu stranu otvaraju, dok se u drugu zatvaraju.[3]
[4]

2.4. Cijevi i spojevi

2.4.1. Cijevi

Cijevi unutar gorivnog sustava mogu biti fleksibilne ili čvrste, a to ovisi o njihovoj namijeni i lokaciji unutar gorivnog sustava. Čvrste cijevi su najčešće rađene od aluminijskih legura te su spojene po AN¹ ili MS² standardima. Međutim u odjelima kao što su odjel motora ili podvozja se više koriste cijevi izrađene od nehrđajućeg čelika kao sigurnost u slučaju naleta kakvog komada smeća ili gume.

¹ Army/Navy

² Military Standard

Fleksibilne cijevi su obložene s unutrašnje strane sintetičkom gumom, zatim ojačane sitnim vlaknastim materijalom te dodatno obložene sa sintetičkom zaštitom s vanjske strane.

Ovakve cijevi su odobrene za provođenje goriva, te se nikakve alternative ne bi trebale koristiti. Pojedine cijevi umjesto sintetičke zaštite s vanjske strane imaju mrežu napravljenu od nehrđajućeg čelika. Proizvođači oblažu obje vrste cijevi s dodatnim zaštitama protiv korozije ili požara, a promjer cijevi ovisi o potrebama samog zrakoplova koje ovise o konstrukciji i veličini. Fleksibilne cijevi se koriste u odjelima gdje postoje vibracije između pojedinih dijelova ili sklopova, kao na primjer između motora i konstrukcije zrakoplova.

Ono što je bitno napomenuti da je od velike važnosti da se pri instalaciji cijevi ne rotiraju te je svrha natpisa na njima upravo kontrola protiv krive instalacije. Također cijevi za provođenje goriva nikako ne bi smjele biti kraj cijevi koje provode struju niti bi ih se trebalo spajati, ako zbog manjka prostora to nije moguće, žice bi trebale biti iznad cijevi, jer tako u slučaju curenja goriva, gorivo ne curi prema izvoru struje.

Također sve cijevi gorivnog sustava trebale bi biti vezane i spojene za konstrukciju zrakoplova, iz razloga jer gorivo svojom kretnjom stvara statički elektricitet koji treba biti negdje uzemljen te se ovime taj elektricitet osigurava.[1]

2.4.2. Spojevi

Kao što je prije spomenuto, cijevi se spajaju AN ili MS spojevima. Ponekad može doći do puknuća spoja i curenja goriva, pri čemu se treba provjeriti da li je spoj dobro zabrtvljen, u slučaju da nije potrebno ga je provjeriti i po potrebi zamijeniti.

2.5. Pročišćivači gorivnog sustava

Razlikujemo dvije vrste pročišćivača gorivnog sustava:

1. Prvi su cjedila koja su zapravo žičane mreže. To su gušća cjedila te su napravljena da zadrže veće komade nečistoće, pa s obzirom na to da su im mrežni otvori preveliki vodu ne izdvajaju.
2. Druga vrsta su filteri čija je mreža vrlo gusta, koja prepoznaje i čisti gorivo od vode i čestica nečistoće veličine čak do 10-25 μm .

Kao što je prije spomenuto, cijevi se spajaju AN ili MS spojevima. Ponekad može doći do puknuća spoja i curenja goriva, pri čemu se treba provjeriti da li je spoj dobro zabrtvljen te u slučaju da nije potrebno ga je provjeriti i po potrebi zamijeniti. [1]



Slika 4: Prikaz onečišćenog pročišćivača. [1]

2.6. Grijači

S obzirom na to da zrakoplovi lete na velikim brzinama i visinama gdje su temperature zraka znatno manje, voda koja pada na dno spremnika ima tendenciju zamrzavanja. Kada gorivo krene svojom putanjom prema motoru, ponekad s njima putuju i komadi leda, koji mogu blokirati protok filtera i/ili u najgorem slučaju uzrokovati prestanak rada motora. Iz tih se razloga koriste grijači čija je svrha spriječiti stvaranje leda ili u slučaju postojanja leda, da ga otope.

Dva su tipa takozvanih grijača te oni nisu dodatni dio gorivnog sustava.

Prvi tip grijača je stlačeni zrak koji se dovodi iz motora, dok je drugi oblik vruće motorno ulje (*fuel-cooled oil cooler - FCOC*).

Pilot određuje u kojem trenutku će biti potrebno zagrijati gorivo, a podatak o temperaturi goriva iščitava iz instrumenata o temperaturi goriva. Pilot može odrediti hoće li se gorivo grijati zrakom ili uljem, a ponekad i naizmjenično. Pojedini sustavi imaju ugrađene termostate koji nakon što temperatura goriva padne ispod određene razine automatski puštaju jedan medij kako bi se gorivo zagrijalo na optimalnu temperaturu.



Slika 5: Indikator temperature goriva. [1]

3. Funkcije sustava dobave goriva

Sustav dobave goriva civilnih zrakoplova obuhvaća neke ili sve od navedenih zadaća:

1. Stvaranje pretlaka u sustavu
2. Dovod goriva u motor
3. Pretakanje goriva iz jednog spremnika u drugi
4. Punjenje/pražnjenje sustava
5. Pohranjivanje goriva
6. Ventilacija spremnika
7. Izbacivanje goriva (*fuel jettison*)

3.1. Stvaranje pretlaka u sustavu

Prešurizacijom nazivamo održavanje pretlaka u sustavu .

Pretlak je bitan kod zrakoplova koji lete na visokim nadmorskim visinama zato što okolni tlak može pasti na razinu tlaka isparavanja goriva što može uzrokovati nepovoljan rad pumpe te samim time sabotira dovođenje goriva u motor.

Pretlak nam omogućuje da imamo sigurnosnu marginu između tlaka u spremniku i tlaka isparavanja. S obzirom na to da na konstrukciju zrakoplova, kod nekih se zrakoplova pretlak ostvaruje dovođenjem totalnog tlaka u spremnike putem NACA³ usisnika dok se na nekim zrakoplovima koristi dio zraka iz kompresora mlaznog motora.

3.2. Dovod goriva u motor

Najbitniji dio gorivnog sustava je sustav za napajanje motora gorivom.

Prije nego gorivo dođe do motora skuplja se u takozvanom kolektoru koji sadrži dovoljno goriva za nekoliko minuta leta, ovisno o režimu leta motora. Senzori koji se nalaze unutar njega omogućuju javljanje posadi ako masa goriva u njemu bude ispod razine koja omogućuje još par minuta leta.

³ National Advisory Committee to Aeronautics

Kolektori sadrže dvije dobavne (*booster*) pumpe, iz sigurnosnih razloga, koje navode gorivo do visokotlačne pumpe motora. Dotok goriva u motor se kontrolira zapornim ventilima, a posada ima na raspolaganju prekidače kojima može zaustaviti dotok goriva. Posada koristi prekidače samo u slučaju otkaza ili požara u motoru kako bi se obustavila opskrba motora gorivom i širenje požara. [3] [4]

3.3. Pretakanje goriva

Gorivo se dovodi u kolektore iz glavnih spremnika smještenih u krilu po točno definiranom rasporedu gdje se u obzir uzimaju pomicanje težišta i rasterećenje krila. Uzmimo za primjer zrakoplov koji ima spremnike u lijevom i desnom krilu te još dva spremnika unutar trupa. U svakom od spremnika smještene su po dvije pumpe za pretakanje koje ne rade cijelo vrijeme, već se aktiviraju kada gorivo u spremniku kojeg nadopunjavanju dođe do određene razine.

Spremnik iz lijevog krila nadopunjava prednji spremnik dok spremnik iz desnog krila nadopunjava stražnji spremnik smješten u trupu, nakon čega gorivo dalje putuje prema kolektorima.

Pretakanje se može kontrolirati ručno i automatski te traje sve dok se spremnik ne dopuni do željene razine. Bitno je napomenuti da su svi spremnici međusobno povezani, što omogućuje preraspodjelu mase po uzdužnoj i lateralnoj osi zrakoplova. Tako težište zrakoplova se smješta unutar željenih granica što i povećava ekonomičnost leta i rasterećuje upravljačke površine.

3.4. Punjenje/pražnjenje sustava

Punjenje

Zrakoplovi se nadopunjavaju gorivom na stajanci, pri čemu su motori zrakoplova isključeni. Gorivo prvo ulazi u pretkomoru a tek nakon pretkomore se dalje raspoređuje po spremnicima. FMS⁴ je zadužen za kontrolu raspodjele goriva te mu to omogućava

⁴ Flight Management System

sustav ventila. Ventili su otvoreni sve dok se zadnji spremnik ne napuni uz iznimku od 2% ukupne zapremnine koji se ostavljaju prazni kako bi se kompenziralo temperaturno širenje i skupljanje goriva.

Danas se za kontrolu punjenja koriste solenoidi ili mali elektromotori dok su se u prošlosti upotrebljavali jednostavni mehanički plovci.

Punjenje spremnika se kod velikih zrakoplova vrši pod tlakom od 3.5 bara kako bi se ubrzao proces, ali uz visoku opreznost s obzirom na to da može doći do prirasta tlaka unutar sustava i do oštećenja konstrukcije ako se neki od ventila zaglavi. Kako bi se osigurao zrakoplov od takvih oštećenja, na gornjoj površini krila su ugrađeni sigurnosni ventili.

Pražnjenje

Pražnjenje je proces koji se izvodi puno rjeđe naspram procesa punjenja. Glavni razlog pražnjenja spremnika je sumnja na oštećenje ili inspekcija spremnika uslijed dugotrajnih punjenja spremnika gorivom, kako bi se zrakoplov tehnički osigurao za novi let. [3] [4]

3.5. Ventilacija spremnika

Uzimajući u obzir da je tlak u spremnicima jednog iznosa te da se zrakoplovi penju na visine gdje je tlak zraka manji, potrebno je osigurati da uslijed razlika između tlakova ne dođe do eksplozije samih spremnika. Iz navedenog razloga unutar gorivnog sustava ugrađuju se odzračni ventili čija je zadaća pravovremeno otvaranje i smanjenje razlike u tlakovima, čime se eliminira mogućnost oštećenja strukture. [3] [4]

3.6. Izbacivanje goriva (*fuel jettison*)

Zrakoplov pri polijetanju ima veću ukupnu masu nego pri slijetanju. Razliku čini potrošeno gorivo tijekom leta.

Ako zrakoplov poleti s zračne luke polaska te je primoran sletjeti uslijed otkaza motora ili problema druge prirode, pilot je primoran izbaciti višak tereta kako bi zrakoplov mogao sigurno sletjeti. Taj višak tereta čini gorivo te iz tog razloga postoji sustav izbacivanja

goriva. Ono se vrši većinom za prekomorske letove, dok za regionalne za tim nema potrebe, pa se sustav ni ne ugrađuje.

Izbacivanje se vrši uz pomoć dobavnih pumpi i ventila za izbacivanje (*dump valves*).

Sveukupno se ugrađuje tri ventila te se izbacivanje izvodi samo dok su sva tri otvorena.

[1] [3] [4]



Slika 6: Prikaz instrumenta za izbacivanje goriva. [1]

4. Zrakoplovna goriva

U zračnom prometu se koriste trenutno dvije vrste goriva:

- AVGAS⁵ zrakoplovni benzin, koristi se kod motora s unutarnjim izgaranjem koji se pale pomoću iskri
- AVTUR⁶ kerozinsko gorivo koje je dizajnirano za upotrebu u zrakoplovima koje pokreću plinske turbine motora. Tri su podvrste : JET A, JET A-1 i JET B.

Obje vrste goriva su dobivene destilacijom mineralnih ulja ali imaju drugačije značajke. AVGAS je tako smjesa lakših ugljikovodika čija je SG⁷ 0.72 na 15°C, dok je AVTUR dobiven destilacijom težih ugljikovodika te mu je SG OD 0.75 DO 0.84. [6]

Bitne značajke:

- oktanski broj
- isparljivost
- toplinska vrijednost
- maksimalan sadržaj olova
- maksimalan sadržaj sumpora
- korozivnost
- oksidacijska stabilnost (maksimalan udio smole)
- temperatura početka kristalizacije
- reakcija s vodom
- kiseline i alkalije topljive u vodi
- gustoća i količina inhibitora

A. JET A1 To je gorivo petrolejskog tipa i propisano je našim standardom gdje se vodi pod nazivom (GORIVO ZA MLAZNE MOTORE) GM-1.

Ova se vrsta goriva trenutačno najviše koristi.

⁵ AViation GASoline

⁶ AViation TURbine fuel

⁷ Specific Gravity

JET A: gorivo koje se pretežito koristi u SAD, a od JET A1 se razlikuje u temperaturi zamrzavanja. Bitno je spomenuti da je glavna razlika između Jet A i Jet A-1 goriva temperatura zaleđivanja te je potrebno dodati aditiv protiv zamrzavanja u Jet A-1.

- B. JET B (AVTAG⁸) gorivo je specifično zbog vrlo niske točke zapaljivosti te se iz tog razloga upotrebljava u hladnijim krajevima kao što su Rusija i Kanada. S obzirom na to da također ima minimalnu temperaturu zapaljenja, iz sigurnosnih razloga ne koristi se u civilnom zrakoplovstvu.

Postoje posebni zahtjevi kvalitete u aeronautici. Iz tog razloga i najmanja razlika u proizvodnji goriva u svijetu aeronautike čini razliku.

Bitno je napomenuti da se kvaliteta zrakoplovnih benzina, kao i mnogih drugih tržišnih proizvoda, propisuje i osigurava minimalnim zahtjevima iskazanim fizikalno-kemijskim i tehnološkim svojstvima kada su ona određena definiranim vrijednostima i normiranim metodama. [7]

S obzirom na to da se trenutačno radi na novijim, suvremenijim oblicima goriva kako bi se što više smanjio utjecaj ispušnih plinova na okoliš, zasigurno je da će i goriva i gorivni sustavi dobiti svoje suvremenije i unaprijeđene verzije.

Gorivu se dodaju raznovrsni aditivi koji daju goriva dodatna određena svojstva u borbi protiv neplaniranih pojava (odobrena u regulativi) :

1. Antioksidansi koji sprječavaju taloženje velikih polimernih molekula tijekom skladištenja goriva-sprječavanju gumiranja.
2. Sredstva koja sprječavaju zamrzavanje vode u gorivu.
3. Biocidi, aditivi za sprječavanje razvoja mikroorganizama u gorivu.
4. Sredstva za neutraliziranje statičkog elektriciteta, odnosno pražnjenje statičkog elektriciteta i sprječavanje iskrenja.
5. Inhibitori korozije.

⁸ Aviation Turbine Gasoline

4.1. Mjerenje mase goriva

Kako bi se izračunao podatak o količini goriva, u zrakoplovstvu je potrebno uzeti više faktora pri izračunu. Ono što je bitno napomenuti je da gustoća goriva varira u ovisnosti o temperaturi, što bi značilo da će pri većim temperaturama podatak o količini goriva u spremnicima biti manji a tijekom nižih temperatura veći.

Iz tog se razloga količina goriva posadi prikazuje u obliku mase, u mjernoj jedinici kilograma, jedinici koja je stabilna i pouzdana mjera raspoloživosti. Informaciju o masi goriva možemo znati samo ako znamo gustoću tekućine i volumen zapremnine, u ovom slučaju spremnika.

Precizno mjerenje količine goriva nije nimalo lagano iz činjenice da se radi o tekućini unutar tijela koje se konstantno pokreće i to ne linearno uvijek, da su spremnici rijetko pravilnih geometrijskih oblika te je time teži izračun volumena i naposljetku da se gorivo drugačije ponaša s obzirom na to da na okolne uvijete (promjene temperature, tlaka). [1]

Da bi se naposljetku mogla dobiti količina dostupne mase koriste se senzori koji mjere razinu (visinu) goriva u samom spremniku. Ako znamo dimenzije spremnika uz dobivene podatke o razini goriva, možemo izračunati informaciju o masi.

Senzori se ugrađuju na više mjesta unutar jednog spremnika kako bismo dobili srednju vrijednost. Uzmemo li u obzir ranije spomenuti problem, da se gorivo nalazi u spremnicima unutar tijela koje se neprestano miče te kompenziramo vrijednost za nagib i ubrzanje zrakoplova, dobijemo podatak o raspoloživoj masi. [1]

Vrste senzora:

- Senzori s plovkom
- Kapacitivni senzori
- Ultrazvučni senzori

Senzori s plovkom

Ova vrsta senzora se kod velikih putničkih zrakoplova koristi samo kao rezervna opcija. Rade na principu plovka s kojim se u isto vrijeme kako se pomiče plovak pomiče i

kazaljka na instrumentu a spojena je direktno ili daljinskim prijenosom.

Na principu uzgona plovak stoji na površini goriva te se usporedno s razinom goriva i pomiče. Mana su im pokretni dijelovi koji, s obzirom na to da su mehanički mogu pokvariti ili zaglaviti pri čemu podatak o gorivu više nije ispravan te se narušava sigurnost leta.

Kapacitivni senzori

Dijelimo ih na dvije vrste, ovisno o načinu prijenosa signala o količini goriva u spremniku, na AC⁹ i DC¹⁰ sustav .

AC sustav izražava količinu goriva modulacijom AC napona ovisno o izmjerenom kapacitetu. Nedostatak je skuplja i kompleksnija ugradnja te pojava elektromagnetske.

DC sustav izražava količinu goriva pomoću mjerača koji su napajani strujom konstantnog napona, a temperaturna kompenzacija se provodi pomoću dioda. Iako je DC sustav lakši i jeftiniji, AC sustav je precizniji.

Mana DC sustava je ta što je potrebno dodavati i povezivati dodatne komponente u spremnike. Odabir sustava je na proizvođaču zrakoplova. AC sustav nalazimo kod suvremenijih zrakoplova dok DC sustav nalazimo kod zrakoplova Fokker F100 i zrakoplova Airbus A320.

Kod većih civilnih zrakoplova nalazimo više kapacitivnih senzora raspoređenih po spremnicima. Senzori su cilindri ili usporedne pločaste elektrode uronjene u gorivo.



Slika 7: Kapacitivni senzor. [1]

⁹ Naizmjenična struja

¹⁰ Istosmjerna struja

Ultrazvučni senzori

Kao i samo ime, to su senzori koji mjere masu goriva na temelju ultrazvučnih valova. Pri nailasku na tekućinu oni se odbijaju te vraćaju do senzora, nakon čega se uz informaciju o brzini zvuka i izračunatom vremenu mjeri udaljenost i samim time masu goriva.

Dvije osnovne mjerne veličine kod ovih senzora su :

- a) brzina širenja ultrazvučnog vala
- b) vrijeme potrebno da val prijeđe ukupnu udaljenost (od odašiljača do površine goriva i nazad)

Čimbenici koji utječu na preciznost mjernog sustava su:

1. Broj i raspored senzora u odnosu na geometriju spremnika
2. Strukturalna i brzinska ograničenja zrakoplova
3. Permitivnost goriva

Senzori razine

Većina sustava za mjerenje mase goriva istovremeno ima ugrađene i senzore za očitavanje razine goriva koji se ugrađuju isključivo iz sigurnosnih razloga. To su klizni plovci koji su smješteni na kućište sustava za mjerenje mase goriva te je njihova svrha upozorenje posade u slučaju niske razine goriva, sprječavanje punjenja spremnika iznad fizičkih mogućnosti i kontrolu ispušnih ventila.

4.2. Instrumenti

JAR zahtjevi: [6]

- Svaki prekidač za odabir spremnika goriva mora biti označen tako da odgovara poziciji svakog spremnika.
- Ako sigurnost punjenja spremnika nalaže punjenje po određenom redoslijedu, to se mora poštivati te spremnici moraju biti označeni po pravilnom redoslijedu.
- Svaki kontrolni ventil motora mora biti propisno označen s obzirom na to da na pripadajući motor ima odgovarajuće oznake.

Na slikama 8.-12. prikazani su indikatori koji pilotu omogućavaju da svojim svjetlima ili pozicijama daju informaciju o stanju gorivnog sustava (tlaku, temperaturi, masi..) .



Slika 8: Indikator mase goriva. [1]



Slika 9: Indikator protoka goriva. [1]



Slika 10: Indikator temperature goriva. [1]



Slika 11: Indikator tlaka goriva. [1]



Slika 12: Indikator promijene ventila spremnika goriva. [1]

5. Gorivni sustav prema vrsti zrakoplova

5.1. Gorivni sustav manjih jednomotornih zrakoplova

Gorivni sustavi manjih jednomotornih zrakoplova ovise o više čimbenika, kao što su lokacija spremnika goriva i načina na koje gorivo ulazi u motor, stoga ovisi radi li se o visokokrilcu, niskokrilcu te da li se gorivo ubrizgava ili postoji rasplinjač unutar motora.

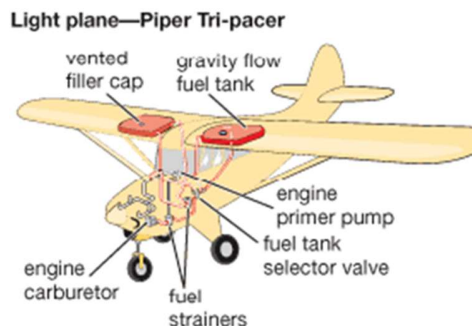
Punjenje slobodnim padom

Visokokrilci najčešće imaju spremnike u oba krila, s obzirom na to da se spremnici nalaze u razini koja je iznad razine motora, slobodni pad omogućuje dovođenje goriva do motora. U ovakvim spremnicima, slobodan prostor iznad razine goriva služi kako bi atmosferski tlak „potiskivao“ gorivo prema dolje kako se spremnik prazni.

Kako bi se osiguralo da se oba spremnika prazne istom brzinom, spremnici su povezani te je samim time i tlak „potiskivanja“ izjednačen. Na zaslonima spremnika postoje otvori na koje se nastavljaju cijevi kroz koje gorivo ide do ventila. Taj ventil ima četiri pozicije kojima možemo odrediti kako će gorivo izlaziti van spremnika, od kojih su tri *On* i jedna *Off*. Prva opcija sporazumijeva da je ventil u poziciji *Off*, što bi značilo da se prekida dovod goriva u motor.

Pozicije *On* daju tri opcije, od kojih je jedna da se gorivo dovodi samo iz lijevog spremnika, druga da se dovodi samo iz desnog spremnika i treća da se dovodi jednako iz oba spremnika.

Nakon prolaska goriva kroz glavni ventil, gorivo dolazi do filtera unutar kojega se voda i čestice prljavštine odvajaju kako bi do motora došlo pročišćeno gorivo. S obzirom na to da u ovakvom slučaju nikakva pumpa nije potrebna kako bi se gorivo dovelo do motora, ono se smatra najjednostavnijim oblikom gorivnog sustava. [1]



Slika 13: Prikaz punjenja motora gorivo putem slobodnog pada. [1]

Punjenje pomoću pumpe

Za razliku od visokokrilaca, niskokrilci i zrakoplovi s krilima na sredini trupa, koriste pumpe kako bi omogućili dovod goriva do motora. Razlog tome je u činjenici da se spremnici goriva ne nalaze iznad razine motora (kao što je slučaj kod visokokrilaca) nego na istoj razini ili ispod razine motora, stoga princip potiskivanja goriva slobodnim padom više ne može biti opcija.

Kod ovakvih zrakoplova pumpa je zaslužna za izvlačenje goriva van spremnika. Gorivo više ne izlazi u isto vrijeme iz oba spremnika jer kada bi jedan spremnik bio prazan, pumpa bi povlačila zrak iz praznog spremnika a ne gorivo iz drugog. Iz tog razloga više ne postoji potreba za povezanošću dvaju spremnika kao što je to bilo kod sustava punjenja slobodnim padom.

Iz spremnika gorivo ide do ventila koji u ovom slučaju ima tri opcije: gorivo se ne pumpa, gorivo dolazi samo iz desnog ili gorivo dolazi samo iz lijevog spremnika. Nakon ventila gorivo nailazi na filter, koji nakon što pročisti gorivo jedan dio goriva odvaja prema prvom motoru a drugi dio usmjerava prema drugom.

Gorivo dolazi do dviju pumpi koje su postavljene u paraleli. Jedna pumpa je pogonjena motorom a druga strujom. Primarna pumpa je ona pogonjena motorom dok pumpa pokretana strujom (dobavna pumpa) služi kako bi mogla zamijeniti primarnu pumpu u slučaju otkaza. Osim zamjene, ona dobavlja tlak goriva pri pokretanju motora te se koristi kao prevencija pri velikim visinama kako ne bi došlo do prestanka ubrizgavanja goriva uslijed gorivne izmaglice.

Visokokrilac sa sustavom ubrizgavanja goriva

Visokokrilni jednomotorni zrakoplovi generalne avijacije su opremljeni gorivnim sustavom u kojem se ne koristi rasplinjač već sustav ubrizgavanja.

Dovođenje goriva je u ovom slučaju omogućena kombinacijom pumpi i utjecaja slobodnog pada. Gorivo se ubrizgava direktno u cilindre ili u usisni kanal.

Kod ovakvih sustava postoje dodatni, manji spremnici goriva u svakom krilu. Oni su malih zapremnina te služe kako bi dalje prolazilo gorivo sa što manjom koncentracijom zraka u sebi. Sljedeći je ventil koji također omogućuje tri već ranije spomenute radnje te dodatno je u ovakvom slučaju zadužen za odvodnju zraka natrag u primarne spremnike goriva koji se odvaja iz smjese goriva u motorom gonjenoj pumpi.

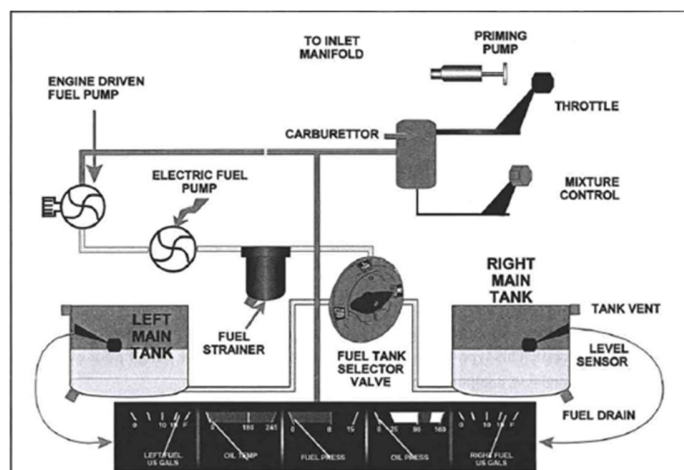
Nakon ventila gorivo nailazi na pomoćnu pumpu koja dovodi gorivo do ove pozicije te preusmjerava gorivo prema filteru i dalje motorom gonjenoj pumpi. Pomoćna pumpa služi više kao sigurnosna značajka ako dođe do prestanka rada glavne pumpe te nije potrebna za svakodnevni rad a prekidač koji je zadužen za njezin rad nalazi se zajedno s drugim kontrolnim točkama u pilotskoj kabini.

Motorom gonjena pumpa odnosno glavna pumpa usisava stlačeno gorivo iz dodatne pumpe (ako je u funkciji) ili iz spremnika (ako nije u funkciji) , pri čemu uzima veliki volumen goriva, čak i više nego što je potrebno.

Ostatak se vraća natrag prema ventilu koji vraća višak goriva u pripadajući spremnik. Smjesa koja se vraća natrag u spremnike mješavina je goriva i gorivnih para. Iz tog razloga količina goriva mjeri se iz informacije o broju okretaja koljenastog vratila unutar cilindra po minuti RPM¹¹ i informacije o mješavini samog goriva koja je prikazana kod pilota u kabini.

Potom gorivo dolazi do razdjelnika koji zatim svim cilindrima raspoređuje jednake mase goriva. Upravo na razdjelniku se nalazi i indikator protoka goriva, čije se informacije očitavaju u kabini te je važno napomenuti da se očitavaju u galonima po satu. (gal/h)

¹¹ Revolutions Per Minute



Slika 14: Gorivni sustav jednomotornog manjeg zrakoplova. [6]

5.2. Gorivni sustavi manjih višemotornih zrakoplova

Niskokrilni zrakoplovi

Gorivni sustav manjeg višemotornog zrakoplova kompleksniji je nego jednomotorni ali imaju puno zajedničkih elemenata. Dva glavna spremnika se nalaze na vrhovima krila a dva pomoćna spremnika unutar krila.

Pomoćna pumpa je smještena na otvoru samog spremnika čime se riješio problem začepijavanja sustava gorivnim parama te je gorivo odmah više stlačeno.

U slučaju otkaza pumpe gonjene motorom, sustav može raditi pokrenut samo dodatnom (električnom) pumpom. Ovdje nalazimo dva ventila, pri čemu svaki dobavlja gorivo iz bilo kojeg spremnika ali šalje gorivo motoru na svojoj strani, također može dobiti gorivo iz manjih (dodatnih) spremnika te slati gorivo motoru na toj istoj strani.

Nakon ventila gorivo ide do filtera te do glavne pumpe, s tim da je u nekim ventilima ugrađen filter unutar samog ventila. Motorom gonjena pumpa također ponekad unutar sebe već ima ugrađene filtere za gorivnu izmaglicu i ventil za regulaciju tlaka. Ona dalje prosljeđuje gorivo jedinici kontrole goriva koja je zadužena dalje za ravnomjernu raspodjelu goriva u svaki cilindar zasebno (količina će ovisiti o potisku i smjesi koju određuje pilot unutar svoje kabine).

Visokokrilni zrakoplovi

Kombinacija dvaju tipa sustava kao i kod jednomotornih visokokrilaca, kombinacija motorom pogonjene pumpe i utjecaj slobodnog pada.

Nakon izlaska goriva iz spremnika, ono dolazi do ventila, filtera i motorom gonjene pumpe, za svaki motor poseban slijed.

5.3. Gorivni sustavi velikih višemotornih zrakoplova s radijalnim motorima

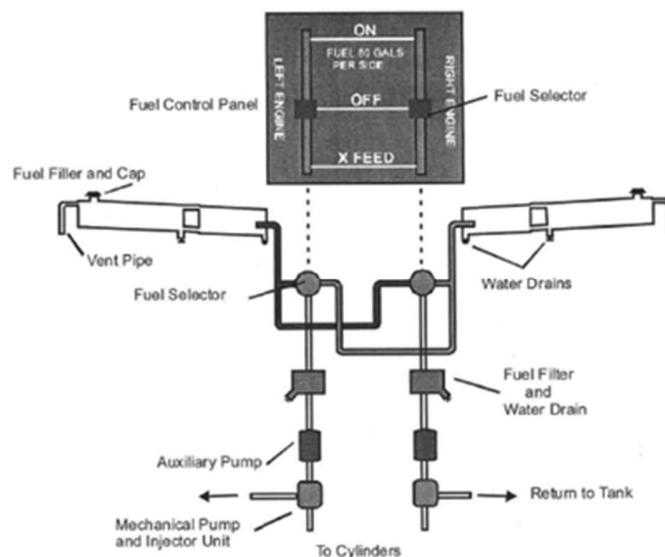
Veliki višemotorni zrakoplovi pogonjeni radijalnim motorima više nisu u proizvodnji ali se još uvijek koriste u velikom broju.

Većina je pogonjena sustavom rasplinjača i imaju puno zajedničkih elemenata s gorivnim sustavima manjih zrakoplova. Ventil za svaki sektor omogućuje motorom pogonjenoj pumpi crpljenje goriva iz glavnih ali i dodatnih spremnika goriva.

Nakon prolaska kroz dodatne pumpe, gorivo prolazi kroz filter i ide prema motorom pogonjenoj pumpi. Pomoćna pumpa služi pri pokretanju motora te je bitno napomenuti da otvor na dodatnoj pumpi može usmjeriti gorivo poprečnim cijevima pomoću ventila koje pilot kontrolira u kabini. Kasnije su ove vrste pumpa promijenjene u električne pumpe.

Ovdje također nalazimo i cijevi za odvodnju gorivne izmaglice koje usmjeravaju paru natrag u smjeru glavnih i dodatnih spremnika goriva.

Indikatori tlaka goriva su povezani s rasplinjačem za indikaciju snage motora. U slučaju pada tlaka, piloti su upozoreni putem crvene lampice.



Slika 15: Gorivni sustav dvomotornog manjeg zrakoplova. [6]

5.4. Gorivni sustav mlaznih zrakoplova

Ova skupina zrakoplova pruža više opcija kojima posada može raspolagati sa zalihom goriva. Za razliku od manjih zrakoplova kompleksnosti gorivnog sustava doprinose elementi kao što su pomoćna pogonska jedinica APU¹² i sustav za odbacivanje goriva. Gorivni sustav mlaznih zrakoplova možemo podijeliti na pet podsustava: pohrana, odvod, distribucija, unos i sustav za mjerenje.

Integrirani spremnici su norma u kojoj su strukturalno krila zapečaćena kako bi mogla služiti kao spremnici te osim njih također centralno područje krila koje se nalazi na trupu zrakoplova su dosta česta pojava (mogu biti zapečaćena ili tip mjehura) s obzirom na to da se radi o zrakoplovima koji za svoj let zahtijevaju veliku masu goriva.

Osim spomenutih spremnika nalazimo i dodatne spremnike koji se najčešće nalaze na krajevima samih krila (*surge tanks*), koji su prazni a služe za drenažu glavnih spremnika. Između navedenih spremnika i spremnika u krilima postoji ventil koji omogućava pretakanje goriva iz jednog prostora u drugi.

¹² Auxiliary Power Unit

Kada govorimo o raspodjeli goriva možemo podijeliti temu na više dijelova: dovod goriva, odvod goriva, sustav relokacije goriva i izbacivanje goriva.

Jedna točka punjenja omogućava da na pristaništu zrakoplov bude u mogućnosti biti napunjen novim gorivom sa samo jedne lokacije, uz pomoć samo jednog otvora. To uvelike pojednostavljuje stvari te povećava razinu sigurnosti procesa punjenja. Osim da dovodimo gorivo u spremnike, u pojedinim slučajevima inspekcije ili popravaka, ventili za odvod nam služe kako bismo izbacili sve gorivo van zrakoplova, pri čemu se sporazumijeva radnja koja se odvija dok je zrakoplov na zemlji.

Kada govorimo o relokaciji goriva, za premještanje goriva između spremnika koristimo potisne pumpe, najčešće dvije po spremniku.

Većina mlaznih zrakoplova koristi neki od načina kojima zagrijava gorivo, točnije radi se o vrućem zraku ili vrućem ulju iz motora.

Kako bismo što bolje objasnili gorivni sustav mlaznih zrakoplova, uzet ćemo primjer jednog modela. U ovom radu obradit ćemo detaljnije gorivni sustav te konstrukciju i rad najvažnijih sklopova/dijelova zrakoplova Airbus A320. [6]

6. Gorivni sustav zrakoplova Airbus A320

Gorivni sustav zrakoplova Airbus A320 je jedan od najvećih sustava unutar cjelokupne konstrukcije zrakoplova. On je zaslužan za regulaciju protoka goriva, snabdijevanje APU jedinice te doprinosi balansiranju težišta tijekom leta zrakoplova.

Glavne karakteristike gorivnog sustava zrakoplova Airbus A320 su :

- prešurizacija goriva
- snabdijevanje motora gorivom
- transfer goriva
- pražnjenje i punjenje spremnika gorivom

Tijekom punjenja koristi se sustav pumpi koje dovode gorivo u željeni spremnik. [10]

Spremnici unutar zrakoplova Airbus A320

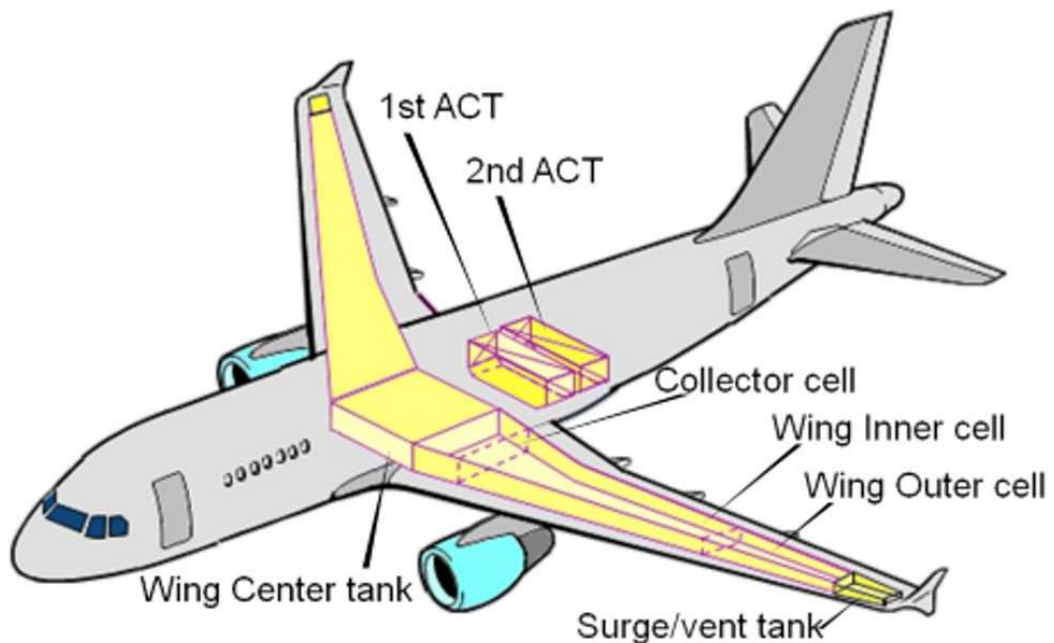
U ovom modelu zrakoplova ukupno postoji 5 spremnika za goriva.

Centralni spremnik goriva je smješten u području središta trupa (*center tank*) a ostalih četiri unutar krila zrakoplova. Kako bi se smanjilo strukturalno opterećenje, gorivo iz vanjskih spremnika se koristi tek kada se razina goriva unutarnjih spremnika smanji do niske razine. To omogućuje zrakoplovu zaštitu od pojave savijanja (*bending*) i lepršanja (*flutter*) krila. [10]

Spremnici u krilima su podijeljeni na vanjske (*outer tanks*) i unutarnje spremnike (*inner tanks*) kao što je prikazano na slici 16.

Dodatno se na zahtjev tvrtke, mogu ugraditi dva spremnika u produžetku trupa, slika 16. Gorivo se može proširiti za najmanje 2% (ekvivalentno razlici od 20°C) bez razlijevanja, stoga se iz sigurnosnih mjera, dodatno, na krajevima krila nalaze zračni ispušni spremnici (*vent surge tanks*) čija je zadaća zaštititi spremnike od termalne eksplozije goriva.

Za ove spremnike nema indikatora unutar pilotske kabine. Svaki od spremnika ima zaštitu od stvaranja prevelikog pritiska, dok se zaštita centralnog spremnika nadovezuje na lijevi unutarnji krlini spremnik. [10]



Slika 16: Spremnici goriva zrakoplova Airbus A320. [9]

Ostali elementi gorivnog sustava zrakoplova Airbus A320

Glavni sustav pumpi za gorivo sastoji se od 6 glavnih pumpi koje snabdijevaju motore gorivom, od kojih se dvije nalaze u centralnom spremniku unutar trupa a četiri u unutarnjim krilnim spremnicima (u svakom po dva).

Gorivo potrebno motorima se crpi iz centralnog spremnika ili unutarnjih krilnih spremnika, gdje centralni spremnik ima prednost. Za to je zadužen ventil koji s obzirom na to da tlak preostalog goriva u centralnom spremniku omogućava crpljenje goriva iz unutarnjih krilnih spremnika. [10]

Između vanjskih i unutarnjih krilnih spremnika nalaze se električni ventili (*electrical transfer valves*) koji ih povezuju te su kontrolirani sa strane senzora koji se nalaze u svakom unutarnjem krilnom spremniku. [10]

Svaki unutarnji spremnik ima dva para senzora koji upravljaju s parom ventila. Spomenuti senzori nakon detektiranja pada razine goriva ispod 750 kg (1653 lbs), automatski otvaraju ventile kako bi svo gorivo vanjskih spremnika istovremeno prešlo u

unutarnje krilne spremnike.

U slučaju otkaza crpnih pumpi, motore je moguće napajati gorivom pomoću utjecaja slobodnog pada ali samo gorivom iz unutarnjih krilnih spremnika, ne i gorivom iz centralnog spremnika. Bitno je napomenuti da u tom slučaju zrakoplov mora letjeti na ili ispod razine od 15000 ft (4572 m).

Osim ventila, unutarnji spremnici su povezani vanjskim spremnicima pomoću cijevi za prelijevanje, čija je svrha cirkulacija goriva između vanjskih i unutarnjih spremnika te rashlađivanje motora.

Bitno je spomenuti da je pomoću ventila moguće povezati sve spremnike u jednu cjelinu, te se u tom slučaju pilotu na ekranu prikazuje velikim zelenim slovima riječ OPEN koja ukazuje na otvorenost svih ventila te povezanost svih spremnika goriva.

Zasebna gorivna pumpa je zadužena za snabdijevanje APU jedinice gorivnom pri samom pokretanju motora te u slučajevima kada pumpe unutar spremnika ne rade .

Ona je povezana uz lijevi napajajući gorivni sustav.

Gorivni sustav radi na temelju ventila, pumpi i cijevi.

Ventili su zaduženi za protok goriva i usmjeravanje goriva u drugi spremnik. [10]

Na zrakoplovu Airbus A320 razlikujemo pet vrsti ventila:

Ventili za premještanje (Transfer Valves)

Ranije spomenuti, to su ventili koje senzori smješteni u unutarnjim spremnicima otvaraju nakon detektiranja pada razine goriva ispod 750 kg (1653 lbs) , kako bi sve gorivo vanjskih spremnika istovremeno prešlo u unutarnje krilne spremnike.

Taj trenutak se pilotu indicira kao paljenje zelenih trokutića s oznakom „OUTER TK FUEL XFRD“ na lokaciji vanjskih spremnika na ECAM¹³ zaslonu. Transferni ventili se koriste umjesto unakrsnih ventila jer omogućuju jednu opciju crpljenja goriva, za razliku od unakrsnih koji omogućuju crpljenje na dva načina. [10]

¹³ Electronic Centralized Aircraft Monitor

Unakrsni dolijevni ventil (*Cross Feed Valve*)

Ovaj oblik ventila koji upravlja raspodjelom goriva za dva motora, omogućuje jednom motoru crpljenje goriva iz svih spremnika ili dovođenje goriva svim motorima iz jednog spremnika. On je isključen tijekom leta osim u situacijama kada je potrebno balansirati zrakoplov u slučaju potrebe brzog snabdijevanja motora gorivom. Njegova aktivacija je kratkotrajna te omogućuje najbržu opskrbu gorivom.

Motorni niskotlačni ventil (*Engine Low Pressure Valve*)

Ova vrsta ventila odjeljuje motore ili APU od izvora goriva. On upravlja protokom goriva usmjerenog prema motorima ili APU. Aktivan je istovremeno kada i motori i APU, osim u slučaju požara ako je stisnuta FIRE tipka, kada se njegov rad prekida. [10]

Usisni ventil (*Suction Valve*)

Usisni ventili su neaktivni pri normalnim uvjetima ali dopuštaju motoru snabdijevanje gorivom putem slobodnog pada u slučaju otkaza pumpe u unutarnjim spremnicima.

Sekventni ventil (*Sequence Valve*)

Ovo su ventili koji su integrirani na pumpe krilnih spremnika kako bi dali prednost centralnom spremniku da snabdijeva motore gorivom. To se postiže tako da ograničavaju pumpama krilnih spremnika izlazni tlak. Kontrolirane su sa strane pilota te tako pilot kontrolira tekućinu koja prolazi kroz gorivne pumpe. [10]

Sustav za nadopunjavanje i pražnjenje spremnika

Ploče za nadopunjavanje nalaze na zrakoplovu kao što je prikazano na slici 17.

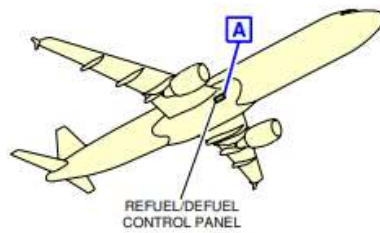
Sustav punjenja goriva je automatski te punjenje započinje s vanjskim krilnim spremnicima. Kada se krilni spremnici dopune do maksimalne razine, centralni spremnik u trupu se počinje puniti istovremeno kroz gorivne cijevi za pretakanje.

Ventili punjenja se automatski zatvaraju u trenutku kada je unaprijed određena količina goriva ulita u spremnike. U slučajevima male mase goriva tijekom leta senzori ugrađeni

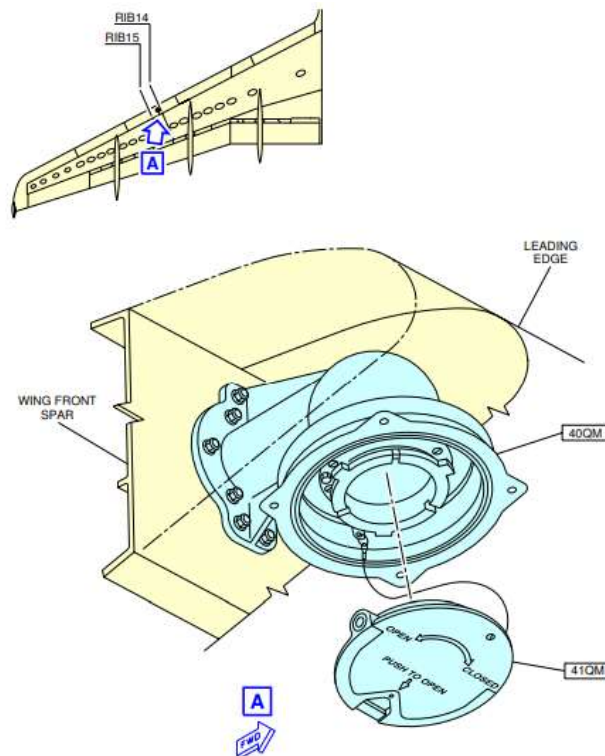
u gorivne spremnike šalju informaciju FQI kompjuteru te se pilotu se na zaslonu prikazuje oznaka „LO LVL“ što označava da je razina goriva dosegla 750kg (1653 lbs) .

Nakon gašenja motora, ventili za premještanje goriva automatski ostaju otvoreni do sljedećeg nadopunjavanja goriva [10]

**ON A/C A320-200 A320neo



Slika 17: Prikaz ploče koja se skine kako bi se gorivom moglo manevrirati. [8]



Slika 18: Prikaz spojeva za punjenje/pražnjenje goriva. [8]

Sustav recirkuliranja goriva

Prije negoli dođe do motora gorivo prelazi iz cijevi koja je pod visokim tlakom kroz IDG¹⁴ gdje se toplina goriva apsorbira.

Nakon toga gorivo dolazi do ventila koji dio goriva usmjerava natrag prema vanjskom krilnom spremniku. Ovaj sustav aktivira hlađenje goriva pomoću IDG generatora u slučaju visoke temperature ulja ili pri maloj snazi motora te je zaslužan za odvodnju goriva iz IDG generatora do spremnika.

Prikaznik količine goriva FQI (*Fuel Quantity Indicator*)

To je prikaznik koji sumira informacije o temperaturi i masi goriva ECAM¹⁵-u i kontrolira automatsko nadopunjavanje centralnog spremnika gorivom.

On se sastoji od kapacitivnih sonde koje mjere masu i temperaturu goriva te aerometra i kompenzatora CIC¹⁶ koji u slučaju prestanka rada aerometra daje informaciju o gustoći goriva.

Prisutnost vode u spremnicima goriva dovodi do prekomjernih očitavanja mase goriva te uvelike utječe na senzore očitavanja gustoće i kapaciteta.

Stoga ako pilot pročita nepravilne podatke ili abnormalne informacije, tijekom provjere goriva na pregledu gorivnog sustava, izvršava se isušivanje spremnika. Isušivanje odnosno pražnjenje spremnika je proces koji uvelike pomaže i sprječavanju stvaranja mikrobioloških naslaga, koje su česti i veliki problem gorivnih sustava. [9]

Prikaznik protoka goriva (*Fuel Flow Meters*)

Informacija o protoku goriva se procesira u sustavu FADEC¹⁷ te prikazuje pilotu na ekranu u kabini.

Senzori za očitavanje niske razine goriva (*Low Level Sensors*)

Svaki spremnik je opremljen s tri neovisna senzora koji detektiraju nisku razinu goriva

¹⁴ Integrated Drive Generator

¹⁵ Electronic Centralized Aircraft Monitor

¹⁶ Capacitance Index Compensator

¹⁷ Full Authority Digital Engine Control

kada ostanu suhi. Ako od tri senzora dva budu suha dulje od 30 sekundi, automatski se pilotu pali upozorenje koje ukazuje da je količina goriva u tom spremniku približno 750 kg (1653 lbs) .

Ovi senzori nisu povezani sa FQI-om te se od njega razlikuju utoliko što pilotu ne daju informaciju o količini goriva, već samo kada ona padne do razine približnoj 750 kg (1653 lbs) te upozorenje koje izdaju pilotu se ne temelji na izračunima nego na fizičkom očitavanju. [9]

Sustav za očitavanje niske razine goriva kod zrakoplova Airbus A320 se temelji na masi koja odgovara zahtjevima leta od 30 minuta na 1500 ft (457 m) visine, što odgovara masi od otprilike 1200 kg (2 646 lbs) goriva. U slučaju upozorenja izdanog pilotu u oba spremnika, ukupna masa goriva kojom pilot raspolaže je $750 \text{ kg} + 750 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$ (3307 lbs) .

Provjera goriva

Kako bi se osigurala točna informacija o masi goriva pilotu, korisno je imati više izvora, više informacija. FQI je glavni izvor na kojeg se pilot oslanja, ali bez obzira na njega postoje i podatci koji se vode kako bi se povećala sigurnost vezana uz gorivni sustav. [9]

To su primjerice podaci : iskorišteno gorivo, točna količina goriva koje je nadopunjeno prije zadnjeg polaska, provjera brojeva pri punjenju o količini koja bi trebala biti i koja je nadopunjena, informacija o protoku goriva i potrošenom gorivu...itd.

Ali ono što je zajedničko svim parametrima je kontrola navedenih podataka sa strane osoblja. Iako se sve provjere često čine kao zamorni zadatci, oni igraju veliku ulogu u očuvanju razine sigurnosti gorivnog sustava i odvijanja leta zrakoplova.

Provjere su napravljene kako bi se što prije detektirao i riješio ili spriječio problem. U svim Airbus zrakoplovima piloti su dužni predavati izmjerene podatke.

Što se mjeri i kada ?

Prije leta

Prije pokretanja motora potrebno je znati podatak o ukupnom raspoloživom gorivu prema formuli (slika 19.) :

$$\text{Initial Fuel On Board (FOB) + Fuel Uplifted} = \text{Fuel On Board (FOB)} \pm \Delta$$

Slika 19: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva prije leta.[9]

Initial Fuel On Board → podatak dobiven iz FQI sustava

Fuel Uplifted → dobiveno sa strane osoblja na stajanci pri završetku punjenja

Fuel On Board → raspoloživo gorivo

Bitno za spomenuti da postoji prihvaćena tolerancija (tolerancija koju prihvaćamo uzimajući u obzir više faktora kao što su visinski efekti, deformacije vjetra, tolerancije sustava, tolerancije proizvođača, efekti okoline, karakteristike goriva..itd.) .

Tijekom leta

Tijekom leta provjere goriva služe većinom za provjeru kako ne bi došlo do curenja goriva ili neočekivanih dodatnih otpora (npr. nepotpuno uvučeno podvozje ili zakrilca) koja uslijed nedovoljno ranog otkrivanja mogu dovesti do pomanjkanja goriva tijekom leta.

Iz navedenog razloga svakih 30 minuta trebala bi se obavljati sigurnosna provjera prema Formuli (slika 20.):

$$\text{Fuel On Board (FOB) + Fuel Used} = \text{Initial Fuel On Board (FOB)} \pm \Delta$$

Slika 20: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva tijekom leta. [9]

Fuel On Board → gorivo u zrakoplovu

Fuel Used → iskorišteno gorivo (dobiveno iz prikaznika protoka goriva)

Obje informacije trebaju biti u skladu s planom leta i WP¹⁸

Initial Fuel On Board → početna količina goriva s kojom je zrakoplov uzletio

Nakon leta

Na kraju leta, nakon parkiranja na stajanci zadnja provjera se treba izvršiti kako bi se uslijed nekakvih odstupanja u predviđenim i stvarnim podacima mogla napraviti tehnička provjera.

Provjera mase goriva izračunava se prema istoj formuli koja se koristi pri provjeri tijekom leta računa se prema formuli (*slika 21.*) :

$$\text{Fuel On Board (FOB) + Fuel Used} = \text{Initial Fuel On Board (FOB)} \pm \Delta$$

Slika 21: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva nakon leta. [9]

Fuel On Board → gorivo u zrakoplovu

Fuel Used → iskorišteno gorivo (dobiveno iz prikaznika protoka goriva)

Obje informacije trebaju biti u skladu s planom leta i WP

Initial fuel on Board → početna količina goriva s kojom je zrakoplov uzletio

Curenje goriva može biti zapaženo na više načina :

- Zapaženo sa strane putnika (sprej iz motora ili vrha krila)
- Miris goriva u kabini
- Neravnoteža goriva po spremnicima
- Prebrzo pražnjenje spremnika (rupa u spremniku ili motoru)
- Prelijevanje spremnika (uslijed kvara cijevi prelijevanja)
- Jak protok goriva (greška u motoru)
- Prekomjerno smanjenje neto mase goriva u kratkom razdoblju

¹⁸ Way Point

Na promjene u svijetu aeronautike na razvoj putničkih zrakoplova uvelike je utjecala i tvrtka Airbus sa novitetima, ali modeli motora glavna su razlika između zrakoplova Airbus A320neo¹⁹ i zrakoplova Airbus A320ceo²⁰.

Tablica 1: Osnovne razlike karakteristika zrakoplova Airbus A320ceo i Airbus A320neo.

	Airbus A320ceo	Airbus A320neo
DUŽINA	37.57 m / 123 ft 3 in	37.57 m / 123 ft 3 in
RASPON KRILA	34.10 m / 111 ft 10 in	35.80 m / 117 ft 5 in
POVRŠINA KRILA	122.60 m ² / 1,320 ft ²	123.00 m ² / 1,324 ft ²
VISINA	11.70 m / 38 ft 5 in	11.76 m / 38 ft 7 in
BROJ MOTORA	2	2
POTISAK PO MOTORU	120 kN / 27,000 lbf	121 kN / 27,120 lbf
UKUPAN POTISAK	240 kN / 54,000 lbf	242 kN / 54,240 lbf
MTOW	77,000 kgs / 170,000 lbs	78,000 kgs / 172,000 lbs
DOLET	5,700 km / 3,078 nm	6,850 km / 3,699 nm
BRZINA KRSTARENJA	M0.78	M0.82
KAPACITET	150 putnika	165 putnika
MAX. KAPACITET	190 putnika	189 putnika

Noviteti:

- konfiguracija kabine i stražnjeg prolaza
- ambijentalno osvjetljenje
- mogućnost povećanja kapaciteta sjedala

Ova nedavna poboljšanja razvijena za zrakoplov A320neo mogu se primijeniti i na novije tipove zrakoplova A320ceo. Također su dostupne i aerodinamičke izmjene poput sharklet krila ili povećani kapacitet korištenja nove konfiguracije kabine za zrakoplove A320ceo i A320neo. [33] Glavne nadogradnje zrakoplova A320neo u odnosu na A320ceo su zamjena modela motora IAE V2500 i CFM56-5B s motorima serije PW1100G-JM i LEAP-1A.

Nova rješenja motora predložena od tvrtke CFM International (CFMI) i Pratt & Whitney

¹⁹ New Engine Option

²⁰ Current Engine Option

(P&W) su vrlo različite. P&W je razvio inovativan motor s turbo ventilatorom, dok je CFMI izrađen kao tradicionalnija konfiguracija motora. [33]

6.1. Preinake u svrhu povećanja sigurnosti

Razmatrajući informacije dobivene iz istraga zrakoplovnih nesreća koje uključuju informacije vezane uz gorivni sustav, tvrtka Airbus je napravila sljedeće preinake kod svojih zrakoplova:

1. Uputstva FQI-a i sustava očitavanja razine goriva unutar FCOM²¹ dokumentacije su prepravljena i pobliže, detaljnije opisana. Tijekom suradnje s drugim zrakoplovnim kompanijama, došlo je do saznanja da razlika u informacijama između podataka dobivenih od FQI-a i upozorenja o niskoj razini goriva nije razumljiva svom kabinskom osoblju.
2. Definiran je empirijski zahtjev kod zrakoplova Airbus A320 koji nalaže da razliku odnosno odstupanje koje bi se smatralo neobičnim ili abnormalnim kod mjerenja mase goriva prije pokretanja motora trebaju biti izraženi u kg ili lbs te da se u obzir uzima gorivo koje je utočeno i gorivo koje se već nalazilo u zrakoplovu.
3. Servisni izvještaji A320-28-1214 za zrakoplove A318/A319/A320 i zrakoplove A320-28-1202 za A321 uključuju novu funkciju za detekciju goriva koje curi. Svrha nove funkcije je spriječiti situacije u kojima gorivo curi bez saznanja pilota.
4. Novu značajku u priručniku FCOM koja će biti dostupna uskoro te će pojasniti uvjete pri kojima dolazi do pojave upozorenja o kritičnoj masi goriva i novi prikaz na kojem će jasno biti odijeljeni sustav alarmiranja od prikaza mase goriva. [9]

²¹ Flight Crew Operating Manual

7. Analiza nesreća

ICAO²² Annex 13 Aircraft Accident and Incident Investigation

→ vodeći dokument koji sadrži međunarodne standarde i preporučene prakse za istraživanje zrakoplovnih nesreća i nezgoda

Definicije nezgode, nesreće i povezanih pojmova: [11]

Događaj (Occurrence) znači bilo koji događaj povezan sa sigurnošću koji ugrožava, ili koji bi, ako se ne ispravi ili riješi, mogao ugroziti zrakoplov, osobe u njemu ili bilo koju drugu osobu te posebice uključuje nesreću i ozbiljnu nezgodu. [11]

Nezgoda (Incident) je događaj, koji nije nesreća, povezan s operacijom zrakoplova koji utječe ili bi mogao utjecati na sigurnost operacija. [11]

Nesreća (Accident) je događaj povezan s operacijom zrakoplova koji se u slučaju zrakoplova s posadom događa od ukrcaja bilo koje osobe u zrakoplov radi letenja do iskrcanja svih osoba koje su se ukrcale s tom namjerom ili, u slučaju zrakoplova bez posade, od trenutka kada je zrakoplov spreman za vožnju radi letenja do trenutka kada se na kraju leta zaustavi, a njegov primarni pogonski sustav isključi, pri čemu:

(a) je osoba smrtno ili teško ozlijeđena jer je bila u zrakoplovu ili uslijed neposrednog kontakta s bilo kojim dijelom zrakoplova, uključujući dijelove koji su se odvojili od zrakoplova, ili uslijed neposredne izloženosti reaktivnom mlazu, osim ako su ozljede posljedica prirodnih uzroka, samoranjavanja ili su ih nanijele druge osobe, ili ako su ozlijeđeni slijepi putnici koji se skrivaju izvan prostora koji su obično namijenjeni putnicima i posadi ili

(b) zrakoplov je pretrpio oštećenja ili strukturalni kvar koji nepovoljno utječe na strukturalnu čvrstoću, sposobnosti ili letne osobine zrakoplova te obično zahtijeva značajnije popravke ili zamjenu oštećenih sastavnih dijelova, osim u slučaju kvara ili

²² International Civil Aviation Organization

oštećenja motora, kada je oštećenje ograničeno na jedan motor, (uključujući njegovu oplatu ili dodatnu opremu), propelere, vrhove krila, antene, sonde, lopatice, gume, kočnice, kotače, obloge, ploče, vrata podvozja za slijetanje, vjetrobranska stakla, oplatu zrakoplova (kao što su manja udubljenja ili rupe) ili manja oštećenja glavnih krakova rotora, repnih krakova rotora, podvozja za slijetanje, i oštećenja uzrokovana tučom ili sudarima s pticama (uključujući rupe u radarskom nosu) ili (c) zrakoplov je nestao ili je potpuno nedostupan. [11]

Opasnost (*Hazard*) je stanje ili objekt koji potencijalno može dovesti do ozljede osoba, oštećenja opreme ili strukture, gubitka sredstava ili smanjenja sposobnosti za izvođenje definirane funkcije. [11]

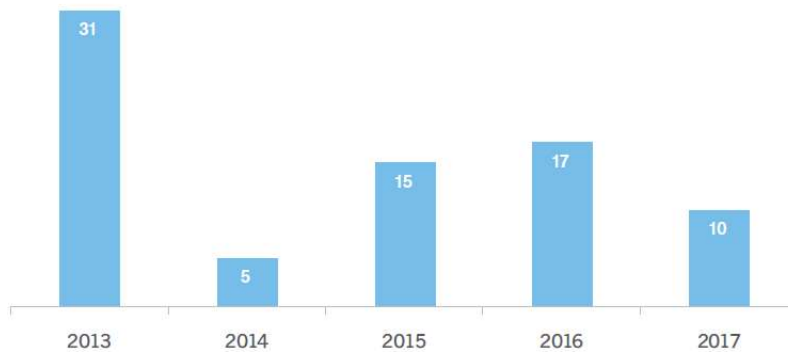
Ozbiljna nezgoda (*Serious Incident*) nezgoda koja uključuje okolnosti koje ukazuju da je postojala visoka vjerojatnost da se dogodi nesreća i kada je nezgoda povezana s operacijom zrakoplova, koja se, u slučaju zrakoplova s posadom, dogodila od trenutka kada se bilo koja osoba ukrca u zrakoplov s namjerom leta do trenutka kada se posljednja osoba iskrca iz zrakoplova, ili koja se u slučaju zrakoplova bez posade, dogodila od trenutka od kad je taj zrakoplov spreman za kretanje u svrhu polijetanja do trenutka potpunog zaustavljanja na kraju leta i gašenja pogonskih motora. [11]

Sigurnost (*Safety*) je stanje u kojem je rizik od nanošenja štete osobama ili imovini umanjen i održavan na ili ispod prihvatljive razine rizika, kroz kontinuirani postupak prepoznavanja opasnosti i upravljanja rizikom. [11]

Nesreće su rijetka pojava, njihov broj može varirati iz godine u godinu. Iz tog razloga istražitelji zrakoplovnih nesreća i nezgoda mogu poslati SR²³ preporuke nadogradnje sustava ili implementacije novih značajki koje bi mogle pomoći pri povećanju razine sigurnosti nadležnim tijelima, zrakoplovnoj industriji ili ICAO-u. Nakon toga spomenuti organi razmatraju prijedloge te konkretno ICAO prijedloge koje smatra korisnima stavljajući kao amandmane unutar svoje dokumentacije.

²³ Safety Recommendations

U nastavku graf prikazuje broj SR-ova zaprimljenih sa strane ICAO-a u razdoblju 2013 - 2017.

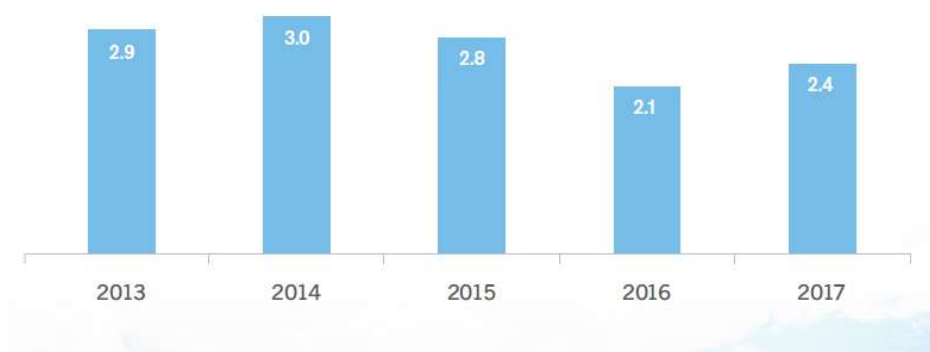


Graf 1: Broj SR-ova zaprimljenih sa strane ICAO-a u razdoblju 2013 -2017. [12]

Nesreće su rijetka pojava, njihov broj može varirati iz godine u godinu. Iz toga razloga pri analizi nesreća treba gledati širi spektar, više godina, veće vremensko razdoblje, ako želimo točniju statistiku.

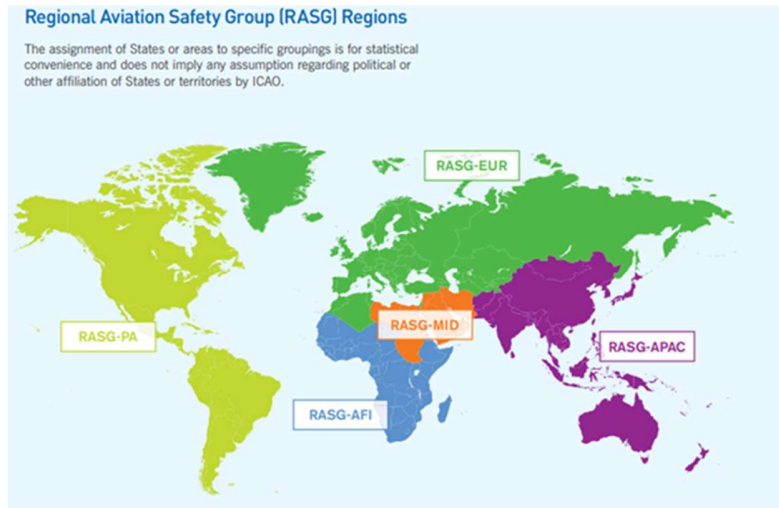
Gustoća prometa u zrakoplovstvu se stalno povećava i treba ga uzeti u obzir te upravo iz tih razloga ima više smisla uzeti u obzir stopu nesreća prilikom izrade analiza trendova.

Graf 2 prikazuje stopu nesreća u odnosu na milijunu polazaka u proteklih pet godina, gdje je vidljivo da 2017 ima drugu najmanju stopu ikada zabilježenu.



Graf 2: Prikaz stope nesreća u odnosu na milijunu polazaka u proteklih 5 godina. [12]

Kako bismo mogli dalje analizirati razinu sigurnosti u aeronautici, svijet je podijeljen u RASG²⁴ regije. Slika 22. prikazuje nazive regije prema lokaciji kontinenata. Hrvatska je unutar regije pod imenom RASG-EUR.



Slika 22: Prikaz RASG regija. [12]

Raspodjela zemalja po RASG regijama pomogla je u analizi razine sigurnosti svakog dijela svijeta zasebno. Tablica 1. prikazuje podatke o odlascima, dolascima, nezgodama i nesrećama po RASG regijama za 2017.

Tablica 2: Podaci po RASG regijama za 2017. [12]

RASG	Estimated Departures (millions)	Number of Accidents	Accident Rate (per million departures)	Fatal Accidents	Fatalities
AFI	1.3	7	5.3	0	0
APAC	11.8	20	1.7	1	2
EUR	8.7	12	1.4	3	47
MID	1.3	2	1.6	0	0
PA	13.5	47	3.5	1	1
WORLD	36.6	88	2.4	5	50

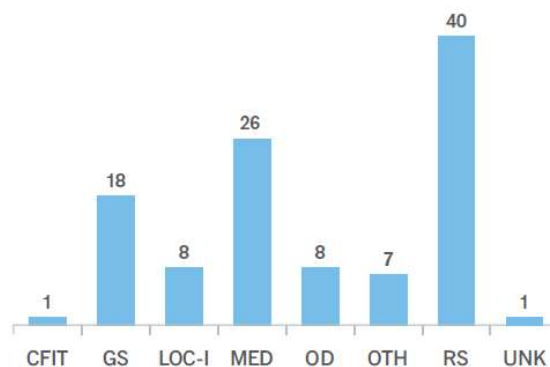
Kako bi se analiza nesreća mogla svesti na iste ulazne parametre, uzroci su svedeni na kategorije te je za iste napravljena statistička analiza prikazana u grafu 3.

²⁴ Regional Aviation Safety Groups

Prema tablici 2. nesreće uzrokovane gorivnim sustavom pripadaju kategoriji nesreća uzrokovanih operativnim kvarom, OD kategoriji.

Tablica 3: Kategorizacija uzoraka zrakoplovnih nesreća. [12]

Category	Description
Controlled Flight into Terrain (CFIT)	Includes all instances where the aircraft was flown into terrain in a controlled manner, regardless of the crew's situational awareness. Does not include undershoots, overshoots or collisions with obstacles on take-off and landing which are included in Runway Safety.
Loss of Control in-Flight (LOC-I)	Loss of control in-flight that is not recovered.
Runway Safety (RS)	Includes runway excursions and incursions, undershoot/overshoot, tail strike and hard landing events.
Ground Safety (GS)	Includes ramp safety, ground collisions, all ground servicing, pre-flight, engine start/ departure and arrival events. Taxi and towing events are also included.
Operational Damage (OD)	Damage sustained by the aircraft while operating under its own power. This includes in-flight damage, foreign object debris (FOD) and all system or component failures.
Injuries to and/or Incapacitation of Persons (MED)	All injuries or incapacitations sustained by anyone coming into in direct contact with any part of the aircraft structure. Includes turbulence-related injuries, injuries to ground staff coming into contact with the structure, engines or control surfaces aircraft and on-board injuries or incapacitations and fatalities not related to unlawful external interference.
Other (OTH)	Any event that does not fit into the categories listed above.
Unknown (UNK)	Any event whereby the exact cause cannot be reasonably determined through information or inference, or when there are insufficient facts to make a conclusive decision regarding classification.



Graf 3: Analiza temeljena na kategorizaciji. [12]

Unutar analize napravljene sa strane organizacije ICAO i udruge IATA²⁵ u razdoblju 2013. -2017. ukupno je zabilježeno 109 nezgoda i nesreća koje su razvrstane prema uzrocima.

Gorivni sustav se nalazi u OD kategoriji zajedno sa ostalim sustavima zrakoplova. Analiza je temeljena na zakazanim i nezakazanim komercijalnim letovima uključujući transportne zrakoplove s maksimalnom masom za polijetanje većom od 5700 kg (12566 lbs) . [12]

²⁵ International Air Transport Association

U svrhu unaprjeđenja sigurnosti u zrakoplovstvu, američko ministarstvo prometa (DOT²⁶), komisija europske unije (EU COMMISSION), internacionalno udruženje zrakoplovnih prijevoznika (IATA) i internacionalna civilna zrakoplovna organizacija (ICAO) 28.rujna.2010. na 37. godišnjicu utemeljenja organizacije ICAO potpisali su memorandum o svjesnosti kojim su pristali na upotrebu globalne razmjene sigurnosnih informacija GSIE²⁷. [12]

Cilj je izmjena podataka međusobno između potpisnika u cilju povećanja sigurnosti te je GSIE je razvio usklađenu stopu nesreća počevši od 2011. To je postignuto uskom suradnjom između organizacije ICAO i udruge IATA radi usklađivanja definicija nesreća, kriterija i metode analiza koje se koriste za izračunavanje usklađene stope, što se smatra ključnim pokazateljem sigurnosti za komercijalne zrakoplovne operacije širom svijeta. Zajednička analiza uključuje nesreće koje zadovoljavaju ICAO Annex 13. kriterije za sve tipične komercijalne zrakoplovne operacije za redovne i izvanredne letove. Od 2013, ICAO i IATA drastično su uskladili analize nesreća te su razvili zajednički popis nezgoda kako bi se olakšalo dijeljenje i integracija podataka o sigurnosti između dviju organizacija. [12]

Podaci američkog tržišta

Podatci za američko tržište imaju svoje odvojene analize poginulih osoba uslijed nesreće zrakoplova koje se u pogledu gorivnog sustava uvelike razlikuju od prethodno spomenutih ujedinenih informacija.

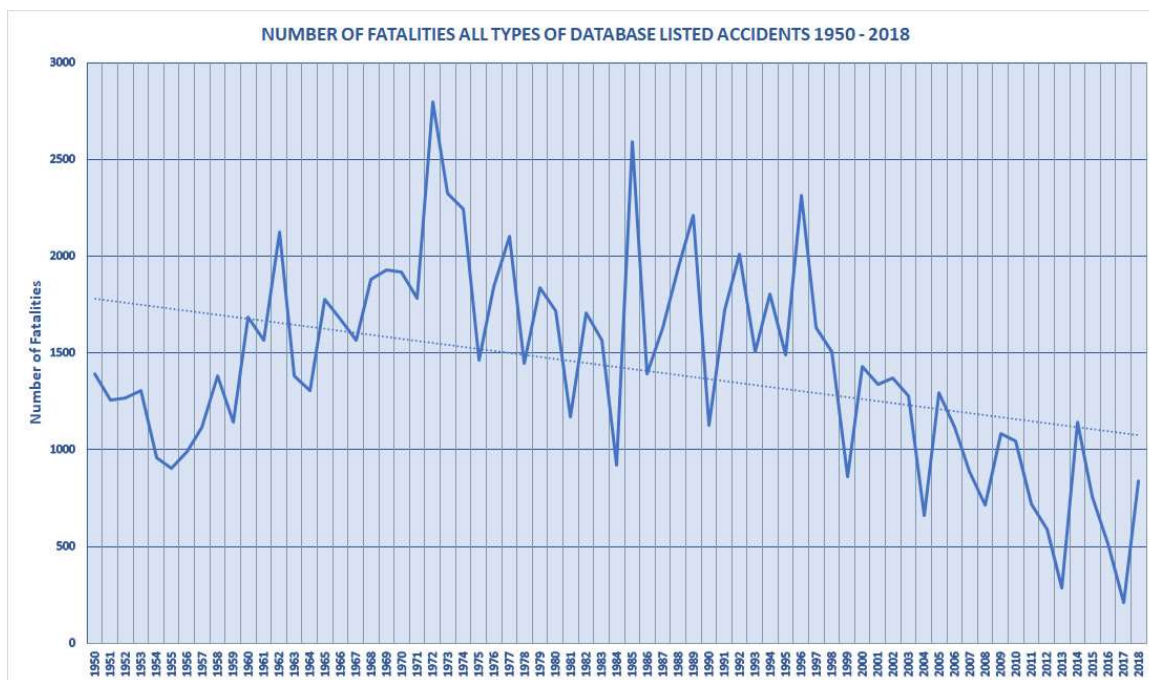
Podatci uzeti u obzir pri provođenju statističke analize prikazane grafom 4. su:

- Vremensko razdoblje od 1.01.1950. do 30.6.2019
- Zrakoplov koji može prevoziti najmanje 19 putnika
- Nesreće s najmanje dvije poginule osobe
- Iz ulaznih podataka isključena je vojska, helikopteri i privatni zrakoplovi

²⁶ Department Of Transportation

²⁷ Global Safety Information Exchange

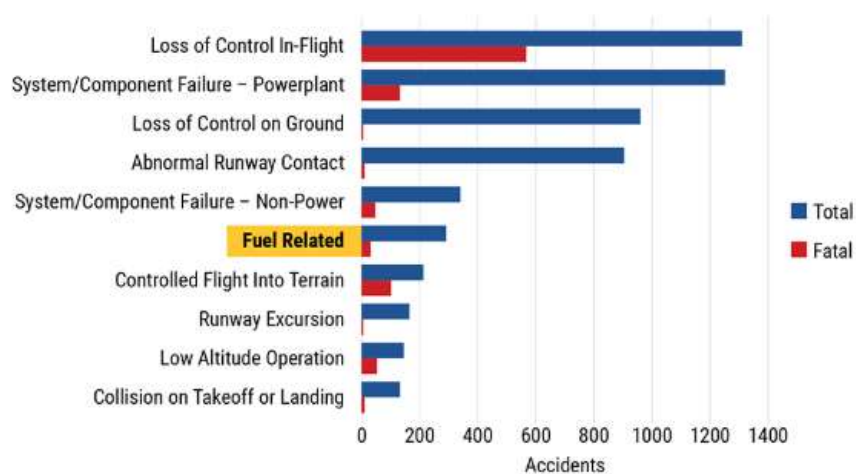
Uzrok nesreća podijeljen je u pet kategorija: greška pilota, mehanička greška, vremenska greška, sabotaza i ostalo. S obzirom na to da je većina zrakoplovnih nesreća uzrokovana višestrukim uzrocima, izabran je glavni ili početni uzrok. [14]



Graf 4: Prikaz broj poginulih osoba tijekom godina. [24]

PILOT ERROR	MECHANICAL	WEATHER	SABOTAGE	OTHER
Improper procedure	Engine failure	Severe turbulence	Hijacking	ATC error
Flying VFR into IFR conditions	Equipment failure	Windshear	Shot down	Ground crew error
Controlled flight into terrain	Structural failure	Mountain wave	Explosive device aboard	Overloaded
Descending below minima	Design flaw	Poor visibility	Pilot suicide	Improperly loaded cargo
Spatial disorientation		Heavy rain		Bird strike
Premature descent		Severe winds		Fuel contamination
Excessive landing speed		Icing		Pilot incapacitation
Missed runway		Thunderstorms		Obstruction on runway
Fuel starvation		Lightning strike		Midair collision caused by other aircraft
Navigation error				Fire/smoke in flight (cabin, cockpit, cargo hold)
Wrong runway takeoff/landing				Maintenance error
Midair collision caused by primary pilot				

Slika 23: Tablični prikaz američke kategorizacije uzroka zrakoplovnih nesreća. [24]



Slika 24: Zastupljenost nesreća po uzrocima (USA) . [14]

Upravljanje gorivom šesti je vodeći uzrok svih zrakoplovnih nesreća u SAD. Od otprilike 1300 zrakoplovnih nesreća koje je NTSB²⁸ istraživao godišnje između 2011.- 2015. (Slika 24.) više od 50 svake godine pripisano je problemima upravljanja gorivom. Od toga je 56% bilo iscrpljivanje goriva, dok je gladovanje 35% nesreća povezanih s gorivom. (Graf 5.)

Greška pilota pridonijela je 95% nesrećama povezanih s upravljanjem gorivom, a problemi s opremom samo 5% . [14]



Graf 5: Uzrok nesreća gorivnog sustava u razdoblju od 2011-2015.

²⁸ National Transportation Safety Board

NTSB tvrdi da su u nesrećama povezanih s gorivom učenici sudjelovali 2%, a učitelji i privatnici u 48% tih nesreća. Piloti koji imaju privatne ili sportske pilotske certifikate sudjelovali su u preostalim 50% nesreća povezanih s gorivom. Prikazano na grafu 6. [14]



Graf 6: Postotak sudjelovanja u nesrećama uzrokovanih gorivnim sustavom prema kategoriji pilota.

Prema podacima Airbusa, od 1999. zrakoplovna industrija uspjela je smanjiti stopu nesreća za čak 95%. [15]

Stopa nezgoda (oštećenja trupa) također je značajno smanjena, za otprilike 70%.

Značajan dio takvog napretka za svijet aeronautike može se pripisati ulaganjem u nove tehnologije koji povećavaju stopu sigurnosti. [15]

Na nama je da pokušamo održati razinu sigurnosti koja je dosegnuta. U nastavku ćemo analizirati 4 najutjecajnije nesreće gorivnog sustava koje su uzrokovale smrt mnogih

ljudi, bilo da se radilo o grešci unutar samog gorivnog sustava ili ljudskom čimbeniku koji je naposljetku doveo do nedovoljne mase goriva.

7.1. Značajne nesreće uzrokovane gorivnim sustavom

7.1.1. East Coast Flight 3101

Tablica 4: Tablični prikaz svih informacija za let East Coast Flight 3101.

Datum	21.05.2000.
Tip zrakoplova	BAe-3101 Jetstream 3101
Operator	East Coast Aviation Services
Registracija	N16EJ
Preminuli	2 / 2 POSADA , 17 / 17 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Nepovratno uništen
Faza leta	Prilaz
Aerodrom (Polazišta)	Atlantic City
Aerodrom (Odredišta)	Wilkes-Barre

British Aerospace BAe-3101, na letu Jetstream 3101, 21. svibnja 2000. srušio se na teren blizu grada Wilkes-Barre, Pennsylvania i izgorio u plamenu. [20]

Zrakoplov je prevezio 17 putnika i 2 člana posade iz grada Atlantic City, New Jersey.

Spasioci nisu pronašli znakove života na mjestu sudara te je ustanovljeno da je svih 19 putnika i članova posade ubijeno na mjestu.

Istragom je otkriveno da je zrakoplovu ponestalo goriva za danji let dok se zrakoplov približavao međunarodnoj zračnoj luci Scranton.

Redoslijed događaja:

Posada je taj dan trebala letjeti na relaciji New York → Atlantic City, međutim došlo je do promjene putanje leta te je sada novi plan leta glasilo New York → Atlantic City → Wilkes-Barre.

Zrakoplov se trebao nadopuniti s ukupno 680 kg (1500 lbs) goriva da bi bilo dovoljno goriva za cijelu putanju, umjesto toga napunjen je sa 340 kg (750 lbs) . Naime posada je najavila na stajanci kako je u zrakoplov potrebno nadopuniti 340 kg (750 lbs) goriva,

misleći pod tim, u svaki krilni spremnik, što bi sveukupno bilo 680 kg (1500 lbs) goriva. S obzirom na to da je bila greška u komunikaciji, tim za punjenje goriva dolio je samo 340 kg (750 lbs) a osoblje zrakoplova nije napravilo sigurnosne provjere prije uzlijetanja. Prije pada, posada je obavijestila kontrolu leta zračne luke Wilkes-Barre/Scranton o prestanku rada jednog motora. Nedugo zatim motor se vraća u normalu, nakon čega slijedi otkazivanje oba motora. S obzirom na to da je posada zrakoplova bila uvjereni da let započet sa 680 kg (1500 lbs) nadodanog goriva, su smatrali da je došlo do pogreške u sustavu, a manjak goriva nisu uzeli kao mogući faktor. [20]

NTSB je kao glavni uzrok naveo grešku pilota koji se nije pobrinuo za dovoljnu količinu goriva te činjenice da se oglušili na upozorenja dana sa strane sustava. Izgorjelo područje bilo je koncentrirano na malu i zbijenu površinu, što je dokaz da se zaista radilo o maloj količini goriva.

Kod nesreća uzrokovanih gorivnim sustavom, ako je uzrok nesreće pomanjkanje mase goriva, ostaci žarišta su najbolji indikator.

7.1.2. Cathay Pacific Flight 780

Tablica 5: Tablični prikaz svih informacija za let Cathay Pacific Flight 780.

Datum	13.04.2010.
Tip zrakoplova	A330-300
Operator	Cathay Pacific Flight 780
Registracija	B-HLL
Preminuli	0 / 13 POSADA , 0 / 309 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Potpun
Faza leta	Penjanje
Aerodrom (Polazišta)	Surabaya
Aerodrom (Odredišta)	Hong Kong

Airbus A330-342, na letu Cathay Pacific Flight 780, 13. travnja 2010. izveo je slijetanje pri dvostruko dopuštenoj brzini uslijed poteškoća u kontroli potiska oba motora.

Redoslijed događaja:

Na redovnom putničkom letu iz Surabaje (Juanda International Airport) u Hong Kong (Hong Kong International Airport) pri penjanju pojavljuju se neuobičajene vrijednosti EPR-a na oba motora. Ubrzo nakon polijetanja i penjanja do FL390, ECAM²⁹ daje signal da motor 2 ne radi ispravno te je nakon kontaktiranja inženjera odlučeno da let treba nastaviti s motorom 2 u EPR³⁰ modu.

Gotovo odmah nakon postizanja razine krstarenja FL380 (11580 m) pojavile su se dodatne ECAM poruke. Sljedeća dva sata bila su bez poteškoća, ali tijekom spuštanja do FL230 (7010 m) i oko 110 NM (204 km) jugoistočno od pojavile se su poruke ECAM sustava koje se odnose na kontrolu motora 1 i zatajivanje motora 2.

Kapetan je motoru 2 dao maksimalni potisak (MCT³¹), dok je motor 1 stavio u prazan hod. Međutim motori nisu odreagirali kako bi trebali uslijed takvih naredbi. Na visini od 8000 ft (2438 m) i 45 NM (83 m) od odredišta poruka o zatajenju motora 1 također se pojavljuje, na što pilot kontroli leta zračne luke Hong Kong objavljuje MAYDAY. [22]

Pomicanjem obje poluge potiska ostvarilo se 70% raspoložive snage motora 1, ali samo 17% raspoložive snage motora 2.

Nakon spuštanja zrakoplova na nižu visinu leta meteorološki uvjeti su bili ostvareni vizualni uvjeti leta (VMC³²) čime je vizualni prilaz napravljen s potiskom motora 1 zaglavljanim na 70% raspoložive snage, unatoč tome što je odgovarajuća poluga potiska odabrana da radi u praznom hodu.

Slijetanje brzinom od 426 km/h (230 kt) je uspješno izvedeno pod utjecajem asimetričnog potiska, što je rezultiralo manjim oštećenjem zrakoplova.

Prilikom slijetanja donji poklopac motora 1 stupio je u kontakt s površinom staze i pretrpio mala oštećenja. Osim poklopca, spasilačke i vatrogasne službe svjedočile su dimu i vatri iz glavnog podvozja na što je kapetan naredio hitnu evakuaciju zrakoplova. Evakuacija je bila izvršena za 2 minute i 15 sekundi koristeći svih 8 izlaza sa svim raspoloživim toboganima.

²⁹ Electronic Centralized Aircraft Monitor

³⁰ Engine Pressure Ratio

³¹ Maximum Continuous Thrust

³² Visual Meteorological Conditions

Istraga je pokazala da je uzrok nepravilnog funkcioniranja motora bilo zagađenje goriva. Ustanovljeno je da je prije polaska, zapovjednik zrakoplova izvršio pred letački vanjski pregled i primijetio da je operater doziranja goriva uzeo uzorak goriva i vode koji su bili čisti. Naime tijekom punjenja gorivom osoblje je čulo vibracije koje je pripisalo zraku zarobljenom unutar nedavno premještenog hidrantskog cjevovoda. Dajući na analizu gorivo s zračne luke polazišta, utvrđeno je da je cjevovod kojim se nadopunjavalo gorivo, za vrijeme uređivanja zračne luke upotrebljavano te kasnije nije očišćeno prema propisima. Onečišćeno gorivo uzrokovalo je začepljenje ventila, senzora, spremnika, što je umalo dovelo do pogibije svih putnika i posade. 62 od 322 putnika je lakše ozlijeđeno i jedna je osoba samo zadobila teške ozljede. [22]

7.1.3. Avianica Flight 52

Tablica 6: Tablični prikaz svih informacija za let Avianica Flight 52.

Datum	25.01.1990.
Tip zrakoplova	Boeing 707-321B
Operator	Avianica
Registracija	HK-2016
Preminuli	8 / 9 POSADA , 65 / 149 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Nepovratno uništen
Faza leta	Prilaz
Aerodrom (Polazišta)	El Dorado International Airport
Aerodrom (Odredišta)	John F. Kennedy Int'l Airport

Boeing 707-321B, na letu Avianca 52, 25. siječnja 1990. srušio se u selo Cove Neck, New York, nakon što mu je ponestalo goriva. Avianica Flight 52 bio je redoviti let iz Bogote do međunarodne zračne luke John F. Kennedy, New York sa stajanjem u Medellinu, kolumbijskoj međunarodnoj zračnoj luci Jose Maria Cordova. [23] [24]

Redoslijed događaja:

Zrakoplov je napustio Medellin s više nego dovoljno goriva za svoju rutu i normalno napredovao prema međunarodnoj zračnoj luci JFK, New York.

Avianca 52 bio je u holdingu iznad New Yorka više od jednog sata zbog magle koja je ograničavala dolaske i odlaske u međunarodnu zračnu luku JFK. Tijekom čekanja,

zrakoplov je iscrpio i rezervnu zalihu goriva, koja bi mu inače služila za preusmjerenje u alternativni Boston, u slučaju izvanredne situacije ili situacije poput ove.

Sedamdeset i sedam minuta nakon ulaska u holding, kontrola zračnog prometa međunarodne luke JFK pitala je posadu koliko dugo mogu nastaviti istim režimom, na što je prvi časnik odgovorio "... oko pet minuta."

Glavni pilot tada je izjavio da je njihov alternativna zračna luka Boston, ali budući da su u čekanju bili toliko dugo, do Bostona ne bi uspjeli doći s obzirom na gorivo.

Toranjska kontrola zračnog prometa međunarodne luke JFK shvativši ozbiljnost situacije dala je prioritet za slijetanje te oslobodila stazu 22L.

Prilikom slijetanja, posada je naišla na jake nalete vjetrova na visini od 500 ft (150 m) što je skoro rezultiralo udarcem zrakoplova od tlo. Zbog nepovoljne situacije (baza oblaka 300 ft (91 m), vidljivost 400 m, vizualni domet piste od 2400 ft (732 m) i smicanje vjetra od 10 kt (19 km/h)), odlučeno je da se ide u proceduru promašenog prilaza (*missed approach procedure*). Kontrolori zračnog prometa obavijestili su posadu o informaciji o naletima vjetra na 1500 ft (450 m) za daljnje manevriranje zrakoplovom, međutim već u ovom trenutku zrakoplov nije imao dovoljno goriva za drugi pokušaj slijetanja. [23] [24] Posada je upozorila kontrolora da ima malo goriva, a u kasnijem prijenosu navela: "Gospodine, ponestaje nam goriva". Kontrolor je zamolio posadu da se popne na veću visinu, na što je prvi časnik odgovorio „Ne, gospodine, ponestaje nam goriva. "

Trenutak kasnije, motor s brojem 4 se zapalio, nedugo zatim i ostala tri. Glavni izvor električne energije, generatori, su sada nestali uz preostalu samo bateriju.

Unutar nekoliko sekundi zrakoplov je izgubio potisak svoja 4 motora, zbog čega je uletio u malo selo Cove Neck, u zaljevu Oyster, 15 NM (24 km) od zračne luke.

Zrakoplov je oboren na tlo i kliznuo niz brdo u grad, razdvojivši se u dva dijela kad je stigao do dna. Udar je uzrokovao otkidanje pilotske kabine od ostatka zrakoplova i sletio 30 ft (9 m) dalje na zemljište napuštene kuće.

Od 158 ljudi u zrakoplovu, 73 ih je poginulo kao posljedica sudara, 8/9 članova posade i 65/149 putnika. Vodeća žena kabinskog osoblja bila je jedini član posade koji je preživio. Od preživjelih putnika, 73 odrasle osobe i djeca iznad tri godine zadobili su teške ozljede, dok su 2 zadobila lakše ozljede. Od 11 novorođenčadi, 2 je zadobilo lakše ozljede, 8 je teško ozlijeđeno, a 1 je preminuo. [23] [24] [25]

Najčešće ozbiljne ozljede bili su višestruki prijelomi potkoljenice i dislokacije, prijelomi kralježnice, prijelomi kuka, ozljede glave i višestruke povrede.

NTSB utvrdio je da je do sudara došlo iz više razloga: [23]

- Posada nije pravilno proglasila hitno stanje uslijed manjka goriva
- Neuspjeh u upravljanju zrakoplovnim operativnim sustavom opreme
- Neadekvatno upravljanje prometnim tokovima od strane Federalne uprave za zrakoplovstvo (FAA)
- Nedovoljno standardizirana radio telefonska komunikacija u smislu izražavanja niske razine goriva

Propusti posade navode se kao vjerojatni uzrok pada, ali vremenske prilike, komunikacije kontrolora zračnog prometa i upravljanje prometom sa strane FAA su dodatni čimbenici koji su doveli do nesreće. [23]

Ovaj je zaključak bio kontroverzan, s neslaganjem između istražitelja, putnika i zrakoplovne kompanije oko pitanja tko je zaista odgovoran.

Odštete žrtvama i njihovim obiteljima je zrakoplovna kompanija ipak na kraju isplatila, nakon što je s američkom vladom postigla nagodbu.

Ova nesreća je uzrokovana manjkom goriva, međutim bitno je napomenuti da manjak goriva nije po planu leta trebao biti manjak. Po svim propisima što se tiče punjenja spremnika sa obzirom na kapacitet te provjeru kapaciteta pri svakom stajalištu bila su ispoštovana. Manjak goriva se u ovom slučaju navodi kao nedovoljna masa goriva sa obzirom na nepredviđene uvjete.

Naime zrakoplov je u Medellin sletio sa 30.500 kg (67.200 lbs) goriva. Let do međunarodne zračne luke JFK zahtijeva 25.180 kg (55.520 lbs), dodatno 2.050 kg (4.510 lbs) za rezervno gorivo, 3.400 kg (7.600 lbs) goriva za slijetanje na alternativna zračna luka, 2.200 kg (4.800 lbs) goriva za holding i 680 kg (1.500 lbs) goriva za taksiranje što u ukupnom iznosu čini 33.530 kg (73.930 lbs) ukupno potrebnog goriva. Dispečer u Medellinu izdao je ukupno 35.000 kg (78.000 lbs) goriva, uključujući 1850 kg (4.070 lbs) goriva za podizanje težine zrakoplova do maksimalne dopuštene uslijed zahtjeva staze planiranog polijetanja. Dodatno na sve, kapetan i dispečer odlučili su se poslužiti drugom stazom i zatražili dodatnih 910 kg (2.000 lbs) goriva. Kada se sve zajedno zbroji to znači da su iz Medellina poletjeli sa 35.910 kg (79.000 lbs), što je 2.380kg (5.070 lbs) i više od potrebnog.

Ova nesreća krajnja je posljedica prestanka rada te istovremenim samozapaljenjem motora, što je bila posljedica nedovoljna masa goriva. Međutim gorivni sustav nije igrao presudnu ulogu kao takav da bi se mogao navesti kao glavni uzrok. Izrazila bih se da je gorivni sustav u ovom događaju bio posljedični a ne uzročni faktor.

Najbolji indikator toga je, da iz ove nesreće potrebna nadogradnja gorivnog sustava nije navedena ili razmatrana, već štoviše, seminari/dodatni sati engleskog jezika za pilote i standardizacija radiotelefonske komunikacije se razmatraju kao pouke ove tragedije.

VREMENSKA LENTA (SA ZAPISNIKOM): [26]

13:10 Pet minuta prije rasporeda, Avianca 52 polijeće iz El Dorada

15:08 Avianca 52 polijeće iz međunarodne zračne luke Jose Maria Cordova sa 35.910 kg (79.000 lbs) goriva

19:04 Posada dobiva instrukciju da uđu u holding iznad Norfolka.

Za to vrijeme gorivo je pri kraju i uskoro će prijeći na rezerve, što pilote navodi da razmisle o alternativnom slijetanju u Boston. Postavljaju upit kontroli zračnog prometa o vremenskim uvjetima u Bostonu, na što kontrolor postavlja upit dalje svojem kolegi te zbog opterećenja poslom zaboravlja dati odgovor posadi.

Posada ponovno postavlja pitanje o vremenskim uvjetima, na što dobivaju odgovor da

su uvjeti dobri i da ne bi trebalo biti problema pri slijetanju u Boston.

Prije javljanja kontroli zračnog prometa međunarodne luke JFK da su se odlučili za alternativna zračna luka, posada dobiva instrukciju da izađu iz holdinga.

19:23 Avianica Flight 52 izlazi iz holdinga.

19:43 Avianica Flight 52 dobiva nove instrukcije ulaska u još jedan holding (zrakoplov se u ovom trenutku nalazi u blizini grada Atlantic City, New Jersey)

20:12 Avianica Flight 52 napušta holding

Zrakoplovi koji su na redu za slijetanje prije Avianice 52 zbog loših uvjeta idu u missed approach procedure.

20:18 Kontrola zračnog prometa daje instrukciju ulaska u treći holding (39 NM (72 km) od međunarodne zračne luke JFK)

20:44 Kontrolor daje posadi informaciju da daljnja uputstva očekuju u 21:05

Prvi časnik daje informaciju kontroli: „Mislim da trebamo prioritet, ostajemo bez..“

Kontrola odgovara: „Primljeno, koliko dugo možete kružiti i koji vam je alternativni aerodrom“

Prvi časnik: „Da gospodine. Možemo čekati još 5 minuta. To je sve.“

Kontrola: “Molim Vas da ponovite svoju alternativu.“

Prvi časnik: “Boston je bio, ali ne možemo to napraviti sada. Sada ćemo ostati bez goriva“

Kontrolor daje instrukcije visine, brzine i *headinga*.

20:47 Avianica Flight 52 napušta holding, posada kontaktira TRACON³³ koji daje uputstva za stazu 22L ILS.

21:03 Posadu kontaktira završna prilazna kontrola

21:15 Posada stupa u kontakt s toranjskom kontrolom međunarodne zračne luke JFK te su nakon nekoliko minuta prebačeni na slijetanje (treći po redu)

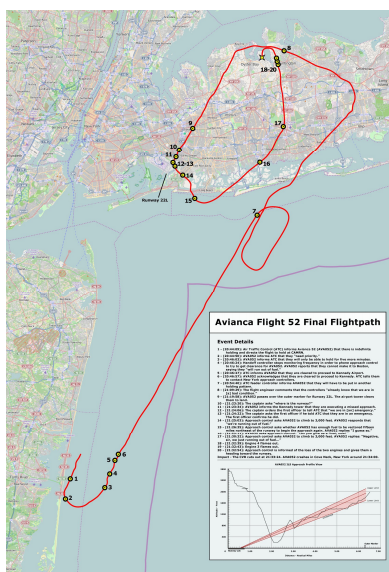
21:23. Zbog lošeg vremena nisu ugledali stazu pravovremeno te je posada primorana

³³ Terminal Radar Approach Control

napraviti missed approach proceduru. (U ovom trenutku zrakoplov ima dovoljno goriva za još 10 minuta leta)

21:32, Prvo dolazi do samozapaljenja motora broj 4, par sekundi kasnije do motora broj 3 te ubrzo otkazuju i motori 1 i 2.

21:34, Avianica Flight 52 udara o tlo stambene četvrti na sjevernoj obali Long Islanda. Zrakoplov se lomi na više komada.



Slika 25: Prikaz putanje leta zrakoplova Avianica Flight 52. [31]



Slika 26: Olupine zrakoplova Avianica Flight 52. [31]

7.1.4. Air Transat Flight 236

Tablica 7: Tablični prikaz svih informacija za let Air Transat Flight 236.

Datum	24.08.2001.
Tip zrakoplova	Airbus A330-243
Operator	Air Transat
Registracija	C-GTIS
Preminuli	0 / 13 POSADA , 0 / 293 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Oštećeno podvozje i donji dio trupa
Faza leta	En route
Aerodrom (Polazišta)	Toronto-Pearson International Airport
Aerodrom (Odredišta)	Lisboa-Portela de Sacavém Airport

Zrakoplov Airbus A330-243, na letu Air Transat Flight 236, 24.kolovoza 2001. postao je jedrilica usred atlantskog oceana, uslijed gubitka sveg raspoloživog goriva.

Redoslijed događaja:

Zrakoplov s 293 putnika i 13 članova posade poletio je iz međunarodne luke Toronto (Toronto Pearson Int'l Airport) za međunarodnu zračnu luku Lisabon (Portela Airport) . U trenutku polijetanja (00:52 UTC) nosio je 46900 kg (103396 lbs) goriva u spremnicima, (4500 kg (9920 lbs) više nego što je predviđeno propisima). [30]

Pet sati kasnije (05:03 UTC) kapetan Robert Piche i kopilot (ujedno i iskusni pilot jedrilica) Dirk de Jager, primijetili su nisku temperaturu ulja i visok tlak ulja na motoru. S obzirom na to da im ovakva situacija nije bila poznata, sumnjali su da su upozorenja lažna ali tražili mišljenje svojeg centra za kontrolu održavanja, koji im je savjetovao da nadgledaju situaciju.

U 05:36 UTC, piloti su dobili upozorenje o neravnoteži goriva. Još uvijek nisu bili svjesni da se radi o curenju goriva, pa su slijedili standardni postupak za otklanjanje neravnoteže prebacivanjem goriva iz lijevog spremnika u desni spremnik putem ventila za unakrsnu dobavu goriva.

Preneseno gorivo izgubilo se kroz lomljenu gorivnu cijev, koja je ispuštala otprilike 3,6 kg/s (8 lbs/s). To je uzrokovalo veći protok goriva od uobičajenog kroz izmjenjivač

topline gorivo-ulje, što je zauzvrat dovelo do pada temperature ulja i povećanja tlaka motornog ulja. U tom trenutku zrakoplov se nalazio usred Atlantskog oceana te su piloti odlučili preusmjeriti u zračnu bazu Lajes na Azorima (Lajes Air Base) .

U 06:13 UTC, na FL390 (11880 m) , 150 NM (278 km) od Lajes, motor br. 2 prestaje raditi, što dovodi do naglog spuštanja zrakoplova na FL330 (10058 m) , operativnu visinu s obzirom na trenutačnu masu zrakoplova i jednim funkcionalnim motorom.

Deset minuta kasnije posada upućuje MAYDAY kontroli leta zračne luke Lajes. Još tri minute kasnije, u 06:26 UTC i otprilike 65 nautičkih milja od zračne luke, motor br. 1 također prestaje raditi.

Bez snage motora, zrakoplov je izgubio svoj primarni izvor električne energije. Zračna turbina za slučaj nužde automatski se aktivirala kako bi se osiguralo napajanje kritičnih senzora i instrumenata za letenje zrakoplova. No, zrakoplov je izgubio svoju glavnu hidrauličku snagu, koja pokreće zakrilca, alternativne kočnice i spojere.

Pet minuta kasnije, u 6:31 UTC, u kabini spuštaju se i maske za kisik. Brzina spuštanja zrakoplova bila je oko 2000 ft/min (10 m/s) . Proračunali su da im je preostalo oko 15 do 20 minuta prije nego što bi bili prisiljeni sletjeti u ocean.

Da bi u kratkom roku mogao smanjiti veliku razliku u visini, kapetan Piche morao je izvršiti jedan zavoj od 360 stupnjeva, a zatim niz okretaja u obliku slova „S“ .

Zapravo je zrakoplov pri novonastalim uvjetima postao jedna velika jedrilica.

U 06:45 UTC, zrakoplov je pri velikoj brzini od 200 kt (370 km/h) uspio sletjeti te se zaustavio na otprilike 850 m (2700 ft) od praga staze. Za potpuno zaustavljanje, od dostupne duljine staze od 3000 m (9840 ft), zrakoplovu Transat 236 je trebalo 2300 m (7550 ft). [30]

Smrtnih slučajeva nije bilo, 14 putnika i 2 člana posade zadobilo je lakše ozljede, dok su 2 putnika zadobila teške ozljede tijekom evakuacije zrakoplova.

Zrakoplov je pretrpio strukturalna oštećenja podvozja i donjnjeg dijela trupa te je nakon popravka vraćen u redovan promet.

Portugalski odjel za sprječavanje i istraživanje zrakoplovnih nesreća u suradnji s kanadskim i francuskim vlastima otkrio je da je uzrok nesreće bilo curenje goriva u motoru 2, uzrokovano neispravnim dijelom ugrađenim u hidraulički sustav na održavanju

prije leta.

Naime motor je zamijenjen rezervnim motorom, posuđenog od strane tvrtke Rolls-Royce, ali zamjenski motor nije uključivao hidrauličku pumpu. Unatoč zabrinutosti glavnog mehaničara, tvrtka je dala odobrenje da se upotrijebi nedostajući dio iz drugog tipa motora. Iako je taj dio bio prilagođen 95%, upravo tih 5% je dovelo do pucanja gorivne cijevi. [30]

Za vrijeme leta, s obzirom na to da su gorivna cijev i hidraulički sistem bili prislonjeni jedan na drugog, vibracija metala od hidraulike je prouzročila pucanje cijevi za dovod goriva u motore.

Automatski, čim motori nisu dobivali gorivo, došlo je do takozvanog izgladnjivanja goriva, prekinuo se dovod te motori nisu bili više u mogućnosti stvarati potisak.

Air Transat je prihvatio odgovornost za nesreću, a kanadska vlada kažnjena je sa 250.000 C\$, što je od 2009. bila najveća novčana kazna u kanadskoj povijesti. Pogreška pilota također je navedena kao jedan od glavnih uzroka nesreće (zbog propusta u identificiranju istjecanja goriva).

2002. godine, kapetan Piche dobio je nagradu Superior Airmanship od međunarodne udruge pilota ALPA³⁴.

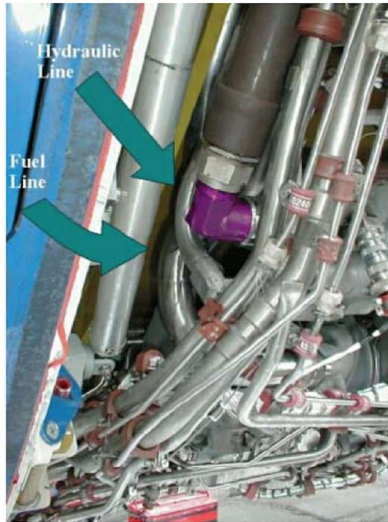
Nakon ovog slučaja FAA³⁵ i DGAC³⁶ izdali su obavijest u kojoj zahtijevaju da svi operateri koji unutar svoje flote imaju modele zrakoplova Airbus A318/A319/A320/A321 da uslijed sumnje propuštanja goriva ili neimanja informacije o uzroku promjene stanja goriva ne otvaraju ventil za unakrsnu dobavu goriva. To se uvelo naknadno u sve FM³⁷ navedenih zrakoplova.

³⁴ Air Line Pilots Association

³⁵ Federal Aviation Administration

³⁶ Dirección General de Aeronáutica Civil

³⁷ Fuel Manual



Slika 27: Prikaz uzrokovnog spoja nesreće leta Air Transat Flight 236. [30]



Slika 28: Puknuta gorivna cijev gorivnog sustava leta Air Transat Flight 236. [30]

7.1.5. British Airways Flight 38

Tablica 8: Tablični prikaz svih informacija za let British Airways Flight 38.

Datum	17.01.2008.
Tip zrakoplova	Boeing 777-236ER
Operator	British Airways
Registracija	G-YMMM
Preminuli	0 / 16 POSADA , 0 / 136 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Nepovratno uništen
Faza leta	Slijetanje
Aerodrom (Polazišta)	Beijing-Capital Airport
Aerodrom (Odredišta)	London-Heathrow Airport

Boeing 777-200ER, na letu British Airways Flight 38, 17. siječnja 2008. prisilno je sletio na međunarodnu zračnu luku Heathrow uslijed prestanka rada oba motora u fazi slijetanja, uzrokovanog ledom unutar goriva.

Redoslijed događaja:

British Airways Flight 38 poletio je iz Pekinga u 02:09 UTC. Letio je iznad Mongolije, Sibira i Skandinavije na visini između FL350 i FL400, gdje temperature dosežu između -65°C i

-74°C. Svjesni hladnih uvjeta, posada je nadgledala temperaturu goriva, s namjerom da se spusti na nižu i topliju razinu ako postoji opasnost od smrzavanja goriva. To se nije pokazalo neophodnim, jer temperatura goriva nikada nije pala ispod -34°C. [16] [17] Iako se samo gorivo nije smrznuo, male količine vode u gorivu jesu. Led je bio prilijepljen za unutrašnjost cijevi za gorivo, najvjerojatnije na pričrščivačima motora na krilima.

Ovo nakupljanje leda nije imalo utjecaja na let sve do posljednje faze prilaska međunarodnoj odredišnoj zračnoj luci Heathrow, kada su led, povećani protok goriva i viša temperatura naglo potaknuli odvajanje nakupine leda u gorivo.

Ta nakupina leda pomicala se polagano sve do izmjenjivača topline za gorivo i ulje FOHE³⁸ gdje se ponovno kristalizirao, ograničavajući gorivu dotok do motora. To je naposljetku uzrokovalo gašenje motora, uslijed gladovanja gorivom. [16] [17]

Prve naznake poremećaja sustava posada je opservirala pri nemogućnosti odgovora motora na davanje instrukcija za veći potisak. Bitno je napomenuti da je autopilot bio uključen sve do 50 m (165 ft) prije staze.

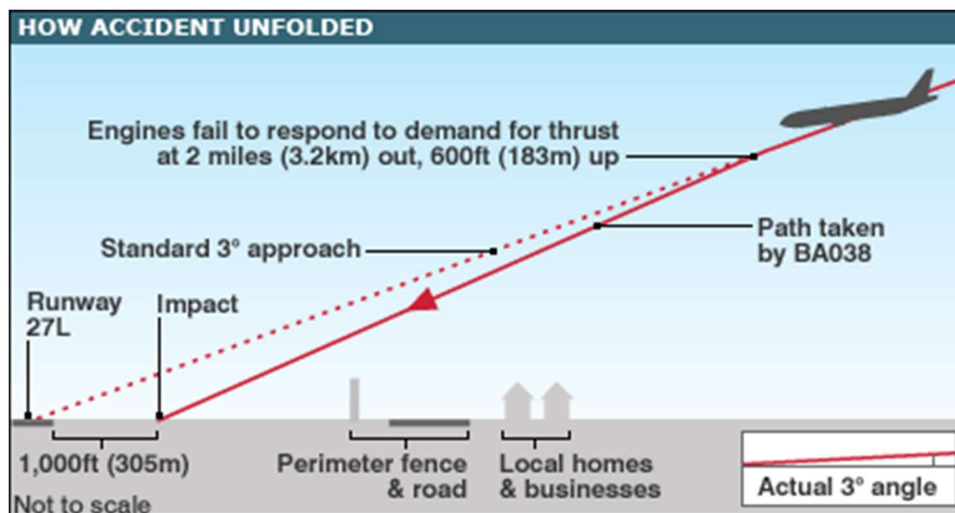
Za vrijeme dok je autopilot bio uključen nije bilo indikacija da nešto nije u redu. Autopilot se odvojio s 46 m (151 ft) udaljenosti, nakon što je kopilot preuzeo ručnu kontrolu. U međuvremenu, kapetan je smanjio postavu zakrilaca s 30 stupnjeva na 25 stupnjeva

³⁸ Fuel Oil Heat Exchanger

kako bi smanjio otpor i dobio dužu putanju za jedrenje/klizanje.

Kapetan je par sekundi prije slijetanja kontroli zračnog prometa proglasio hitnu, sigurnosno narušenu situaciju te je uspio zrakoplovom sletjeti na travu otprilike 270 m (886 ft) prije staze da pritom nije oštetio nijednu tehničku komponentu zračne luke (antene, radari, odašiljači).

Značajna količina goriva je iscurila, ali požara nije bilo. 4 člana posade i 8 putnika zadobili su lakše ozljede, a 1 putnik zadobio je teške ozljede (potres i slomljena noga). Zaključeno je da su smanjene mogućnosti motora izravni rezultat nedostatka dostupnog goriva da bi se ispunila zadana postavka potiska, a da je prepreka leda na sustavu FOHE bio definitivni uzrok gladovanja goriva na desnom motoru i vjerojatni uzrok na lijevom motoru. [16] [17]



Slika 29: Prikaz putanje leta British Airways Flight 38. [19]



Slika 30: Ostaci zrakoplova leta British Airways Flight 38 na stazi. [21]



Slika 31: Trag ostavljen uslijed slijetanja zrakoplova leta British Airways Flight 38 . [21]

7.1.6. Gimli Glider

Tablica 9: Tablični prikaz svih informacija za let Air Canada Flight 143.

Datum	23.07.1983.
Tip zrakoplova	Boeing 767-233
Operator	Air Canada
Registracija	C-GAUN
Preminuli	0 / 8 POSADA , 0 / 61 PUTNICI
Stanje zrakoplova	Potpun uz oštećenje podvozja
Faza leta	En route
Aerodrom (Polazišta)	Ottawa International Airport
Aerodrom (Odredišta)	Edmonton International Airport



Slika 32: Gimli Glider. [27]

Boeing 767-233, na letu Air Canada Flight 143, 23. srpnja 1983. prisilno je sletio na stazu bivše kanadske vojne baze zbog nepravilnog baratanja mjernim jedinicama prilikom rukovođenja ukupnom količinom goriva potrebnom za let.

Redoslijed događaja:

Zrakoplov je dan prije leta, 22. srpnja 1983. , podvrgnut rutinskim pregledima.

Instrumenti za indikaciju parametara goriva nisu radili zbog elektroničke pogreške koja je navedena na instrumentalnoj ploči i zapisnicima zrakoplova te su piloti bili obaviješteni o situaciji i upućeni da do željenih informacija dođu drugim načinom.

Sljedeći dan, Boeing 767 je letio za međunarodnu zračnu luku Montreal (Montreal-Dorval International Airport) , gdje je nakon izmjene posade krenuo za međunarodnu zračnu luku Edmonton (Edmonton International Airport) sa zaustavljanjem u međunarodnoj zračnoj luci u gradu Ottawa (Ottawa Macdonald–Cartier International Airport).

Posadu su sastavljali kapetan Robert Pearson i prvi časnik Maurice Quintal. Na FL410 (12500 m) iznad Crvenog jezera u Ontariju aktiviralo se upozorenje nepovoljnog tlaka goriva lijevog motora. Pretpostavljajući da je pumpa za gorivo otkazala, piloti su je isključili računajući da će gorivo do motora dopreмати sustav slobodnog pada. S obzirom na informaciji ranije primljenoj o neispravnosti instrumenata prvo su upozorenje shvatili olako, pripisujući kao grešku sustava.

Tijekom leta na prikazniku (FQI) im se pokazivalo kao da imaju dostatnu količinu goriva za let, međutim očitavanja su bila pogrešna, za što posada nije znala.

Nekoliko trenutaka nakon što je posada utišala alarm, oglasio se drugi alarm za desni motor. Počevši shvaćati ozbiljnost situacije, posada je kontaktirala kontrolu leta zračne luke Winnipeg kako bi ih obavijestili da će sletjeti na najbližu zračnu luku u tom trenutku, Winnipeg te provesti slijetanje s jednim motorom. [28]

No prije obavještavanja kontrole o odluci, oba motora su prestala raditi te se zrakoplov pretvorio u veliku jedrilicu. To je značilo da se visina trebala hitno smanjiti te prizemljiti zrakoplov uz minimalne gubitke.

U ovom trenutku prvi časnik Quintal predložio je slijetanje u bivšu RCAF³⁹ stanicu Gimli, zatvorenu zrakoplovnu bazu u kojoj je jednom služio kao pilot za kraljevsko kanadsko ratno zrakoplovstvo. Nepoznanica za posadu ili za kontrolora zračnog prometa, dio objekta prenamijenjen je u kompleks trkačkih staza, danas poznat kao Gimli Motorsports Park. [27]

Bitno je napomenuti da je Boeing 767 bio jedan od prvih zrakoplova koji je uključivao sustav elektroničkih instrumenata za let, koji je djelovao na električnu energiju proizvedenu od mlaznih motora zrakoplova.

Kad su se zaustavila oba motora, sustav se ugasio, ostavljajući samo nekoliko osnovnih

³⁹ Royal Canadian Air Force

instrumenata na baterijama. Iako su oni pružali dovoljno informacija s kojima bi mogli sletjeti zrakoplov, među njima nije bio vertikalni pokazatelj brzine, koji bi ukazivao na brzinu kojom se zrakoplov spuštao. [28]

Podatci/instrumenti s kojima je posada raspolagala i bila primorana prizemljiti zrakoplov su umjetni horizont, magnetni kompas, indikator indicirane brzine i visinomjer. Boeing 767 također je model zrakoplova kod kojega su motori odgovorni za pokretanje hidrauličkih sustava, ta se nadoknada obično postiže automatiziranim pokretanjem RAT⁴⁰, rezervnog generatora koji stvara energiju iz kretanja zraka, male vjetroturbine.

U tom trenutku dva motora nisu radila te također nije radio ni hidraulički sustav. Zato je pilot bio primoran ručno spustiti podvozje zrakoplova, pri čemu je prednje podvozje stalo na pola puta te nije bilo izvučeno u potpunosti. [28]

U vrijeme incidenta u tijeku je bila kanadska utrka sportskih automobila, a područje oko staze je bilo puno automobila i kampera.

Bez glavne snage, unutar 10 NM (19 m) zrakoplov se spustio 5000 ft (1500 m), dajući klizni omjer od približno 12:1.

Dva faktora pomogla su u sprječavanju katastrofe:

- nepotpuno izvlačenje prednjeg podvozja
- prisutnost zaštitne ograde postavljene duž središta preuređene staze za svrhe motornih utrka.

U trenutku doticaja kotača sa stazom, kapetan je upotrijebio kočnice do maksimalne vrijednosti što je uzrokovalo vraćanje prednjeg podvozja u njegovo spremište, klizanje zrakoplova i bušenje guma. [27]

Zbog veće površine kojom je zrakoplov strugao po stazi, negoli u slučaju da je sve podvozje izvučeno, trenje je bilo veće a zaustavljanje brže.

Air Canada Flight 143 zaustavio se na terenu sveukupno 17 minuta nakon što je ponestalo goriva. Zbog svog klizanja po stazi dobio je nadimak „Gimli Glider“, što znači klizač iz Gimlija.

⁴⁰ Ram Air Turbine

Od 61 putnika, 8 članova posade i osoba na terenu, nitko nije zadobio teške ozljede. S obzirom na to da je nos zrakoplova bio na tlu, pri evakuaciji putnika, zabilježeno je par manjih ozljeda jer su tobogani za spašavanje sa stražnje strane zrakoplova bili na visini većoj od njihove dužine.

Manji požar u predjelu nosa ugasili su natjecatelji i radnici Gimli Motorsports Parka prijenosnim aparatima za gašenje požara. [28]

Što se dogodilo ?

U vrijeme incidenta, Kanada se prebacivala u metrički sustav mjerenja, što znači da se količina goriva više neće mjeriti u lbs (funtama) nego u kg (kilogramima) .

Kao dio ovog procesa, Boeing 767 bio je pri zrakoplov unutar flote Air Canada kojem će jedinice mase u priručnicima i zapisima biti promijenjeni. Pri izračunu mase goriva u zrakoplovu, zemaljska posada računala je ukupan iznos u imperijalnom sustavu a ne metričkom, što je značilo da je već pri polijetanju Boeing 767 imao manje od pola spremnika goriva. [28] Kapetanu Pearsonu snižen je čin na period od šest mjeseci, prvi časnik Quintal je suspendiran na dva tjedna te su tri zemaljska tehničara također suspendirana. Istragom su se kao uzrok navele greške posade u smislu nedovoljnu obuku, informiranosti kao i nepostupanje u skladu sa sigurnosnim postupcima u vidu zamjene dijelova gorivnog informativnog sustava. Gimli Glider popravljen je nakon nesreće, a trajno povučen iz službe 24. siječnja 2008. godine u ceremoniji u kojoj su sudjelovali kapetan Robert Pearson, prvi časnik Maurice Quintal i 3/6 članova kabinskog osoblja koje su bile na letu Air Canada Flight 143. U gradu Gimli napravljen je memorijalni muzej gdje se nalaze dijelovi trupa zrakoplova Boeing 767.



Slika 33: Prikaz visine stražnjih tobogana u odnosu na stazu. [29]

8. Izračun protoka goriva zrakoplova Airbus A320 u fazi krstarenja.

Protok (oznaka Q ili q) je fizikalna veličina koja opisuje količinu nekoga fluida (tekućina ili plin) što protječe promatranim presjekom u vremenskom intervalu. Mjerenje protoka tekućina jednostavnije je od mjerenja protoka plinova jer su tekućine nestlačive; mjerenje protoka plinova ponekad zahtijeva mjerenje tlaka i temperature. Naprava, uređaj ili mjerni instrument kojim se mjeri protok naziva se mjerilo protoka. [38]

Volumni protok je fizikalna veličina koja određuje obujam (volumen) fluida koji prolazi neku točku u jedinici vremena (m^3/s). Mjerenje protoka kapljevina, plinova, višefaznih tekućina i suspenzija je složeno, podložno je brojnim pogreškama, i zato je razvijen je veliki broj različitih mjernih postupka u svrhu preciznog i pouzdanog mjerenja. [38]

Volumni protok se određuje prema formuli (1) :

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

gdje je:

- Q - volumni protok (m^3/s)
- ΔV - promjena obujma fluida (m^3), koji teče kroz neki presjek (npr. cijevi)
- Δt - vrijeme trajanja toka fluida koji teče kroz neki presjek (s)

Kubni metar u sekundi (m^3/s) je mjerna jedinica za volumni protok.

Volumni protok u cijevi se može odrediti formulom (2) :

$$Q = v \times A \quad (2)$$

gdje je:

- v – brzina fluida u cijevi (m/s)
- A – presjek cijevi (m²)

Brzina tekućine u cijevi mijenja se položajem i vremenom. Bitno se razlikuje laminarno od turbulentnog protjecanja. [38]

Bernoullijeva jednadžba prikazuje odnos između brzine, tlaka i gustoće tekućine u kretanju. Ona kaže da je u slučaju stabilnog strujanja nestlačive idealne tekućine, bez trenja, ukupna energija tekućine jednaka duž svih prereza; porastom brzine tekućine pada njen hidrostatski tlak i obratno. Zbroj hidrostatskog tlaka i hidrodinamičkog tlaka u vodoravnom strujanju daje ukupan tlak koji je konstantan u svim prerezima cijevi. Drugim riječima, Bernoullijeva jednadžba predstavlja zakon očuvanja energije koji nam u slučaju stacionarnog strujanja tekućine govori da za vrijeme stacionarnog strujanja jedinica mase tekućine (njen diferencijalni dio) ima konstantnu energiju duž cijele strujne cijevi. [38]

Bernoullijevoj jednadžbi prikazanoj formulom (3) :

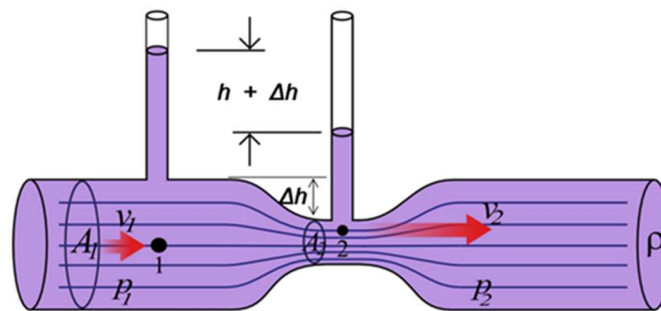
$$p + \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 + \rho \times g \times h + p = konst \quad (3)$$

Hidrodinamički tlak je tlak u fluidu (tekućina ili plin) koji struji. Njegova vrijednost iskazana je formulom (4) :

$$\frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \quad (4)$$

gdje je:

- ρ - gustoća fluida
- v - brzina strujanja fluida



Slika 34: Shematski prikaz Venturijeve cijevi. [38]

U vodoravnoj cijevi je zbroj statičkog i dinamičkoga tlaka konstantan, pa je u dijelovima cijevi u kojima fluid brže struji statički tlak manji.

Svi oblici goriva AVGAS koje zadovoljavaju propise, imaju gustoću na 15°C od 775.0–840.0 kg/m³. [39] Za izračun uzima se aritmetička sredina gustoće od 807,5 kg/m³. Avionski benzin ima donji i jednolik tlak pare za razliku od automobilskih benzina, tako da ostaje u tekućem stanju, usprkos smanjenom atmosferskom tlaku na velikim visinama, čime se sprečava zaglavlivanje pare. [7]

Gorivna pumpa je ta koja ostvaruje protok goriva, dok je tlak posljedica protoka. Potisak je dobiven brtvljenjem pumpe te ne može biti veći od vrijednosti brtvljenja.

Iz Bernoulijeve jednadžbe dobivamo informaciju o brzini strujanja goriva u obliku formule (5) :

$$v^2 = \frac{p}{\frac{1}{2} \times \rho} \quad (5)$$

Uzmemo li da je 1 kg/l jednak 1000 kg/m³ uzet ćemo podatak o gustoći JET A1 zrakoplovnog goriva od 807,5 kg/m³. Uz pretpostavku da tlak pumpe iznosi 3 bar (300 000 Pa) možemo izračunati vrijednost brzine strujanja goriva:

$$v^2 = \frac{300\,000\text{ Pa}}{\frac{1}{2} \times 807,5\text{ kg/m}^3}$$

Čemu slijedi:

$$v = \sqrt{743,034}\text{ m/s}$$

$$v = 27,2587\text{ m/s}$$

Sa dobivenom brzinom strujanja goriva goriva ako pretpostavimo da je promjer cijevi cijevi unutar gorivnog sustava zrakoplova Airbus A320 jednak 30 mm, informaciju o protoku goriva računamo prema formuli :

$$Q = v \times A$$

$$Q = 27,2587 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (0,015\text{ m})^2 \times \pi$$

$$Q = 0,019268\text{ m}^3/\text{s} = 19,2680\text{ l/s} = 1156,08\text{ l/min}$$

Pretpostavimo li da je tlak jednak 2 bar (200 000 Pa) , a promjer 10 mm, dobivene vrijednosti uvelike se razlikuju:

$$v^2 = \frac{200\,000\text{ Pa}}{\frac{1}{2} \times 807,5\text{ kg/m}^3}$$

$$v = 22,2566\text{ m/s}$$

$$Q = 22,2566 \frac{m}{s} \times (0,005 m)^2 \times \pi$$

$$Q = 0,0017480 m^3/s = 1,7480 l/s = 104,88 l/min$$

Iz rezultata vidimo kako i 2 centimetra unutar gorivnog sustava i promjena tlaka pa makar za 1 bar (100 000 Pa), za pojam protoka goriva unutar gorivnog sustava čini esencijalnu razliku. Za male greške pri konstrukciji ovog sustava nema mjesta, jer te sitnice mogu biti fatalne.

Izračun za više opcija, pri različitim tlakovima i promjerima dat je u tablici 10:

Tablica 10: Tablični prikaz izračuna protoka goriva pri različitim parametrima.

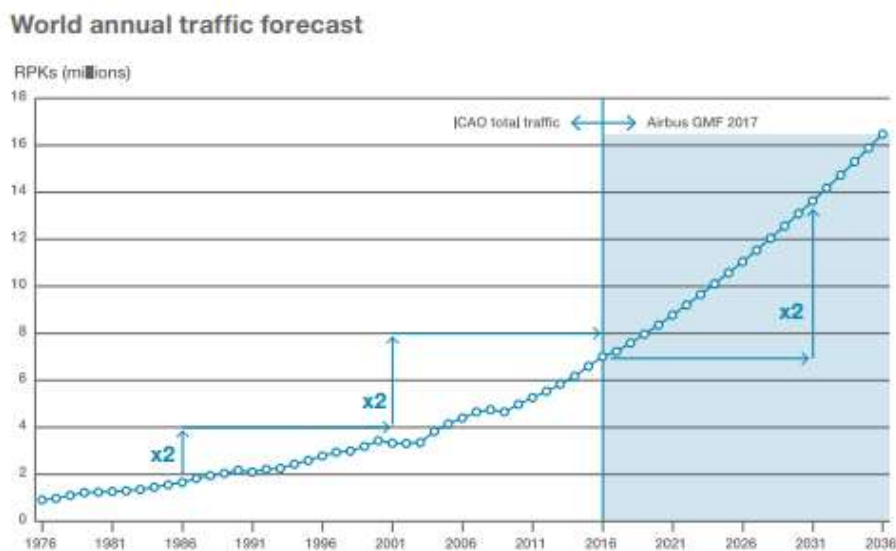
TLAK (Pa)	BRZINA (m/s)	PROMJER (mm)	POLUMJER (m)	PROTOK (l/s)
200 000	22,2566	10	0,005	1,748
	22,2566	20	0,01	6,9921
	22,2566	30	0,015	15,7323
300 000	27,2587	10	0,005	2,1409
	27,2587	20	0,01	8,5636
	27,2587	30	0,015	19,268

9. Prijedlozi za poboljšanje

Airbusova prognoza globalnog tržišta (GMF⁴¹) predviđa udvostručenje globalnog zračnog prometa u narednih 15 godina. Tako značajan rast industrije znači da nema mjesta za greške u održavanju sigurnosti. [36]

Zrakoplovna industrija i svi njeni članovi morat će uložiti zajedničke napore da se smanji stopa nesreća.

Jednostavno rečeno, više letova značit će i manje vremena za reagiranje, osim ako ne poradimo na smanjenju stopa nesreća.



Graf 7: Prognoza povećanja prometa. [15]

Povećanje broja zrakoplova za svaki kontinent zasebno je zastrašujuć koliko i nadahnjujuć. Suvremeni sustavi za gorivo u zrakoplovima pružaju potporu brojnim izazovima. Od sustava za dostavu i mjerenje, do mehaničkih struktura poput spremnika, filtera, ventila i vodovoda, a svi oni zahtijevaju znanje i iskustvo kako bi pravilno funkcionirali.

Pored operativnog trošenja, sustav goriva je pod stalnim napadom kontaminacije.

Nakupljanje vode i krhotina unutar zrakoplova je uvijek zabrinjavajuće jer može dovesti

⁴¹ Global Market Forecast

do stvaranja gljivica koje se hrane ugljikovodicima.

Mnogo je problema zbog kojih tehničari i oni koji njima upravljaju moraju biti na oprezu i imati plan korektivnih mjera.

Operateri bi trebali tretirati gorivo antimikrobnim biostatom u skladu s OEM⁴² preporukama. Mnogi proizvođači savjetuju redovitu provjeru i testiranje čak i ako nema naznaka rasta bakterija.

Preporučenih praksi i propisanih procedura se treba striktno držati, jer su oni jedini način da imamo izgleda nositi se s prometom koji nas očekuje.

Suvremenom tehnologijom uspjeli smo omogućiti pilotima i timovima za održavanje zrakoplova da se pojedini testovi, kao što je na primjer test na gljivice, može dobiti unutar svega par minuta. Za najbolje liječenje kaže se da je ključna prevencija.

S obzirom da led ne možemo izbjeći ili liječiti, obzirom da je led prirodna pojava, potrebno je da bar razumijemo na koji način i zašto se stvara u pojedinim dijelovima gorivnog sustava.

Stoga je moj prijedlog da se u svrhu održavanja gorivnog sustava, svaki zaposlenik te njegova operativna tvrtka pobrinu o saznavanju novih informacija te razumijevanju postojećeg sustava.

Kao primjer uzet ću nesreću Air Transat Flight 236, u kojoj bi piloti da su razumjeli osnovni princip rada gorivnog sustava možda na vrijeme nisku temperaturu ulja i visok tlak ulja na motoru povezali kao problematiku pri radu motora i gorivnog sustava, a ne samo grešku informatičkog sustava.

Smatram da ključ poboljšavanja gorivnog sustava leži u njegovom razumijevanju. S novom tehnologijom spoznajemo i nove kemijske spojeve, materijale i oblike ali jedna stvar koja je prvenstveno bitna je znanje o samom sustavu.

Ono što je odgovornost svakog pilota je da je siguran u spremnost svojeg zrakoplova za let, a mehaničara da pri svojim konstruiranjima te inspekcijama gorivnih sustava zrakoplova obrate pozornost i na najmanje detalje jer kao kod leta Air Transat Flight 236, čak i najmanji detalji mogu prouzročiti najveće probleme tijekom leta.

⁴² Original Equipment Manufacturer

10. Zaključak

Od 1903. god i braće Wright kompleksnost gorivnog sustava zrakoplova se itekako promijenio. Gledajući da je od prvog zrakoplova na vlastiti pogon prošlo samo nešto više od 100 godina, nije krivo zaključiti kako se i aeronautika zajedno sa razvojem tehničke industrije može svrstati u jednu od najbrže rastućih grana prometa.

Suvremeni zrakoplovi su sve kompleksniji ali imaju sve više autonomnih sustava koji rasterećuju pilota i posadu zrakoplova kao i kontrolu i ostale službe na zemlji. Kroz analizu jednih od najutjecajnijih nesreća u povijesti aeronautike, zaključak je kako su se iste greške radile prije 20 godina, ali i sada te na kojima moramo poraditi kako se ne bi susretali s njima i u budućnosti. Međutim kroz obrazovanja, standardizaciju radiotelefonske komunikacije, ulaganju u sustave procjene rizika te ispitivanja novih materijala i sustava, ljudski faktor bi mogao postati samo davna prošlost.

Svaki pilot i kontrolor imaju svoje osobne načine manevriranja zrakoplovom, no koliko će ulagati u obrazovanje samih sebe isključivo je na njima. Ključ eliminiranja ljudskog faktora kao glavnog uzročnika zrakoplovnih nesreća sastoji se od temeljitog obrazovanja i razumijevanja zrakoplova u potpunosti.

Nažalost oglašavanje sustava kao indikacije o mogućem uzroku problema unutar gorivnog sustava nije uvijek prepoznatljiv, kao kod zrakoplova Air Transat Flight 236. Bitno je razumijevanje, ne samo motora te kako proizvode potisak, već i kompleksnog sustava zvanog gorivni sustav sa svim svojim komponentama, u cjelini. Sve statističke analize imaju pozitivan porast prometa unutar narednih 25 godina te je na nama da nebo zaista učinimo sigurnim mjestom.

Literatura

- [1] <https://www.aircraftsystemstech.com/>, srpanj, 2019.
- [2] <https://aviation.stackexchange.com/>, srpanj, 2019.
- [3] Fran Zvonimir Vince, Završni rad, FSB, Zagreb, 2012.
- [4] R. Langton, M. Hewitt, L. Richards, C. Clark, Aircraft Fuel Systems, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 2009.
- [5] Steiner, Vidović, Bajor, Pita, Štimac, Zrakoplovna prijevozna sredstva I, Fakultet prometnih znanosti, 2008.
- [6] Jeppsen, Airframes and systems, 2004.
- [7] Matej Božulić, Goriva i maziva u avijaciji, FSB, Zagreb, 2017.
- [8] https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/techdata/aircraft_characteristics/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A320.pdf, kolovoz, 2019.
- [9] <https://services.airbus.com/>, kolovoz, 2019.
- [10] <https://hursts.org.uk/airbus-technical/html/ar01s16.html>, kolovoz, 2019.
- [11] <http://www.propisi.hr/>, kolovoz, 2019.
- [12] <http://www.icao.int/>, kolovoz, 2019.
- [13] <http://www.planecrashinfo.com>, kolovoz, 2019.
- [14] <https://www.nts.gov/>, kolovoz, 2019.
- [15] <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/safety-first/Statistical-Analysis-of-Comercial-Aviation-Accidents-1958-2018.pdf>, kolovoz, 2019.

- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/British_Airways_Flight_38, kolovoz, 2019.
- [17] http://code7700.com/accident_british_airways_38.htm, kolovoz, 2019.
- [18] https://bib.irb.hr/datoteka/932665.Hrvatsko_zrakoplovno_nazivlje_Struna.pdf, kolovoz, 2019.
- [19] <http://news.bbc.co.uk>, kolovoz, 2019.
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/2000_East_Coast_Aviation_Services_British_Aerospace_Jetstream_crash, kolovoz, 2019.
- [21] <https://www.quora.com/>, kolovoz, 2019.
- [22] <https://www.cad.gov.hk/reports/>, kolovoz, 2019.
- [23] <https://www.tailstrike.com/250190.htm>, kolovoz, 2019.
- [24] <https://aviation-safety.net/>, kolovoz, 2019.
- [25] <http://code7700.com/index.htm>, kolovoz, 2019.
- [26] <https://www.tailstrike.com/index.htm>, kolovoz, 2019.
- [27] <https://nationalpost.com/news/canada/gimli-glider-pilot-recalls-heroic-landing-of-air-canada-767-as-famed-plane-put-up-for-sale>, kolovoz, 2019.
- [28] https://en.wikipedia.org/wiki/Gimli_Glider, kolovoz, 2019.
- [29] https://www.google.com/search?q=gimli+glider&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjQ-Lic44_kAhWr-yoKHZTkAJoQ_AUIESgB&biw=1366&bih=576#imgsrc=PVJuTPqt-iJSkM:, kolovoz, 2019.
- [30] <http://www.aviationchief.com/>, kolovoz, 2019.
- [31] https://www.google.com/search?q=avianca+52+crash&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjclvep5o_kAhWUAXAIHTCKC7IQ_AUIESgB&biw=1366&bih=576, kolovoz, 2019.

- [32] https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2018_30082018.pdf, kolovoz, 2019.
- [33] <http://www.fpg-amentum.aero/wp-content/uploads/2018/07/180719-FPG-Amentum-research-A320-NEO-vs-CEO-comparison-study.pdf>, kolovoz, 2019.
- [34] <http://www.modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs/>, kolovoz, 2019.
- [35] Danijel Horvat, Analiza performansi koncepcije mlaznih motora visokog stupnja optočnosti, 2016, kolovoz,2019.
- [36] <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/media-day/GMF-2018-2037.pdf>, kolovoz, 2019.
- [37] <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a284918.pdf>, kolovoz, 2019.
- [38] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Protok>, kolovoz, 2019.
- [39] <https://www.exxonmobil.com/en/aviation/products-and-services/products/jet-a-jet-a-1>, kolovoz, 2019.

Popis slika

Slika 1: Prikaz statičnog spremnika. [1]	4
Slika 2: Prikaz pomičnog spremnika. [1].....	5
Slika 3: Prikaz pomičnog spremnika. [2].....	6
Slika 4: Prikaz onečišćenog pročišćivača. [1]	11
Slika 5: Indikator temperature goriva. [1]	12
Slika 6: Prikaz instrumenta za izbacivanje goriva. [1].....	16
Slika 7: Kapacitivni senzor. [1].....	20
Slika 8: Indikator količine goriva. [1]	22
Slika 9: Indikator protoka goriva. [1]	22
Slika 10: Indikator temperature goriva. [1]	23
Slika 11: Indikator tlaka goriva. [1].....	23
Slika 12: Indikator promijene ventila spremnika goriva. [1].....	23
Slika 13: Prikaz punjenja motora gorivo putem slobodnog pada. [1]	25
Slika 14: Gorivni sustav jednomotornog manjeg zrakoplova. [6]	27
Slika 15: Gorivni sustav dvomotornog manjeg zrakoplova. [6]	29
Slika 16: Spremnici goriva zrakoplova Airbus A320. [9]	32
Slika 17: Prikaz ploče koja se skine kako bi se gorivom moglo manevrirati. [8].....	35
Slika 18: Prikaz spojeva za punjenje/pražnjenje goriva. [8].....	35
Slika 19: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva prije leta. [9].....	38
Slika 20: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva tijekom leta. [9]	38
Slika 21: Prikaz pojednostavljene formule za praćenje mase goriva nakon leta. [9].....	39
Slika 22: Prikaz RASG regija. [12]	45
Slika 23: Tablični prikaz američke kategorizacije uzroka zrakoplovnih nesreća. [24]	48
Slika 24: Zastupljenost nesreća po uzrocima (USA). [14].....	49
Slika 25: Prikaz putanje leta zrakoplova Avianica Flight 52. [31]	59
Slika 26: Olupine zrakoplova Avianica Flight 52. [31].....	59
Slika 27: Prikaz uzrokovnog spoja nesreće leta Air Transat Flight 236. [30]	63
Slika 28: Puknuta gorivna cijev gorivnog sustava leta Air Transat Flight 236. [30].....	63

Slika 29: Prikaz putanje leta British Airways Flight 38. [19]	65
Slika 30: Ostaci zrakoplova leta British Airways Flight 38 na stazi. [21]	66
Slika 31: Trag ostavljen uslijed slijetanja zrakoplova leta British Airways Flight 38. [21]	66
Slika 32: Gimli Glider. [27]	67
Slika 33: Prikaz visine stražnjih tobogana u odnosu na stazu. [29]	70
Slika 34: Shematski prikaz Venturijeve cijevi. [38].....	72

Popis Grafova

Graf 1: Broj SR-ova zaprimljenih sa strane ICAO-a u razdoblju 2013 –2017.[12].....	43
Graf 2: Prikaz stope nesreća u odnosu na milijunu polazaka u proteklih 5 godina. [12]	44
Graf 3: Analiza temeljena na kategorizaciji. [12].....	46
Graf 4: Prikaz broj poginulih osoba tijekom godina. [24].....	48
Graf 5: Uzrok nesreća gorivnog sustava u razdoblju od 2011-2015.....	48
Graf 6: Postotak sudjelovanja u nesrećama uzrokovanih gorivnim sustavom prema kategoriji pilota.....	49
Graf 7: Prognoza povećanja prometa. [32].....	76

Popis Tablica

Tablica 1: Osnovne razlike karakteristika zrakoplova Airbus A320ceo i Airbus A320neo.	40
Tablica 2: Podaci po RASG regijama za 2017. [12].....	45
Tablica 3: Kategorizacija uzoraka zrakoplovnih nesreća. [12].....	46
Tablica 4: Tablični prikaz svih informacija za let East Coast Flight 3101.	51
Tablica 5: Tablični prikaz svih informacija za let Cathay Pacific Flight 780.....	52
Tablica 6: Tablični prikaz svih informacija za let Avianica Flight 52.....	54
Tablica 7: Tablični prikaz svih informacija za let Air Transat Flight 236.....	60
Tablica 8: Tablični prikaz svih informacija za let British Airways Flight 38.....	63
Tablica 9: Tablični prikaz svih informacija za let Air Canada Flight 143.	67
Tablica 10: Tablični prikaz izračuna protoka pri različitim parametrima.....	75



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.

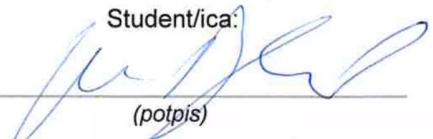
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom _____

Gorivni sustav putničkog zrakoplova kao uzrok zrakoplovnih nezgoda i nesreća

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 5.9.2019 _____

Student/ica:



(potpis)