Goriva i maziva u avijaciji

Božulić, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:188424

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Matej Božulić

Zagreb, veljača 2017.

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Dr. sc. Davor Ljubas

Student:
Matej Božulić

Zagreb, veljača 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matej Božulić** Mat. br.: 0035190223

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Goriva i maziva u avijaciji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Aviation fuels and lubricants**

Opis zadatka:

Goriva i maziva koja se danas koriste u avijaciji bitno se razlikuju od uobičajenih, većini dobro poznatih, goriva i maziva za cestovna vozila. Osnovne razlike proizlaze iz bitno drugačijih uvjeta okoliša tijekom izgaranja i podmazivanja, ali i zbog drugačijih zahtjeva motora i sustava za podmazivanje. Goriva i maziva u avijaciji imaju specifičan sastav i za njihovu proizvodnju koriste se specifične tehnologije.

U ovome radu potrebno je:

- objasniti osnovne zahtjeve motora u avijaciji prema gorivima i mazivima,
- prepoznati i objasniti osnovne razlike u zahtjevima motora cestovnih vozila i motora u avijaciji prema gorivima i mazivima,
- definirati i kritički raspraviti o sastavu goriva i maziva u avijaciji i tehnologijama njihove proizvodnje,
- prikazati trenutno važeće strukovne smjernice/norme kojima se regulira sastav goriva i maziva u avijaciji,
- posebno obratiti pažnju na zahtjeve prema gorivima i mazivima u avijaciji za slučajeve skladištenja i odlaganja, uz poseban osvrt na konstrukcijska ograničenja spremnika, materijale izrade te probleme koji se pojavljuju tijekom njihovog održavanja,
- predvidjeti moguće utjecaje na okoliš goriva i maziva u avijaciji u slučajevima nepravilnog skladištenja ili nepravilne primjene.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2016.

Rok predaje rada:
1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:
Izv. prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru dr. sc. Davoru Ljubasu na ukazanoj pomoći, uputama i savjetima tokom izrade završnog rada.

Matej Božulić

Sadržaj:

Sadržaj: I
Popis slika: II
Popis tablica: III
Sažetak IV

1 Uvod 1
2 Troškovi održavanja zrakoplova 3
3 Karakteristike zrakoplovnih motora 8
3.1 Turbopunjači 9
3.2 Mlazni motori 11
4 Goriva u avijaciji 14
4.1 Avgas 17
4.2 Mlazna goriva 18
4.3 Goriva za helikoptere 23
5 Maziva u avijaciji 25
5.1 Maziva za klipne motore zrakoplova 29
5.2 Maziva za mlazne motore zrakoplova 33
6 Utjecaj na okoliš goriva i maziva u avijaciji 37
7 Zaključak 39

Popis slika:

Slika 1: Troškovi u životnom vijeku zrakoplova [2, p. 31] (RTD&E - Istraživanje, ispitivanje, razvoj i evaluacija ; engl. Research, Testing, Development and Evaluation) 4
Slika 2: Troškovi održavanja u ovisnosti o prijeđenoj udaljenosti [1, p. 28] 5
Slika 3: Izgled turbopunjača 9
Slika 4: Shematski prikaz turboventilacijskog motora [10] 12
Slika 5: Shematski prikaz rasporeda spremnika za gorivo u krilu zrakoplova [9, p. 92] 19
Slika 6: Shematski prikaz iskorištavanja goriva u mlaznim zrakoplovima [9] 21
Slika 7: Promjena stanja viskoznosti količinom toka [21] 26
Slika 8: Shematski prikaz sustava za podmazivanje klipnih motora zrakoplova [23] 30
Slika 9: 2-etil heksanol 34
Slika 10: Trikrezil fosfat, TCP [21] 35

Popis tablica:

Tablica 1: Uobičajeni troškovi održavanja zrakoplova prema BHDOC 6
Tablica 2: Uobičajena učestalost kontrole zrakoplova 7
Tablica 3: Usporedba karakteristika Jet-A1 i Jet-A goriva 22

Sažetak

Goriva i maziva koja se upotrebljavaju u avijaciji zahtijevaju posebne standarde kvalitete i posebne karakteristike kako bi učinkovito zadovoljili potrebe modernih letjelica u pogledu postojanosti i učinkovite iskoristivosti, ali i kako bi kvalitetno odgovorila na izazove specifičnih atmosferskih i fizikalnih okolnosti vezanih za zračni promet. U ovome radu predstavljene su najčešće korištene vrste goriva i maziva, pri čemu se proučavaju njihove karakteristike te prednosti koje imaju pred drugim vrstama goriva i maziva kao i njihovu primjenu ovisno o modelima motora letjelica. Također se u sklopu rada prikazuje utjecaj na okoliš goriva i maziva u avijaciji te samim time utjecaj na okoliš općenito avijacije, a proučavaju se i troškovi održavanja zrakoplova koji su posebno važni stoga što se nastoji što manjim intervencijama u sami zrakoplov smanjiti trošak održavanja i samim time se pojavljuje potreba za dugotrajno postojanim mazivima.

Ključne riječi: goriva, maziva, avijacija, rafiniranje nafte, utjecaj na okoliš

Summary

Aviation fuels and lubricants that require to meet special standards of quality and special features to effectively fulfil the needs of modern aircrafts in terms of stability and efficient utilization, but also to well respond on the challenges of specific atmospheric and physical conditions related to air transport. This study presents the most commonly used types of fuels and lubricants, where the focus is pointed to their characteristics and advantages over other types of fuels and lubricants as well as their application depending on the model of engine. Study also examines environmental impact of fuels and lubricants in aviation and therefore the impact on the environment in general aviation, as well as question of maintenance costs of aircraft which is particularly important because modern companies are seeking the lowest possible interventions in their own aircraft to reduce the cost of maintenance and thus there is a need for long-term stable lubricants.

Keywords: fuels, lubricants, aviation, oil producing, environmental impact

1 Uvod

Kako bi se bilo koji stroj mogao pokretati, pa tako i zrakoplovni motor, potrebno je osigurati prikladno gorivo koje će pokrenuti taj stroj i ostvariti prikladni radni takt koji je potreban za uspješno obavljanje rada toga stroja. Stoga se metaforički može reći kako su goriva zapravo svojevrsna „hrana“ motora i strojeva, ona ih pokreću i omogućavaju neometan i produktivan rad. Maziva s druge strane predstavljaju tvari koje se koriste kako bi se smanjilo trenje, oštećenje i drugi neželjeni postupci prilikom rada motora ili strojeva, posebice uslijed utjecaja trenja i međusobnog djelovanja dijelova strojeva. Drugim riječima, maziva predstavljaju sredstva koja se postavljaju između površina koje se dodiruju i koje su u međusobnom relativnom gibanju te prema tome omogućavaju ublažavanje negativnog učinka trenja dijelova u dodiru.

Goriva i maziva koja imaju svoju primjenu u avijaciji uvelike se razlikuju od uobičajenih goriva i maziva koje imaju svoju primjenu u kopnenom ili vodnom prometu te sa kojima se susreće većina pojedinaca u svakodnevnom životu prilikom brige za svoje osobno vozilo. Različite karakteristike zračnog prometa kao i različiti uvjeti koji vladaju kako u zraku tako i na tlu prilikom polijetanja i slijetanja utječu na primjenu različitih goriva i maziva kod letjelica u avijaciji.

U ovome radu se objašnjavaju temeljna načela rada motora u avijaciji samo u toj mjeri koja je potrebna kako bi se prikazali osnovni zahtjevi prema gorivima i mazivima, ali isto tako kako bi se temeljem njihovih konstrukcija prikazale razlike u odnosu na goriva i maziva koja se upotrebljavaju u npr. cestovnom prometu. Također se prikazuju i temeljne vrste goriva i maziva koje su u primjeni u avijaciji, ovisno o vrsti motora koji se koristi na pojedinim letjelicama i njihov značaj kao i ograničenja ovisno o njihovim karakteristikama.

Pri tome se prikazuju strukturna ograničenja kako tvari tako i mehaničkih izvedbi postavljanja goriva i maziva u letjelice te mogućnosti koje se nude za upravljanje sustavima goriva i maziva. Pozornost se također stavlja na specifične atmosferske i fizikalne uvjete u avijaciji koji znatno utječu na performanse i odabir karakteristika goriva i maziva u avijaciji.

Pri pisanju rada korišteni su različiti izvori literature na hrvatskom i engleskom jeziku pri čemu je naglasak stavljen na novije izvore kako bi se vjernije prikazali suvremeni trendovi u

avijaciji te kako bi se prepoznala kretanja u području avijacije koja će dominirati u budućnosti u pogledu primjene goriva i maziva, kao što je primjerice primjena biodizela, zatim pitanje zaštite okoliša i slično.

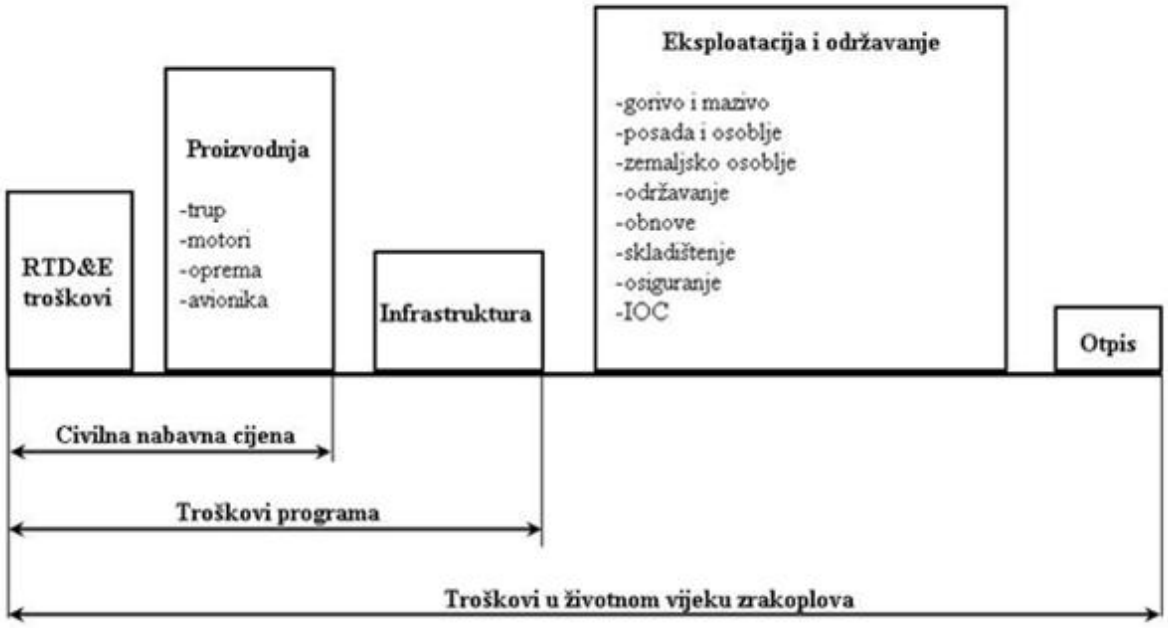
2 Troškovi održavanja zrakoplova

Temeljna tendencija u modernom zrakoplovstvu jest smanjenje troškova te smanjenje zagađenja okoliša, posebice uslijed sve veće konkurencije u području zrakoplovnih prijevoznika, prije svega u civilnom zrakoplovstvu. Upravo stoga je temeljna postavka promatranja zrakoplovnih goriva i maziva pregled cjelokupne potrošnje zrakoplova i troškovi održavanja zrakoplova. Zrakoplovi tijekom svojeg životnog vijeka imaju povišene troškove održavanja prije svega iz sigurnosnih uvjeta. Oni uključuju sve troškove nadzora, provjera, rutinskih promjena i obnova na zrakoplovu kao i sve troškove specijalizirane infrastrukture koju je zračni prijevoznik primoran izgraditi ili unajmiti za očuvanje zrakoplova ili za njegovo sigurno korištenje.

U troškove eksploatacije i održavanja zrakoplova ubrajamo troškove goriva i maziva, posade i kabinskog osoblja, zemaljskog osoblja, održavanja, obnove, skladištenja, osiguranja, itd. Ovi troškovi su najveći jer se kontinuirano ponavljaju (održavanje) kako bi se osigurala sigurnost zrakoplova [1, p. 19]. Troškovi održavanja zrakoplova moraju se planirati već pri samoj nabavci zrakoplova, jer nabavka zrakoplova čije je održavanje jeftinije i jednostavnije kasnije će se mnogostruko isplatiti. Jeftini zrakoplovi po proizvodnoj cijeni najčešće izazivaju velike troškove održavanja što može kasnije negativno djelovati na poslovanje. Također je isplativo za male tvrtke nabavljati zrakoplove koji su veoma često u upotrebi, jer su za njih već standardizirani optimalni i najjeftiniji načini održavanja i rutinski pregledi.

Na kraju eksploatacije zrakoplova javljaju se troškovi otpisa koji su ujedno i najmanji troškovi u eksploataciji. Obuhvaćaju skupljanje potrebne dokumentacije za brisanje zrakoplova iz registra [2, p. 35].

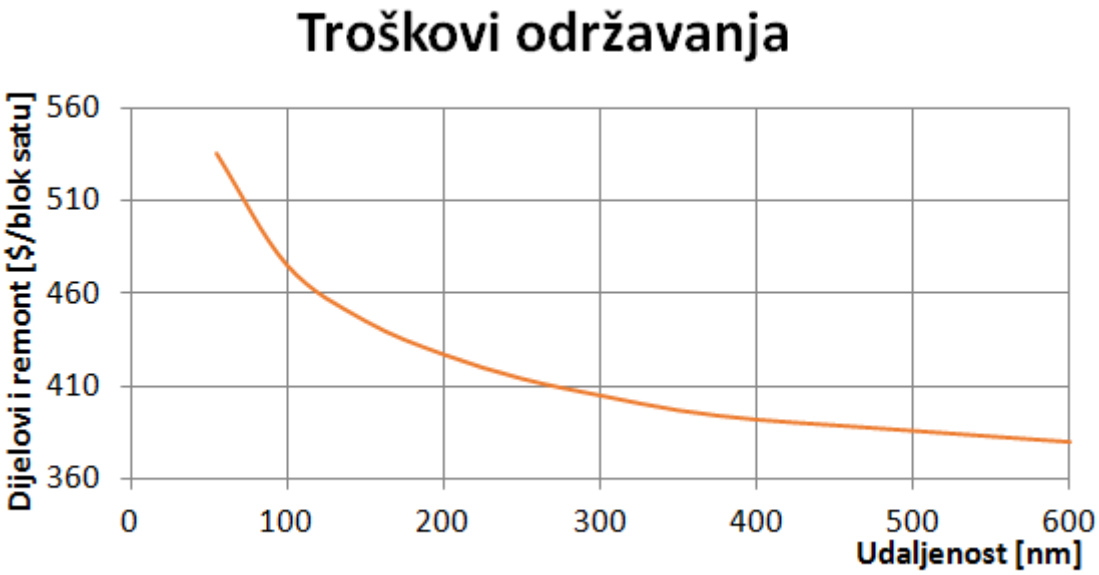
Slika 1 prikazuje kako su zapravo troškovi održavanja zrakoplova (koji su povezani i sa troškovima eksploatacije samoga zrakoplova) najvažniji troškovi povezani sa zrakoplovom tijekom njegovog životnog vijeka.



Slika 1: Troškovi u životnom vijeku zrakoplova [2, p. 31] (RTD&E - Istraživanje, ispitivanje, razvoj i evaluacija ; engl. Research, Testing, Development and Evaluation)

Pod troškom održavanja podrazumijevaju se troškovi koji otpadaju na dijelove i na remont i sve ostalo što je povezano s održavanjem. Troškovi održavanja po blok satu[1] se smanjuju s prijeđenom udaljenošću (slika 2).

[1] Blok sati predstavljaju industrijski standard za određivanje utrošenog vremena u avijaciji. Predstavljaju vrijeme od zatvaranja vrata prilikom polijetanja do otvaranja vrata nakon slijetanja.



Slika 2: Troškovi održavanja u ovisnosti o prijeđenoj udaljenosti [1, p. 28]

Troškovi održavanja za zrakoplov i njegove motore variraju s godinama. Kada su zrakoplovi novi, troškovi povezani s konstrukcijom zrakoplova su relativno niski i stalno rastu sukladno s upotrebom zrakoplova, dok je još uvijek pod jamstvom proizvođača. Nakon pet godina zrakoplov ima stalan, predvidiv trošak održavanja, koji počinje ponovno rasti nakon oko 15 godina, zbog potrebe obnavljanja konstrukcije zrakoplova i komponenti.

Ugovori o održavanju koje sklapaju avioprijevoznici te tvrtke specijalizirane za održavanje nude metodu usklađivanja velikih troškova i izdataka koji se mogu javiti nakon dužeg vremena, čime je planiranje financiranja održavanja predvidljivije i učinkovito unutar manjeg proračuna. Power-by-the-hour (PBTH) ili cijena po satu letenja (CPFH) su ugovori za održavanje od strane proizvođača i MRO tvrtki, koji čine većinu ugovora o održavanju zrakoplova. Primjeri uključuju Rolls Royce 'TotalCare' i General Electric 'OnPoint' Engine pakete, plus paket 'GoldCare' novoporinutog Boeing B787. U biti, PBTH ugovori navode ugovorenu po satu leta određenu cijenu za održavanje konstrukcije zrakoplova ili motora za predviđenu uporabu, temeljenu na omjeru sati leta do određenog ciklusa. Operater će platiti više, ako je premašen prag dogovorenog korištenja (iako to može biti apsorbirano u cijeloj floti ako drugi zrakoplov bude po broju sati malo ispod predviđene iskoristivosti zrakoplova), dok će davatelj uzdržavanja apsorbirati rizik od neočekivanih dodatnih troškova uslijed nenormalnog trošenja [3, p. 5].

Redovito održavanje je potrebno kako bi se održala struktura zrakoplova, sustavi i komponente u uporabnom stanju te kako bi se osigurala njegova sigurnost. Elementi održavanja se mogu grupirati kao [3, p. 3]:

- konstrukcija zračne letjelice
- motor i APU
- komponente i rotacijski dijelovi

Sljedeća tablica prikazuje troškove održavanja zrakoplova te načine izračuna cijena troškova održavanja ovisno o tome koliko su kilometara zrakoplovi prošli te ovisno o njihovom stanju. Troškovi su grupirani u tri najčešće skupine, kako su određeni prema BHDOC[2] standardu.

Tablica 1: Uobičajeni troškovi održavanja zrakoplova prema BHDOC

Zrakoplov	BHDOC			Propozicije popravaka	Cijena popravaka
	nisko	srednje	visoko		osnovna
B737-300	2 540	4 950	6 250	x15% =	743
B737-400	2 950	5 280	6 530		792
B737-500	2 540	4 550	5 630		683
B737-800	2 130	4 040	5 950		606
B757-200	3 330	5 960	7 380		894
B767-300ER[(a)]	4 090	7 590	11 080		1 139
B747-400[(a)]	8 430	10 730	11 970		1 610
A319	2 670	5 240	6 630		786
A320	2 720	4 790	6 860		719
A321	3 180	5 690	7 040		854
ATR42-300	1 400	2 510	3 100		377
ATR72-200	1 730	3 100	3 830		465

Izvor: [3, p. 4]

[2] block-hour direct operating cost – izravni troškovi rada za blok sate

Troškovi zrakoplova također ovise i o učestalosti kontrole zrakoplova. Sljedeća tablica prikazuje učestalost kontrole zrakoplova prema programu Eurocontrol Care III INO koji se uglavnom provodi na području Europske Unije:

Tablica 2: Uobičajena učestalost kontrole zrakoplova

Zrakoplov	'A' Check	'B' Check	'C' Check	'D' Check
B737-300	275 sati leta	825 sati	18 mjeseci	48 mjeseci
B737-400	275 sati leta	825 sati	18 mjeseci	48 mjeseci
B737-500	275 sati leta	825 sati	18 mjeseci	48 mjeseci
B737-800	500 sati leta	n/a	4000-6000 sati leta	96-144 mjeseci
B757-200	500-600 sati leta	n/a	18 mjeseci	72 mjeseci
B767-	600 sati leta	n/a	18 mjeseci	72 mjeseci
B747-400	600 sati leta	n/a	18 mjeseci	72 mjeseci
A319	600 sati leta	n/a	18-20 mjeseci	72 mjeseci
A320	600 sati leta	n/a	18-20 mjeseci	72 mjeseci
A321	600 sati leta	n/a	18-20 mjeseci	72 mjeseci
ATR42-300	300-500 sati leta	n/a	3000-4000 sati leta	96 mjeseci
ATR72-200	300-500 sati leta	n/a	3000-4000 sati leta	96 mjeseci

Izvor [3, p. 4]

Ipak, značajan izvor troškova zrakoplova su i goriva te maziva. Troškovi goriva predstavljaju jedan od najvećih troškova za zrakoplovne prijevoznike i zrakoplovnu industriju uopće. U prosjeku, troškovi za gorivo čine 29% svih poslovnih rashoda i 27% od ukupnog prihoda u zrakoplovnoj industriji. Budući da su troškovi goriva po galonu pali za 6,4% u 2014. godini, od 2014. godine na dalje moguća su daljnja smanjenja troškova operativnosti zrakoplovnih prijevoznika što se odrazilo na povećanje broja niskotarifnih letova. Međutim, ušteda goriva obično se ne ostvaruje u istome trenutku, jer zračni prijevoznici često prijave terminske ugovore o kupnji kako bi popravili cijene goriva nekoliko godina unaprijed, pa su stoga određeni prijevoznici i dalje vezani za cijene goriva od razdoblja prije smanjenja cijena istih.

3 Karakteristike zrakoplovnih motora

Razvoj zrakoplovnih motora prije svega je baziran na razvoju propulzije, sile koja omogućava pri velikoj brzini podizanje zrakoplova sa zemlje te njegovo zadržavanje u zraku tijekom leta kao i sigurno i uspješno spuštanje na zemlju prilikom slijetanja. Iako je propulzija bila poznata kroz povijest iz prirode, primjerice na sličan način polijeću ptice, bilo je jasno već u vrijeme renesanse kako pokretanje pomoću ljudskih mišića nije dovoljno za postizanje takvog pothvata. Industrijalizacijom, razvijani su parni strojevi, ali i oni su se pokazali iznimno nekompetentnima za takav pothvat, kao ni rani modeli plinskih motora iz devetnaestog stoljeća. Do prekretnice dolazi krajem devetnaestog stoljeća kada je izumljen četverotaktni benzinski motor. Takav je motor prvi puta konstruiran 1885. godine, od strane Gottlieba Daimlera i Karla Benza. Navedeni motor pokazao je kako bi mogao poslužiti kao temelj za zrakoplovni motor i omogućiti propulziju, no velika težina motora i dalje je onemogućavala istu. Braća Wright došli su na ideju kako bi se promjenom materijala mogle poboljšati performanse motora pa su angažirali mehaničara Charlesa Edwarda Taylora koji je konstruirao četverotaktni benzinski motor od aluminija, koji je hlađen pomoću vode. Motor je razvijao 12 KS [4].

Treba međutim napomenuti kako su zrakoplovni motori među najzahtjevnijim sustavima u zrakoplovu te među najsloženijim motorima koji koriste benzinska goriva uopće. Oni se razlikuju od motora koji su namijenjeni za pokretanje kopnenih vozila prije svega po svojoj kompleksnosti te prema dodatnim zahtjevima koji uključuju:

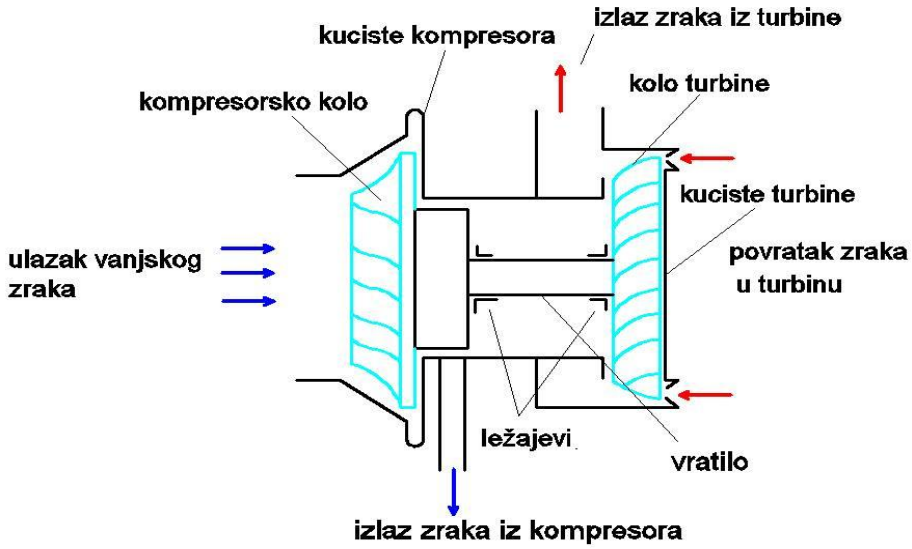
- Potreba za visokom razinom pouzdanosti
- Prilagođenost daleko ekstremnijim uvjetima rada, primjerice pitanje temperature zraka, tlaka zraka, brzine kretanja i postizanja ubrzanja
- Minimalna masa te što je moguće veći omjer mase i težine kako bi se poboljšala nosivost zrakoplova i učinak krstarenja zrakom
- male dimenzije
- jednostavnost i što manji troškovi održavanja
- veoma visoka učinkovitost
- minimalna emisija stakleničkih plinova kako bi se što je moguće manje onečišćivao okoliš

S ovim su se izazovima proizvođači zrakoplovnih motora susretali od samog početka letenja, a navedeni su se izazovi zadržali kao kritične značajke zrakoplovnih motora i goriva koja se koriste za motore sve do danas. Stoga je razvoj motora sa turbopunjačima, a kasnije i mlaznih motora bio korak koji je omogućio ostvarivanje performansi takvih zrakoplova.

3.1 Turbopunjači

Značajan razvoj motora zrakoplova zbiva se nakon prvog svjetskog rata pojavom turbopunjača. Prvi turbopunjač pojavio se 1920 godine, a izumio ga je Švicarac Alfred Buchi. Prve aplikacije toga motora koristile su se u vlakovima te nešto kasnije u avionima.

Kako bi postiglao zadovoljavajuću kompresiju, turbopunjač upotrebljava ispušne plinove motora kako bi zavrtio svoju turbinu koja opet ubrzava unos zraka. Turbina turbopunjača obično se vrti od 100 do 150 tisuća okretaja u minuti, a kako je direktno povezana na ispušnu granu motora temperature na kojima turbina radi vrlo su visoke. Povećanje snage koju daje motor postiže se povećanjem količine zraka i goriva koje motor može sagorjeti [5]. To se može postići povećanjem zapremine cilindara ili dodavanjem cilindara. Ukoliko takav način nije moguć ili isplativ, turbopunjač je jednostavnije i kompaktnije rješenje.



Slika 3: Izgled turbopunjača

S lijeve strane je kompresor koji tlači zrak, a s desne strane je turbina koja pomoću ispušnih plinova pokreće kompresor pomoću osovine koja ih povezuje.

Pomoću turbopunjača motor sagorijeva više goriva i zraka na takav način da u postojeću zapreminu motora sabijanjem ubacuje više goriva i zraka. Mjera za stlačenost je u barima (metrički sistem) ili psi (kolonijalni sistem - funte po kvadratnom inču). Pri tome je 1 bar = 14,503 psi, tj. 1 psi = 0.06895 bar.

Tipičan pritisak turbine je obično oko 6-8 psi tj. oko 0,5 bar što znači da se u motor ubacuje 50% više zraka (1 bar je približno normalan tlak, a kada se doda 0,5 bara tlaka pomoću turbine dobije se 1,5 bar tj. 50% povećanja tlaka). Za očekivati je da će i snaga skočiti za 50%, međutim sustav nije 100% efikasan tako da su povećanja snage u okviru 30 – 40% u ovisnosti o konstrukciji. Dio neefikasnosti potiče od toga što zrak koji pokreće turbinu nije „besplatan“, tj. zrak koji turbina posuđuje iz ispušne grane motora ima svoju cijenu. Cijena je da motor mora uložiti više energije da izbaci zrak s obzirom da na izlazu postoji otpor okretanja turbine koji taj ispušni plin mora savladati [5, p. 45].

Turbopunjač koristi energiju ispušnih plinova, da bi postigao veći tlak zraka u usisu. Ispušni plinovi koji izlaze iz motora imaju visoku temperaturu, ali i veliku brzinu. Kod ranih zrakoplovnih turbopunjača nema većih razlika kod izgaranja od izgaranja koja su prisutna kod klipnih motora automobila. Kako bi se omogućile ipak bolje performanse, koristila se posebno rafinirana kombinacija benzina, sa svojim osnovnim dodacima. Zahtjevi sustava zrakoplova gorivom prilagođeni su visokoj viskoznosti i značaju točke zamrzavanja goriva. Stoga se i razvijaju turbopunjači motora na granicama svojih performansi koji su svojim sposobnostima omogućili ne samo vraćanje plina u pogon već i zagrijavanje goriva u spremnicima zrakoplova [6, p. 16].

3.2 Mlazni motori

Mlazni motori prvi puta se pojavljuju pred drugi svjetski rat, pri čemu je model Heinkel HE 178 označen kao prvi zrakoplov pogonjen mlaznim motorom iz 1938. godine te se nastavlja na prve turboventilatorske motore kreirane od strane Arkhipa Lyulke 1939. i Daimler-Benza 1939.- 1943. godine. Napredak je očigledan u svim vrstama pogonskih grupa [7, p. 12]. Prema tome, mlazni pogon predstavlja nadogradnju na postojeće motore s turbopunjačem i svojevrsna je evolucija razvoja motora.

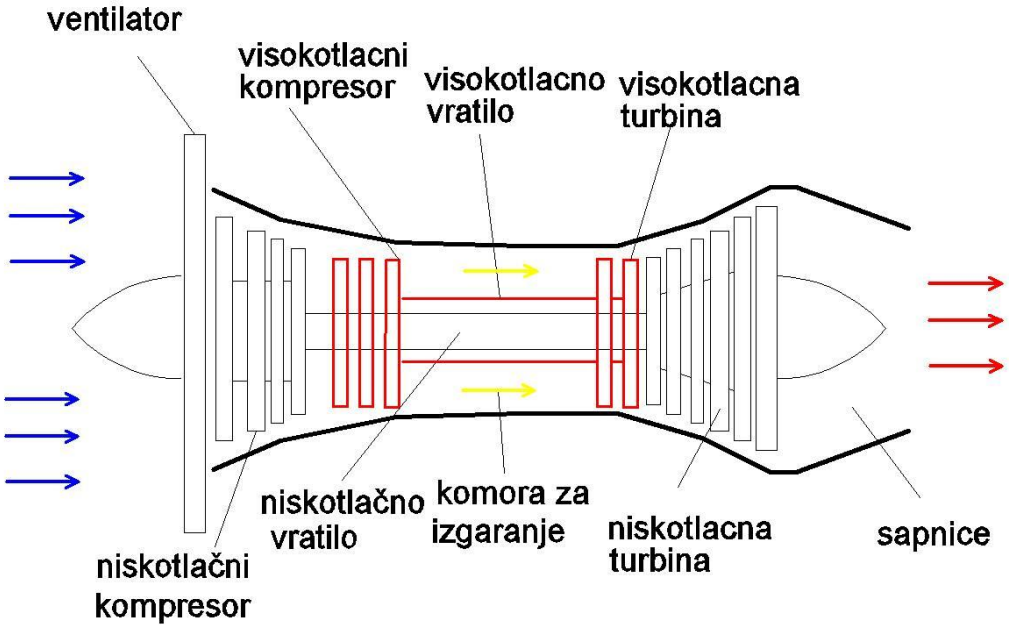
Mlazni se motori temelje na principu stvaranja potiska kod motora pri čemu osnovna zamisao proizlazi iz trećeg Newtonovog zakona: zrak koji se dovodi pod veoma visokim tlakom dolazi u komoru izgaranja pri čemu se pomiješa sa gorivom. Izgaranjem dolazi do povećanja tlaka koji potom plinove velikom brzinom izbacuje iz komore izgaranja kroz mlaznicu pri čemu dolazi do snažnog strujanja zraka na stražnjoj strani motora. Navedeno se strujanje zraka kreće velikim brzinama u odnosu na okolišni zrak pa stoga dovodi do reakcije potiskivanja cijelog zrakoplova prema naprijed, nalik na ispuhani balon. Ideja mlaznog pogona dolazi iz prirode. Na sličan se način kreću mekušci u moru, posebice lignje i sipe.

Danas se u primjeni pojavljuju različiti oblici mlaznih motora, ovisno o potrebama u avijaciji. Učinkovitost mlaznog motora prvenstveno ovisi o tlaku pod kojim se zbiva kompresija, odnosno omjeru tlakova do kojih dolazi na ulazu kao i na izlazu iz kompresora, ali jednako tako i o temperaturi plinova na izlazu iz komore izgaranja. S obzirom da se za putničke zrakoplove upotrebljavaju ekonomični motori naglasak je stavljen na manjoj potrošnji goriva, pa se stoga najčešće koriste ekonomični motori poput dvoprotočnog turboventilatorskog motora. S druge strane letjelice kojima je potreban značajan potisak i postizanje velike brzine koriste raketni i nabojno-mlazni motor. Zajednička osobina svim mlaznim motorima jest korištenje zraka iz atmosfere izuzev raketnog motora, koji nosi kisik i gorivo.

Najstariji oblici mlaznih motora su turbomlazni motori. Oni su zamijenili u sporijim zrakoplovima turbopunjače jer imaju bolji raspon specifične potrošnje goriva. U srednjim okretajima, gdje propeler više nije učinkovit, turbopunjači su zamijenjeni turbofenovima, novijim modelom mlaznih motora. Potisak je tiši i ima bolji raspon specifične potrošnje goriva. Turbomlazni motori su još uvijek uobičajeni u industriji naoružanja, kod raketa

srednjeg dometa, zbog njihove visoke ispušne brzine, malog frontalnog područja, te relativne jednostavnosti [8, p. 190].

Turbofenovi odnosno turbo-ventilacijski motori su danas najčešće korišteni motori u civilnoj avijaciji te su konstruirani na temeljima turbo-mlaznog motora pa su im stoga i prema građi veoma slični. Radi se o dvoprotočnim motorima, pri čijem radu dio zraka ulazi u jezgru motora, a drugi dio obilazi jezgru te nastavlja u atmosferu ili ulazi u pozadinski prostor za turbinom gdje se miješa s ispušnim plinovima neposredno pred ulazak u mlaznicu. Kod ovog oblika motora potisak ne dolazi samo iz jezgre motora već i od bypass[3] strujanja odnosno ventilatora. Turbo-ventilacijski motor prikazan je na slici 4:



Slika 4: Shematski prikaz turboventilacijskog motora [10]

[3] Omjer količine zraka koji prolazi izvan jezgre motora u odnosu na količinu zraka kroz jezgru motora

Moderni putnički zrakoplovi koriste visoki bypass-omjer (HBPR) kod motora s odvojenim tokom, bez miješanja, te kratki kanal pri ispušnim sustavima. Ovi pogonski sustavi su poznati po tome što stvaraju veoma veliku razinu buke zbog visoke brzine, visoke temperature i visokog tlaka u samoj prirodi ispušnog mlaza, osobito u uvjetima visoke potisne snage poput potisnih pritisaka koji su potrebni za polijetanje. Primarni izvor buke jest turbulentno miješanje različitih slojeva zraka i goriva u motoru. Ovi slojevi sadrže nestabilnosti koje dovode do vrlo turbulentnih vrtloga koji stvaraju oscilacije tlaka odgovorne za zvuk. Kako bi se smanjila buka povezana s mlaznim tokom, u zrakoplovnoj industriji se sve više pozornosti usmjerava na razvoj različitih tehnologija kako bi se ometalo veličinu sloja u mjerilu turbulencije i smanjilo ukupnu buku.

4 Goriva u avijaciji

Zbog visine na kojoj zrakoplovi funkcioniraju te zbog specifičnih atmosferskih uvjeta na tim visinama kao i velikih brzina koje postižu zrakoplovi, energija koja se troši u zrakoplovima znatno je veća od drugih prijevoznih sredstava. Vrijednosti nosivosti raspona po litri goriva dosežu samo 0,06 a uglavnom su i manja od 0,01 što je značajno manje od sličnih vrijednosti koje vrijede za autobuse, kamione, automobile, vlakove pa čak i supertankerske brodova. Od avionskih se goriva očekuje da pružaju stalnu i nesmetanu distribuciju motorima zrakoplova, jer ukoliko se zrakoplov nalazi u problemima, on ne može stati sa strane ili parkirati, već mora odraditi svoj let do kraja. Prema tome, zahtjevi za kvalitetom i dalje će biti najvažniji kriterij odabira goriva i načina njegove primjene, unatoč tome što smanjenje cijena značajno utječe na zrakoplovne prijevoznike.

Goriva koja se koriste u suvremenim mlaznim zrakoplovima u pravilu su bezbojne mješavine hlapivih ugljikovodičnih komponenti u rasponu od oko C_5 do C_{12}, ali s prosječnim svojstvima približno jednakog stanja zamišljene molekule $C_{7,3}H_{15,3}$, molarne mase 103 g/mol. Zrakoplovna goriva prema tome sadrže po volumenu oko 65 posto parafina plus nafteni, 25 posto aromata i 10 posto olefina, s minimalnom razinom od 5 posto aromata utvrđenih za 115/145 razinu, kako bi se osiguralo da gorivo dovoljno nabubri prilikom spojenog brtvljenja i rada dijafragme. Avionska goriva vriju u rasponu od 46-145°C, u količini od oko 0,72 kg /l [6, p. 16].

S obzirom na činjenicu kako se pred avionske benzine postavljaju posebni zahtjevi koji proizlaze iz prirode kretanja zrakoplova i helikoptera u zraku, goriva koja se koriste u avijaciji značajno se prema svojim osobinama razlikuju od motornih benzina koji se koriste za napajanje motora raznolikih cestovnih vozila. Pri tome je najvažnija karika zračnog prijevoza sigurnost, jer pojava bilo kakvog nedostatka ili bilo kakve nepravilnosti gotovo redovito istog trena prijeti katastrofom koja ugrožava veliki broj života, pa je stoga daleko značajnije osigurati se od svih nepravilnosti pri radu letjelica nego kod cestovnog vozila. Dapače, veće nepravilnosti mogu biti i fatalne. Čitav niz kompromisa kojima se smanjuje cijena goriva kod automobilske industrije jednostavno u avijaciji nije prihvatljiv s obzirom da je faktor sigurnosti neusporedivo važniji.

Zahtjevi posebne kvalitete dolaze ne samo zbog neophodne razine sigurnosti, nego i zbog posebnosti konstrukcije avionskih motora [11, p. 77]:

- suvremeni avionski motori imaju niže stupnjeve kompresije
- uređaji za napajanje gorivom redovito su bez konvencionalnog rasplinjača – gorivo se uglavnom ubrizgava
- kompresor za povećanje tlaka zraka na usisu i povećanje stupnja punjenja redovita je sastavnica.

Kvaliteta avionskih benzina, kao i mnogih drugih tržnih proizvoda, propisuje se i osigurava minimalnim zahtjevima iskazanim fizikalno-kemijskim i tehnološkim svojstvima kada su ona određena definiranim vrijednostima i normiranim metodama. Kod ove vrste goriva određuje se [11, p. 77]:

- 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.

U ranim vremenima avijacije, kada su korištene obične plinske turbine za postizanje propulzije, nema većih pojava izgaranja koja su identificirana i usporediva s onim izgaranjima prisutnima kod nabijanja u klipnim motorima. To se postiglo zahvaljujući vrlo rafiniranim miješanjem benzina, sa svojim osnovnim dodacima. U stvari, prva reakcija je bila da su plinske turbine, čak i u aero-konfiguraciji, bile relativno neosjetljive na kvalitetu goriva. Međutim, zahtjevi sustava za gorivom kod zrakoplova ne bi prihvatili visoke razine viskoznosti i točke zamrzavanja goriva kod plinskih ulja, te bi potom ograničili daljnji razvoj

plinske turbine na granicama svojih performansi što bi se odrazilo na ograničenje izgaranja vezano uz uobičajene plinske turbine [6, p. 16].

Dramatičan skok u razini primjene zrakoplovne djelatnosti u kasnim tridesetim i četrdesetim godinama dvadesetog stoljeća doveo je do sve većeg broja razreda goriva za zrakoplove, što je u konačnici dovelo do standardizacije na pet razina. American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM) je prepoznao ovu situaciju te je izdao standard D 618 kao standard zrakoplovnih specifikacija za gorivo civilnog zrakoplovstva koji je 1944. godine zamijenjen sa standardom D 910. Međutim, uvođenje mlaznih motora dovelo je do stalnog pada upotrebe količine benzina i smanjen broj razreda goriva tijekom vremena, pa se tako u sedamdesetim godinama pojavljuju samo dva razreda, jedan sa niskim sadržajem olova od 80 te drugi standard sa visokim razinama olova od 100 stupnjeva, koji su ostali u komercijalnoj proizvodnji. Standard niske razine olova (lOOLL) uveden je kasno u tom razdoblju, dopuštajući drugačiju razinu goriva kako bi zadovoljio zahtjeve niskim i visokim oktanskim motorima [9, p. 89].

U današnje vrijeme u primjeni je nekoliko oblika zrakoplovnih goriva [10, p. 15]:

- Avgas (zrakoplovni benzin) se koristi u zrakoplovu u motorima s unutarnjim izgaranjem koji se pale pomoću iskri. Njegova formulacija je različita od mogas (motorni benzin) koji se koristi u automobilima i mnogim vojnim vozilima. Avionski benzin je formuliran za stabilnost, sigurnost i predvidivih je performansi u širokom rasponu okruženja, a obično se koristi u zrakoplovima koji koriste klipne ili Wankel motore.

- Mlazno gorivo je gorivo jasne boje na osnovi bezolovnog kerozina (jet A-1), ili nafta-kerozin smjese (jet B). Sličan je dizelskom gorivu, a može se koristiti bilo u motorima s kompresijskim paljenjem ili u motorima s turbinom.

- Jet-A gorivo pokreće moderne komercijalne zrakoplove i predstavlja mješavinu čistog kerozina i ostataka izgaranja na temperaturi na ili iznad 120 stupnjeva celzijusa. Goriva Jet-A temelje se na kerozinu te imaju daleko veću točku izgaranja od goriva koja se temelje na benzinu pa stoga zahtijevaju znatno veću temperaturu za paljenje. Riječ je o gorivu visoke kvalitete, pa ukoliko ne postigne željenu čistoću i ne zadovolji

druge parametre kvalitete u pravilu se prodaje drugim zemaljskim korisnicima s manje zahtjevnim uvjetima, poput željezničkih motora.

U budućnosti će se vrlo vjerojatno pojaviti i noviji oblici goriva, pri čemu se već sada testiraju biogoriva za zrakoplove putem čega se nastoji zadovoljiti sve većom potrebom za smanjenjem utjecaja na okoliš i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima. Isto tako, sve više se testiraju i električni mlazni motori, no njihova primjena za sada nije ekonomski isplativa.

S obzirom na činjenicu kako je opasnost pod pojave detonacije u avionskim motorima daleko opasnija od pojave detonacije u primjerice automobilskim motorima, posebno je važno posvetiti više pozornosti izboru i kontroli oktanskog broja avionskih benzina za klipne motore. Taj zahtjev usmjerava i tehnološki proces proizvodnje avionskih benzina na neke posebne postupke (alkilacija i izomerizacija iz tekućih plinova kao sirovine). Za klipne avionske motore koriste se benzini s užim područjem vrenja, od 45°C do 160°C, te s većom otpornosti prema detoniranju. Dobivaju se miješanjem kvalitetnih sastavnica povišenog ili visokog oktanskog broja uz dodatak različitih aditiva. Od sastavnica najčešće se koriste primarni benzin, benzin katalitičkog krekiranja i alkilat benzin jer ti benzini imaju veći udio aromata i naftena [13, p. 76].

4.1 Avgas

Avgas gorivo koristi kao glavni sastojak avionski benzin Alkilat, koji je u biti mješavina različitih izooktana. Neke rafinerije također koristite i reformate[4]. Sve razine avgasa koje zadovoljavaju CAN 2-3, 25-M82 imaju gustoću od 0,721 kg/l. Gustoća se povećava na 0,769kg/l na -40 ° C, a smanjuje se za oko 0,1% po porastu temperature od 1 °C [10]. Avgas ima koeficijent emisije (ili faktor) od 2.1994 kg/l ili oko 3,05 jedinica težine proizvedenog CO_2 po jedinici mase goriva. Avionski benzin ima donji i jednolik pritisak pare za razliku od automobilskih benzina, tako da ostaje u tekućem stanju, usprkos smanjenom atmosferskom tlaku na velikim visinama, čime se sprečava zaglavljivanje pare [6].

[4] Reformati nastaju pretvorbom benzina dobivenog atmosferskom destilacijom nafte niskog oktanskoga broja u benzin visokog oktanskoga broja, tzv. reformat-benzin, bitan sastojak motornih benzina s udjelom većim od 30%. To je jedan od najvažnijih i najzastupljenijih rafinerijskih procesa kojim se mijenja kemijski sastav sirovine, s tim da se znatno povećavaju udjeli visokooktanskih sastojaka.

Danas se koriste pojedine smjese koje su došle u upotrebu još kod prvog upotrebljavanja ovog goriva tijekom 1940. godine, te se prvenstveno primjenjuju u zrakoplovima vojne namjene s visokim razinama prednabijanja motora; osobito Rolls-Royce Merlin motora koji se koristi u Spitfire i Hurricane lovačkim zrakoplovima, ali isto tako i Mosquito lovac-bombarderima i Lancaster teškim bombarderima (Merlin II i novije verzije koriste 100-oktansko gorivo), kao i Allison V-1710 motori, te brojni radijalni motori Pratt & Whitney, Wright, i drugi proizvođači s obje strane Atlantika. Visoki oktanski broj postižu dodavanjem tetraetil-olova, vrlo toksičnog spoja koji je uklonjen iz automobilske upotrebe u većini zemalja u kasnom dvadesetom stoljeću. [11, p. 18]

Avgas je trenutno dostupan u nekoliko razreda s različitim razinama maksimalne koncentracije olova. Zbog tetraetil-olova je skup i zagađuje okoliš. Povijesno gledano, poslije Drugog svjetskog rata razvio se nisko-potrošni četiri ili šest cilindrični klip motora zrakoplova koji je dizajniran za korištenje olovnih goriva. Prikladna primjena bezolovnih zamjena goriva još nije razvijena i certificirana za većinu tih motora. Od 2013. godine, brojni certificirani zrakoplovi koji koriste klipni motor zahtijevaju visoko-oktansko (olovno) gorivo.

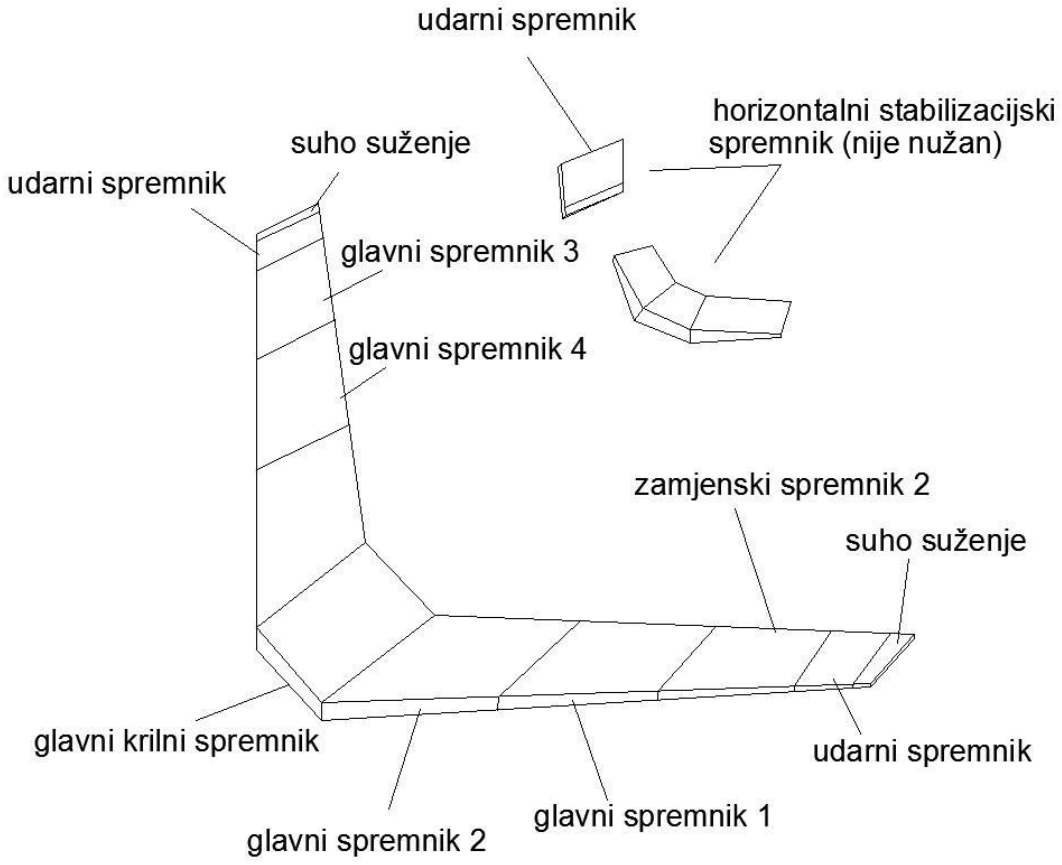
4.2 Mlazna goriva

Jetfuel odnosno mlazno gorivo (ATF), ili avtur, je vrsta zrakoplovnog goriva dizajnirana za upotrebu u zrakoplovima koje pokreću plinske turbine motora. To su jasnobojna goriva, varijacije od potpuno prozirnih do boje slame u izgledu. Najčešće korišteni oblik mlaznog goriva za komercijalne avijacije su Jet A i Jet A-1, koji se proizvode po standardiziranim međunarodnim specifikacijama. Osim toga, u civilnom zrakoplovstvu često je u upotrebi i Jet B gorivo, koje se koristi za poboljšanu izvedbu tijekom velikih hladnoća.

Mlazno gorivo je mješavina velikog broja različitih ugljikovodika. Raspon njihove veličine (molekularne težine ili broj ugljikovih atoma) je definiran zahtjevima za proizvod, kao što su točke smrzavanja ili dima. Kerozin tip mlazno gorivo (uključujući Jet A i Jet A-1) ima razdiobu atoma ugljika između 8 i 16 (ugljikovih atoma u molekuli); Naftni tip mlazno gorivo (uključujući Jet B), između oko 5 i 15 [6, p. 32].

Većina mlaznog goriva u uporabi od kraja Drugog svjetskog rata su goriva na kerozin bazi. Britanski i američki standardi za mlazna goriva postavljeni su krajem Drugog svjetskog rata. Britanski standardi izvedeni su iz standarda za kerozin korišten za svjetiljke poznat kao petrolej u Velikoj Britaniji, dok je američkim standardima koji su izvedeni iz zrakoplovstva temelj benzin. Tijekom narednih godina, pojedinosti o specifikacijama su prilagođavane, kao što su minimalne točke smrzavanja, uravnoteženi zahtjevi izvedbe i dostupnost goriva. Ledište kod niske temperature smanjuje dostupnost goriva. Višu točku paljenja potrebno je osigurati za korištenje na nosačima zrakoplova [10]. U Sjedinjenim Američkim Državama, ASTM International proizvodi standarde za civilne vrste goriva i SAD Department of Defense stvara standarde za vojnu uporabu.

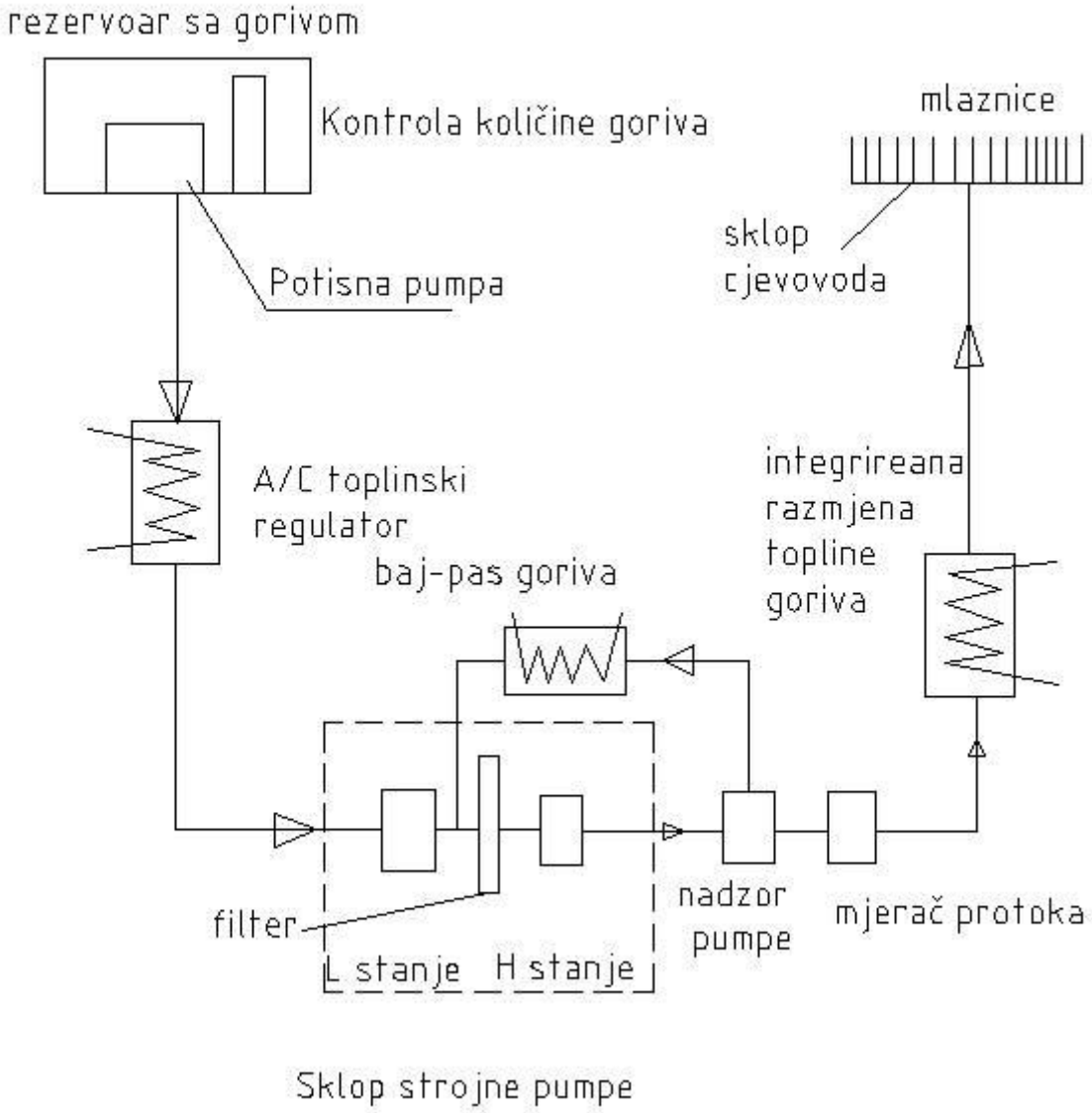
Gorivo se prenosi u pravilu u konstrukciji krila, gdje su metalni spojevi zapečaćeni sa elastomerima i cijele unutarnje površine su obložene epoksidnom bojom za sprečavanje korozije. Gumene torbe se uglavnom ne koriste za skladištenje goriva [9, p. 92]. Na slici 4. prikazani su rezervoari za gorivo i njihov raspored u krilu aviona:



Slika 5: Shematski prikaz rasporeda spremnika za gorivo u krilu zrakoplova [9, p. 92]

Prilikom polijetanja, svaki motor isporučuje gorivo iz vlastitog spremnika. Nakon polijetanja, gorivo se uzima selektivno iz spremnika krila na središnjoj strani pri čemu se nadzire naprezanje krila. Prilikom leta motor se pokreće okretanjem kompresora na čijem ulazu struji zrak i tako stvara pomicanje. Kada je protok zraka dovoljan za početak izgaranja, gorivo se ubrizgava i smjesa goriva i zraka se zapali. Motor zatim ubrzava svoj rad pod vlastitom snagom sve dok ne postigne stanje uobičajene radne brzine. Maksimalna snaga na polijetanju ograničena je količinom goriva koje motor zahtijeva ili ograničenjima temperature turbine kod usisa. Snaga polijetanja se smanjuje kako se zrakoplov penje i dodatno je smanjena kada se postigne visina za krstarenje kako bi se smanjila potrošnja goriva. Na kraju krstarenja, napajanje gorivom je dodatno smanjeno kako bi zrakoplov usporio za slijetanje. Kako je toplina gotovo stalna, a protok goriva je blizu minimuma, slijetanje predstavlja dio leta pri kojem se stvara najviše temperature od goriva [9, p. 94].

Iz rezervoara, gorivo se ubrizgava u motoru primjenom visokotlačne pumpe. Pumpa motora obično stvara pritisak goriva u dvije faze, u prvom stupnju putem centrifugalne pumpe i u drugoj fazi putem zupčaste pumpe pri čemu može isporučiti goriva pri tlakovima do 9652.66 kPa. Kontrola goriva, predstavlja najvažniji segment sustava za gorivo, pri čemu se određuju odgovarajuće količine goriva u sustavu izgaranja, a višak goriva se odvodi natrag putem pumpe do druge razine. Gorivo ulazi u sustav izgaranja kroz razvodnik goriva, koji distribuira gorivo oko motora i na mlaznice goriva u komoru za izgaranje [9, p. 92]. Prikaz sustava nalazi se na slici 5.:



Slika 6: Shematski prikaz iskorištavanja goriva u mlaznim zrakoplovima [9]

U današnjem se zrakoplovstvu prvenstveno koriste Jet A-1 goriva i Jet A goriva. Njihova međusobna usporedba nalazi se u tablici u nastavku:

Tablica 3: Usporedba karakteristika Jet-A1 i Jet-A goriva

	Jet A-1	Jet A
Točka paljenja	38 °C (100 °F)	
Temperatura samostalnog paljenja	210 °C (410 °F)[6]	
Točka smrzavanja	−47 °C (−53 °F)	−40 °C (−40 °F)
Max adijabatska temperatura paljenja	2,500 K (2,230 °C) (4,040 °F) Open Air Burn temperature: 1,030 °C (1,890 °F)[9][10][11]	
Gustoća na 15 °C (59 °F)	0.804 kg/l (6.71 lb/US gal)	0.820 kg/l (6.84 lb/US gal)
Specifična energija	42.80 MJ/kg (11.90 kWh / Kg)	43.02 MJ/kg (11.95 kWh / Kg)
Energetska gustoća	34.7 MJ/l [12] (9.6 kWh / L)	35.3 MJ/l (9.8 kWh / L)

Izvor: [12]

U zrakoplovnoj industriji primjena kerozina kod mlaznih goriva zahtijeva povećanje za više od 5% svih naftnih proizvoda dobivenih iz nafte. To je neophodno za pročistače kako bi postigli optimiziranje prinosa kerozina, visokom vrijednosti proizvoda kao i mijenjanjem procesnih tehnika. Novi procesi dopuštaju fleksibilnost u izboru nafte, korištenje ugljena te pijeska kao izvor molekula i proizvodnju sintetičkih mješavina za goriva. S obzirom na broj i težinu postupaka koji se koriste, često je neophodno, a ponekad i obavezno korištenje aditiva. Ovi aditivi mogu, na primjer, sprječavati nastanak štetnih kemijskih vrsta ili poboljšati svojstva gorivo kako bi se spriječilo daljnje trošenje motora.

Međunarodne norme dopuštaju primjenu sljedećih aditiva u mlaznim gorivima [13]:

- Antioksidansi, kako bi spriječili gumiranja, obično na osnovi alkiliranih fenolima, npr AO-30, AO-31, ili AO-37;
- Antistatička sredstva, za pražnjenje statičkog elektriciteta i sprječavanje iskrenja; Stadis 450, s dinonilnapitijsufonične kiseline (DINNSA)

- Inhibitori korozije, primjerice DCI-4A se koristi za civilna i vojne goriva i DS-6A koristi za vojna goriva;
- Biocidi, saniraju pojavu mikrobnih spojeva odnosno bakterija i gljivica koje mogu biti prisutne u sustavima zrakoplovnih goriva i koje mogu onečistiti gorivo. Trenutno su samo dva biocida dozvoljena u upotrebi: Kathon FP1.5 Microbiocide i Biobor JF.
- Metalni deaktivator, koji se može dodati kako bi sanirao štetne učinke kovine na toplinsku stabilnost goriva. Jedan od dopuštenih aditiva je N, N'-disalicylidene 1,2-propandiamin.

U budućnosti će se vrlo vjerojatno, i to veoma brzo, pojaviti biološka mlazna goriva. Boeing procjenjuje kako će biogoriva smanjiti emisije stakleničkih plinova u vezi s letom od 60 do 80 posto. Jedno od mogućih rješenja koje je dobilo veću medijsku pokrivenost od drugih jest biološko gorivo miješano sa sintetičkim gorivom koja proizlaze iz algi s postojećim mlaznim gorivom [14]. Ipak ovakva goriva još nisu u fazi primjene.

4.3 Goriva za helikoptere

Helikopterski je sustav za gorivo konstruiran tako da omogućuje posadi pumpati, upravljati i isporučivati gorivo u motor helikoptera. Sustavi za gorivo se uvelike razlikuju zbog različitih karakteristika performansi helikoptera u kojima su ugrađeni. Jedno-motorni helikopter će imati vrlo jednostavan sustav za gorivo, dok će helikopter sa više motora imati daleko složeniji sustav. Helikopterski sustav goriva će se mijenjati prema tome ovisno o vrsti motora kod helikoptera kako bi se dovelo do najboljih mogućih performansi istih.

U tipičnom sustavu za gorivo, gorivo je spojeno preko dovodne cijevi na kontrolni ventil za gorivo (obično se naziva selektor goriva). Ovaj ventil ima nekoliko funkcija: prva funkcija je upravljanje protokom govora kroz otvaranje i zatvaranje. Namjena ove funkcije je prije svega sprečavanje dotoka goriva ukoliko dođe do požara ili prijeti grubo slijetanje helikoptera. Druga uloga je omogućiti pilotu odabir spremnika putem kojega će napajati motor. Mnogi helikopteri imaju lijeve i desne spremnike. Razlog raspoređivanja na lijevu i desnu stranu jest u tome što se tako može omogućiti pilotu uravnotežiti opterećenje težinom goriva i smanjiti potencijalno naginjanje helikoptera [17].

Većina modernih helikoptera koristi avgas ili Jet-A gorivo, ovisno o konstrukciji samoga motora u helikopteru. Turbinski motori koji se koriste kod helikoptera brzo gube svoju učinkovitost s povećanjem visine jer se temelje na otporu zraka koji se stvara okomito prema dolje. Zbog gubitka snage na visini, helikopteri koji lete u planinama moraju imati posebno pojačane motore kako bi te gubitke mogli nadoknaditi. Veći motori znače i veću potrošnju, što još više pridonosi gubitku goriva i troškovima letenja. Helikopteri su se pokazali kao veći potrošači goriva od zrakoplova, pa se stoga u posljednje vrijeme sve više nastoji upravo kod helikoptera usmjeriti proizvodnja goriva na biodizele [18].

5 Maziva u avijaciji

Maziva predstavljaju kemijske tvari specifičnih fizikalnih i kemijskih osobina i karakteristika koja se upotrebljavaju za podmazivanje prvenstveno strojeva. Temeljna im je namjena smanjiti trenje između kliznih ploha koje su u međusobnom odnosu odnosno gibanju. Njihova je primarna namjena smanjenje potencijalnih oštećenja koja mogu nastati trošenjem dijelova strojeva, ali isto tako namjena im je i odvođenje topline, ali i zaštita od negativnih utjecaja atmosfere, poput korozije te stvaranja naslaga i taloga zbog oksidacije i drugih kemijskih promjena. Prva maziva koja su bila u primjeni su bila životinjska i biljna ulja te masti. Njihova je primjena bila aktualna sve do prve polovice dvadesetog stoljeća kada je mlada naftna industrija iznijela na tržište maziva ulja dobivena od teških naftnih frakcija. Danas svijest o potrebi očuvanja okoliša i zdravlja utječe i na proizvodnju svih vrsta maziva, tako da se iz njih isključuju sastojci štetni za zdravlje i okoliš, a u pojedinim se područjima rabe i biološki razgradiva maziva na osnovi biljnih ulja ili sintetskih esterskih ulja. Prema agregatnom stanju razlikuju se tekuća maziva (ulja), polučvrsta (mazive masti) i čvrsta maziva [19].

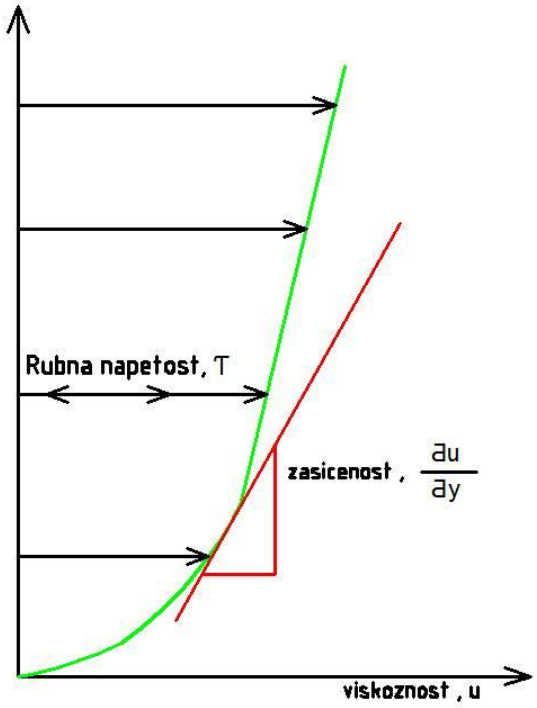
Temeljna osobina maziva jest njihova viskoznost koja predstavlja mjeru unutarnjeg trenja kod maziva. Kako bi se postiglo bolje podmazivanje prilikom velikih brzina okretaja u strojevima, potrebna su maziva koja imaju manju viskoznost, a povećanjem opterećenja pojavljuje se potreba za većom viskoznosti maziva. Viskoznost je određena s temperaturom, povećanje temperature smanjuje viskoznost maziva. Promjena viskoznosti u odnosu na promjenu temperature označuje se indeksom viskoznosti (pri tome su maziva većeg indeksa viskoznosti najčešće manje ovisna o promjeni temperature). Mineralna bazna ulja kao maziva imaju indeks viskoznosti do približno 100, dok se upotrebom raznih aditiva može postići i znatno viši indeks viskoznosti, sve do 200. Sintetska ulja s druge strane imaju veoma visoku viskoznost, koja dosiže razine i preko 200 [20].

Viskoznost se mjeri kao unutarnje trenje u tekućini, što odražava način na koji molekule odolijevaju interakciji u kretanju. To je bitno svojstvo maziva, jer utječe na sposobnost ulja da formiraju sloj za podmazivanje ili utječe na smanjenje trenja te smanjenje trošenja. Do viskoznosti dolazi djelovanjem međumolekulske kohezijske sile u fluidu i adhezijske sile između fluida te krutoga tijela kroz koje se zbiva proces strujanja. Pri tome slojevi fluida koji se nalaze uz stijenke cijevi usporavaju kretanje bržih slojeva. Pri tome sila F na jedinicu

površine među dva sloja fluida djeluje razmjerno gradijentu relativne brzine v, odnosno razmjerno brzini kojom se relativna brzina gibanja mijenja od sloja do sloja dy [20]:

$$F = -\eta \frac{dv}{dy}$$

Mjerenje se za neka ulja obavlja kod temperature na kojoj se nalazi ulje za vrijeme rada. Primjerice, kod ulja za instrumente i vretena važan segment mjerenja viskoziteta jest kod temperature od 20 °C. Kod ulja za strojeve viskoznost se s druge strane mjeri kod 50 °C, a kod motornih i cilindarskih ulja kod 100 °C. Kod zrakoplovnih ulja također se mjeri na temperaturi od 100 °C [20].



Slika 7: Promjena stanja viskoznosti količinom toka [21]

Treba napomenuti kako viskoznost nije ni u kojem smislu povezana sa gustoćom tekućine, unatoč tome što se često pogrešno tumače. Primjerice, tekuća ljepila imaju i stotinu tisuća puta veću viskoznost od vode, dok im je gustoća otprilike jednaka s gustoćom vode pri jednakoj temperaturi [22, p. 64].

Osim viskoznosti za maziva je veoma važno svojstvo i oksidacija. Degradacija maziva pri djelovanju oksidativnih mehanizama je potencijalno vrlo ozbiljan problem. Iako određeno mazivo može biti tako formulirano za podmazivanje da može imati brojne poželjne osobine kada je novo, oksidacija može dovesti do dramatičnog gubitka performansi posljedicom reakcija kao što su [21, p. 13]:

- korozija zbog formiranja organskih kiselina,
- formiranje polimera koji dovode do mulja i smole,
- promjene viskoznosti,
- gubitak električnog otpora.

Tekuća maziva najvažnija su vrsta maziva te kao takva imaju i veoma važnu primjenu u avijaciji. Ona se uglavnom sastoje od baznog ulja i aditiva. Bazno ulje može biti mineralno ili sintetsko. Mineralno bazno ulje proizvodi se rafinacijom teških frakcija nafte dobivenih vakuumskom destilacijom na temperaturi višoj od 350 °C i danas čini više od četiri petine od ukupno proizvedenih količina maziva. Maziva ulja mineralne osnove primjenjuju se za podmazivanje većine vozila i strojeva pri normalnim uvjetima rada. Za posebno teške uvjete rada (ekstremno visoke ili niske temperature), težu zapaljivost, dug vijek trajanja i sl. primjenjuju se maziva koja sadrže sintetska bazna ulja (ugljikovodična, esterska, silikonska i dr.). Aditivima se može smanjiti ovisnost viskoznosti o temperaturi, poboljšati tecivost pri niskim i postojanost pri višim temperaturama, povećati sposobnost zaštite od korozije te čvrstoća mazivoga sloja i time poboljšati podnošenje iznimno velikih tlakova, te smanjiti trošenje strojnih dijelova [19].

Zrakoplovstvo zahtijeva maziva koja moraju biti vrlo pouzdana: ona moraju biti sposobna izdržati visoka specifična opterećenja i ekstremne uvjete okoline unutar kratkog vremena. Zahtjevi su kritični. Glavni problem kod mlaznih motora jest prolazna izloženost toplini, pa se stoga prvenstveno koriste maziva bazirana na sintetičkim poliolnim esterima koji minimiziraju toplinsku razgradnju. Aminski anti-oksidansi se koriste zajedno s aditivima protiv habanja / trošenja, kao inhibitori korozije i za sprječavanje pjenjenja [11].

Veliki je raspon svojstava koja određuju koja maziva su pogodna za primjenu u zrakoplovima i helikopterima ovisno o uvjetima letenja te uvjetima rada pojedinih motora. Svojstva se mogu

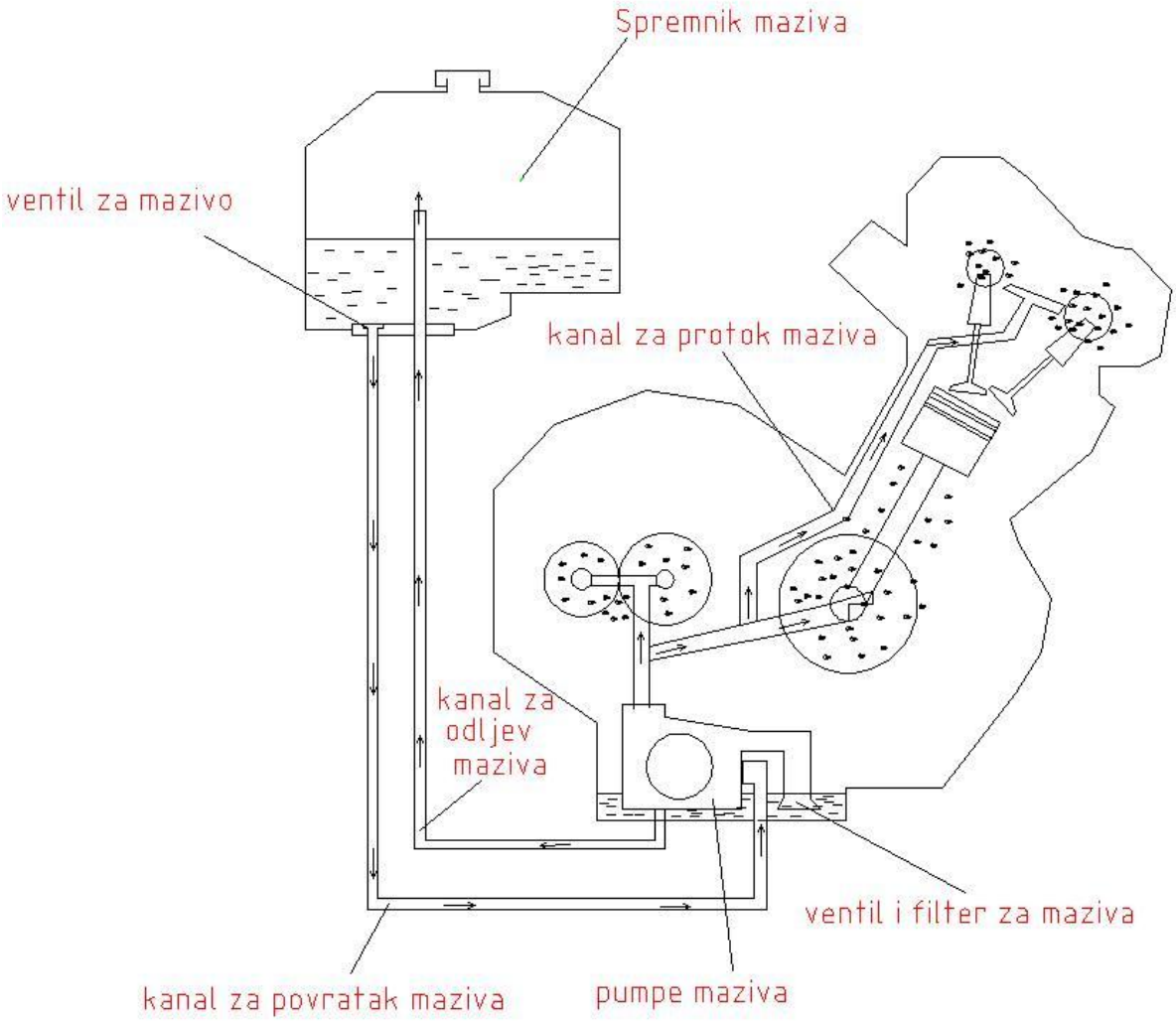
mjeriti i koristiti za predviđanje učinkovitosti kod odabira odgovarajuće baznog ulja za upotrebu u formulaciji maziva. Većina od svojstava koriste se kao provjera kontrole kvalitete u postupku proizvodnje kako bi se osigurala ujednačenost kvalitete proizvoda. Iako su mnoga od tih svojstava modificirana ili pojačana upotrebom aditiva, poznavanje osnovnih karakteristika ulja, posebno njihovih ograničenja, od vitalne je važnosti za učinkovito formuliranje i odabir maziva [21, p. 8].

Sadržaj sumpora baznih ulja se često smatra kao koristan pokazatelj prirodne otpornosti na oksidaciju. To je prije svega stoga što se putem sumpornih baznih ulja prirodno pojavljuju organosulforni spojevi u sirovoj nafti koji su skromno učinkoviti u uništavanju organskih peroksid međuprodukata i razbijanja mehanizma oksidacijskog lanca. Međutim, učinkovitost ovih prirodnih inhibitora je obično prilično inferiorna u odnosu na sintetizirane dodatke koji mogu biti puno određeniji u svom djelovanju [21, p. 14].

Tehnologija proizvodnje maziva u avijaciji je danas napredovala do faze u kojoj se uvjeti s kojima se susreću zrakoplovi i helikopteri u letu mogu sasvim dočarati i u laboratorijskim uvjetima. To omogućuje razvoj maziva za zrakoplovne plinske turbine na način koji jamči njihovu kvalitetu pri praktičnoj primjeni. Prepoznavanje kritične prirode zrakoplova i pojedinih modela istih dovelo je do potrebe za razvijanje detaljne specifikacije za kontrolu kvalitete i uspješnosti maziva. Tijekom posljednjih pedesetak godina praktički sva maziva su morala zadovoljiti stroge zahtjeve specifikacija. Velika ekspanzija međunarodnog zračnog prometa nakon 1945. godine i formiranje velikih vojnih saveza dovelo je do velikog pritiska na stvaranje standardizacija zrakoplovnih goriva i maziva prema njihovim specifikacijama. Logistički problemi kao što su snabdijevanje velikog broja različitih maziva i potencijalne opasnosti korištenja pogrešnog maziva, također su dovele do velikih napora prema ograničavanju broja potencijalnih maziva koja bi bila dopuštena za uporabu u avijaciji. Krajnji rezultat je da je većina zahtjeva zrakoplova za mazivima ispunjena u relativno malom broju usko kontroliranih visokokvalitetnih proizvoda, unatoč tome što još uvijek postoji relativno veliki broj posebnih maziva u upotrebi [21, p. 347].

5.1 Maziva za klipne motore zrakoplova

Maziva koja se primjenjuju za klipne motore zrakoplova proizašla su iz ranijih maziva koja su korištena kod rotirajućih motora zrakoplova (veoma kratko u upotrebi zbog brzog razvoja klipnih motora). Podmazivanje ovih motora postalo je problematično jer se uobičajeni način podmazivanja kakav se koristi kod automobila sa klipnim motorom, a koji podrazumijeva stavljanjem maziva u udubinu koja zatvara radilicu, ne može primijeniti kod zrakoplovnih motora. Ovaj sustav nije pogodan za zrakoplovne motore, jer turbulencije ili manevriranja dovode do brze promjene u veličini i smjeru ubrzanja. Korištenje udubine stoga nije moguće za zrakoplovne klipne motore. Stoga su klipni motori podmazivani na pricnipu „suhog okna“ gdje mazivo ubrizgavano u kućište radilice ili do neke druge točke se uklanja pomoću pumpi za čišćenje i prebacuje se u odvojeni spremnik obično preko hladnjaka. Mazivo se zatim dovodi do dijelova koje je potrebno podmazivati pomoću tlačnih pumpi koje imaju manji kapacitet od pumpi za čišćenje kako bi se osiguralo da se mazivo može učinkovito ukloniti kako se ne bi nakupljalo u motoru [21, p. 349]. Sustav za podmazivanje klipnih motora zrakoplova prikazan je na slici 6.:



Slika 8: Shematski prikaz sustava za podmazivanje klipnih motora zrakoplova [23]

Spremnici maziva su izrađeni od lima, prikladno zbijenog i ojačanog iznutra kako bi se spriječilo oštećenje tijekom protoka maziva tijekom manevara i promjena temperature. Spremnik je postavljen gdje god je to moguće, na višoj razini od motora kako bi se dobilo gravitacijo ubrzanje na pumpi, a sastoji se od spremnika ulja dovoljno velikog za potrebe motora, plus zračni prostor. Zračni prostor omogućuje [24, p. 49]:

- Povećani povratak ulja prilikom pokretanja motora. Kada je motor ugašen nakon prethodnih kretanja, zidovi u kućištu su zasićeni s uljem koji će se odvoditi. Ulje će ostati tamo sve dok se motor ne pokrene, kad će ga crpka za pročišćavanje vratiti u spremnik.

- širenje maziva, jer veći volumen maziva apsorbira toplinu iz ležaja
- pjenjenja te zbog prozračivanja ulja.
- pomaka ulja pomakom propelera i drugih automatskih kontrolnih uređaja

Vrste ulja koja služe kao temelj za maziva su izvedene iz specifikacija razvijenih od strane Američke vojske 1940. godine, a kasnije su standardizirana od strane društva za inženjere u avijaciji (SAE). Sustav klasificira motorna ulja prema viskoznosti. Ulja se razvrstavaju na temelju njihove izmjerene razine viskoziteta pri visokim temperaturama razreda ulja za monogradna ulja i na niskim i visokim temperaturama multigradna (višegradna) ulja. Višegradna ulja imaju indeks visoke viskoznosti (VI) i može pasti u više od jedne SAE klasifikacije razreda, ovisno o karakteristikama gradacije koja sačinjava ta ulja [23].

Kod zrakoplovnih motora nije toliko važno kao kod automobilskih motora utjecaj temperature te korozije zbog velikih visina na kojima rade zrakoplovni motori gdje se hlađenje odvija samo od sebe te nema utjecaja vode, no s druge strane kod zrakoplovnih motora je značajno izbjeći čvrste naslage jer su relativno duge dovodne cijevi osjetljive na blokiranje depozita i raznoliko kretanje zrakoplova ima tendenciju sprečavanja taloženja krutina u spremniku. Rani aditivi za maziva rješavali su to ubrizgavanjem produkata za razgradnju te se stoga smatralo kako su neprihvatljivi za uporabu u zrakoplovima jer se razgradnja odvija u rezervoaru a ne „tijekom rada“. Otpornost na oksidaciju osigurana je uporabom visoko rafinirane osnovne sirovine otapala koja je ekstrahirana i antioksidanti se samo koriste kod određenih posebno zahtjevnih motora. Razvoj aditiva bez krutih ostataka i pepela je smanjio rizik od depozita čvrstih tvari u motoru i formiranja taloga na motorima. Stoga su danas takozvana maziva bez pepela, te sa antioksidantima koriste u većini klipnih motora. Nedisperzantna mineralna ulja se sada koriste prvenstveno za starije zrakoplove i kao dodaci drugim mazivima za nove motore ili nakon remonta [21, p. 349].

Kod zrakoplova s klipnim motorima mazivo mora imati nisko stinište kao dobru karakteristiku odnosa viskoznosti i temperature, odnosno visok indeks viskoznosti. Dobre karakteristike viskoziteta i temperature su dobivene pomoću vrlo rafinirane parafinske osnovne sirovine i bez pepela kod sredstva za raspršivanje te mogu postići određena poboljšanja indeksa viskoznosti. Unatoč tome, viskoznost ulja na niskim temperaturama je

obično previsoko da bi motor mogao odgovoriti na zadovoljavajući način kada se traži povećana snaga. Može se stoga pojaviti i prevelika viskoznost što dovodi do nekoliko ograničenja na rad motora [23, p. 54]:

- mnogi klipni motori moraju raditi malom snagom nakon pokretanja dok se ne postigne određena temperatura maziva, iznad koje se snaga motora može povećati,

- u proširenom slijetanju, povećanje rada motora mora biti povećano u redovitim razmacima, obično na svakih stotinjak metara visine, kako bi se ugrijalo ulje i potaknula cirkulacija pred slijetanje. Ukoliko se to ne postigne, može se dogoditi gašenje motora. Mnoga prisilna slijetanja, pa čak i pad sustava, proizašla su iz nepravilnog postupanja u ovoj fazi,

- potrebno je raditi kontrole propelera u redovitim intervalima kod zrakoplova pomoću konstantne brzine ili varijabilni nagib propelera u hladnoj okolini konstantnom brzinom i snagom koja se koristi tijekom leta. Ako se to ne učini, male količine nafte koje su prisutne u mehanizmu kod nagiba se mogu promijeniti pa mazivo može postati previše viskozno kada je ponovno potrebno za korištenje,

- gdje su temperature zraka vrlo niske, a možda ima dvojbe oko toga da li se motor može ponovno pokrenuti nakon isključivanja, mnoge različite tehnike se koriste za zagrijavanje ili ulja ili motora. Jedan postupak je razrijediti neke ili sve od maziva u motoru s benzinom prije gašenja. Razrjeđivanjem maziva omogućava se oprezno zagrijavanje motora tako da ponovno počinju isparavati benzinske pare prije nego se postigne vrelište u spremniku maziva.

Višegradna ulja predstavljaju zasićena mineralna ulja odnosno sintetičke spojeve ulja. Prvenstveno su namijenjena za rad u svim godišnjim dobima te im je stoga praktičnost temeljna prednost. Ona ispunjavaju zahtjeve više od jednog standarda SAE stupnja viskoznosti te su stoga pogodna za upotrebu na širem rasponu temperature od monogradnih ulja. Višegradna ulja sadrže poboljšivače viskoznosti koji smanjuju tendenciju ulja da gube viskoznost ili da postaju osjetljiva na različite viskoznosti. Ostale prednosti su manja potrošnja ulja i bolja potrošnja goriva [23].

Danas se prvenstveno koriste maziva sastavljena od višegradnih ulja kako bi imala različite karakteristike koje osiguravaju najbolju primjenu u zrakoplovima. Korištenje više razreda ulja, 15W / 50 i 20W / 50, u stalnom je porastu od uvođenja 1979. godine, iako se samostalna ulja i dalje proizvode te još uvijek imaju jak utjecaj u zrakoplovnoj industriji [21, p. 351].

5.2 Maziva za mlazne motore zrakoplova

Mlazni motori kod zrakoplova jednostavniji su u principu od klipnih motora u njihovom projektiranju i izgradnji, pa su shodno tome i jednostavniji kada se primjenjuju maziva za podmazivanje. Nema pokretnih dijelova u komori za izgaranje pa mazivo nije izloženo izravno temperaturama izgaranja. Kompresor i turbina glavni su pokretni dijelovi koji su u stalnoj rotaciji, kako bi se izbjegli problemi s dinamičkim opterećenjem zbog povratnih rotacija elemenata.

Unatoč relativnoj jednostavnosti plinske turbine maziva se i dalje suočavaju s ozbiljnim izazovima, od kojih je najveći izazov toplina. Moderna kućišta motora postižu temperature maziva u rasponu između 80 i 100 °C, dok se prilikom pročišćavanja ta temperatura podiže i na približno 190 °C, uz izlaganje temperaturama uz metalni zid u ležaju komora čak do 300 i 400 °C [21, p. 352].

Kombinirajući ovo s činjenicom kako se nastoji učiniti zrakoplove što je moguće izdržljivijima kako bi se smanjili troškovi održavanja želji pa se produžuje vrijeme između velikih remonta, trenutno više od 40.000 radnih sati za neke civilne motore, onda je jasno kako maziva moraju biti postojana kroz dugo razdoblje. Podrazumijeva se kako će teško mazivo uspjeti toliko dugo ostati funkcionalno jer se mazivo tijekom rada troši i pa je potrebno ga nadopunjavati sa svježim mazivima. Kako ne postoje proizvodi koji bi uklanjali talog izgaranjem maziva, problem se pojavljuje i u tome što se redovito formiraju naslage taloga koksa zbog visokih temperatura do kojih dolazi tijekom rada motora. Svaki takav talog mora biti uklonjen kako bi se spriječila začepljenja. Mazivo i dalje ima važnu ulogu u smanjenju stvaranja tih naslaga i prema tome mora biti mogućnosti učinkovito ukloniti već formirane naslage. Toplinska postojanost turbinskih maziva za motore je vjerojatno najveći izazov kako za proizvođače maziva tako i za projektante mlaznih motora [11].

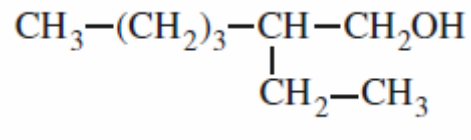
Prilikom određivanja sastava ulja za maziva, esteri koji se koriste za zrakoplovna maziva u proizvodnji su di-ester temeljena maziva na osnovi di-bazičnih kiselina kao što su [21, p. 252]:

Sebacinska kiselina $HOOC–(CH_2)_8–COOH$

Azelainska kiselina $HOOC–(CH_2)_7–COOH$

Adipinska kiselin $HOOC–(CH_2)_4–COOH$

koji reagiraju s alkoholima kako bi se proizveli di-esteri. Odabir i kiseline i alkohola ima značajan utjecaj na svojstva gotovog proizvoda. Kao primjer, više lanaca dikiseline poboljšava indeks viskoziteta, VI, ali smanjenja stiništa. Od alkohola obično se koristi oktanol, $CH_3–(CH_2)_7–OH$. Ako se koristi kao n-oktanol, to postavlja stinište diestera do neprihvatljivog stupnja. Međutim, korištenje 2-etil heksanol izomera:



Slika 9: 2-etil heksanol

daje značajno smanjenje stiništa uz održavanje prihvatljivog VI i stoga se obično koristi u formulaciji baznih ulja diestera [21, p. 353].

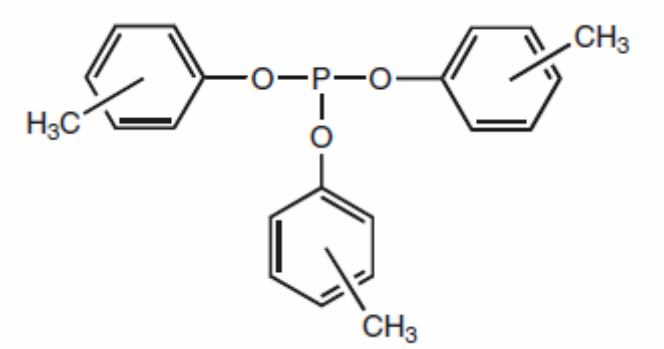
Svojstva baznih ulja, naravno, poboljšavaju se dodavanjem aditiva u gotovom proizvodu. Osim poliglikol zgušnjivača koji se koristi u 7,5 cSt diester-baznih maziva za većinu vrsta aditiva koji se koriste u mazivima na diester bazi također se koriste u ester bazi maziva kod poliola. Dobivena di-estera maziva su pogodna za maksimalnu temperaturu ulja u spremniku do 149 °C i temperature u ležaju do 204 °C [27].

Dodaci mazivu koji se najčešće koriste protiv oksidacije kod mlaznih motora su fenil-α-naftilamin, PAN, oktitfeml-α-naftilamin, OPAN i dioktifenilamin, DODPA i njihovi derivati. Fenotiazin je uobičajen antioksidans koji se koristio u ranim verzijama ester baziranih turbina maziva, ali iako je učinkovit u sprečavanju oksidacije tvari sam lubrikant nakon dužeg vremena oksidira. Zbog formiranja oksidiranih čestica, što je glavni ograničavajući faktor za proizvođača motora, korištenje fenotiazina je zaustavljeno. Fenil-β-naftilamin se pokazao kao

dobro mazivo, ali je njegova upotreba zabranjena kada je otkriven iznimno štetni utjecaj na okoliš [21].

Dva anti-oksidansa koja se prvenstveno koriste kao maziva u mlaznim motorima zbog sinergističkog učinka te koji daju veću sigurnost pri danoj koncentraciji nego što bi dao jedan, zapravo se koriste zajedno u kombinaciji kako bi se postigao optimalan učinak. Time se povećava oksidacijska stabilnost, posebice upotrebom kombinacija oligomernih i monomernih amina kao antioksidansa. Druga inovacija je primjena monomernog antioksidansa koji čine oligomeri tijekom reakcije oksidacije, čime se produžava dužina trajanja protu-oksidativnih svojstava maziva. Jedan nedostatak modernih antioksidantskih kombinacija je njihova tendencija da su više agresivni prema elastomerima, koji su veoma korišteni kod starijih tipova tehnologija u izgradnji motora zrakoplova [26, p. 358].

Maziva se također upotrebljavaju i za smanjenje trošenja dijelova zrakoplova pri čemu se najčešće koristi trikrezil fosfat, TCP, obično u koncentracijama između 1 i 3%. TCP reagira s površinom metala pri čemu se formira kemijski apsorbirani sloj koji tada štiti elemente od međusobnog trenja. Kemijska formula navedenog spoja prikazana je na slici 7.:



Slika 10: Trikrezil fosfat, TCP [21]

Kada se radi o ekstremnim uvjetima tlaka, kao što su određene situacije kod prijenosnika motora i kod helikoptera, mogu se koristiti sredstva za podmazivanje koja sadrže fosfatne soli s aditivima od amina. Iako se time postiže poboljšanje sposobnosti maziva, na taj se način također može učiniti mazivo agresivnije prema određenim vrstama elastomera, osobito silikona, i može povećati koksiranje samoga maziva. Drugi nedostatak je da u prisustvu vode, ova vrsta aditiva reagira s nezaštićenom legurom od magnezija koje se nalaze na površinama

unutrašnjosti motora. Ako je sustav suh ili su magnezijske legure na površinama dovoljno dobro zaštićene epoksidnom prevlakom, tada se reakcija ne odvija [21, p. 358].

6 Utjecaj na okoliš goriva i maziva u avijaciji

Nafta i njezini derivati uključujući goriva i maziva koja se upotrebljavaju u avijaciji predstavljaju osnovu suvremenog industrijskog razvoja, ali nažalost, istovremeno i temeljne zagađivače okoliša. Zagađivanje okoliša naftom i derivatima je najmasovnije i najšire rasprostranjeno, počevši od individualnih utjecaja čovjeka kao korisnika motornih vozila i drugih mehaničkih sustava do kontinuiranog utjecaja svih grana industrije i svih oblika privrednih djelatnosti. Suglasno svim dosadašnjim rezultatima istraživanja, sve vrste maziva, svježa, rabljena ili otpadna, smatraju se zagađivačima okoliša. Sva maziva, a naročito otpadna, uništavaju mikrofloru zemljišta i cine ga neplodnim za duže vrijeme, jer se biološki teško i sporo razgrađuju. I u vrlo malim koncentracijama vodu čine neupotrebljivom za piće, zbog mirisa i okusa te zbog opasnosti za zdravlje. Produkti izgaranja predstavljaju opasne zagađivače atmosfere. Kada se radi o otpadnim uljima, stupanj opasnosti povećava se u ovisnosti o dužini uporabe i težini uvjeta rada [28, p. 76].

Onečišćenje zraka obuhvaća prisutnost u zraku jedne ili više tvari kao što su aerosoli (prašine, dimovi, magle), plinovi i pare takvih značajki i u takvim koncentracijama da mogu biti štetni za život i zdravlje ljudi i/ili životinja odnosno da mogu negativno utjecati na biljni svijet, na osjećaj udobnosti čovjeka te da mogu oštetiti predmete koji mu služe. Iako problem onečišćenja zraka i negativnih utjecaja tih onečišćenja na čovjeka postoji nekoliko stoljeća, ipak mu se nije pridavala dužna pozornost, sve dok nekoliko katastrofalnih epizoda takvih onečišćenja nisu istaknule to pitanje kao jedan od važnih problema javnog zdravstva današnjice.

Neke od tih epizoda prouzročile su akutne bolesti, pa i smrtne slučajeve velikog broja ljudi u kratkom vremenskom razmaku na ograničenom prostoru. Onečišćenje zraka je pogotovo važno u industrijaliziranim i urbaniziranim područjima. Spomenute katastrofalne epizode pokazale su da uz određene uvjete postoji stvarna opasnost nagomilavanja onečišćenja u zraku u takvim koncentracijama da mogu biti opasna za zdravlje stanovništva zbog mogućih akutnih ili kroničnih oštećenja [29, p. 15].

Unatoč smanjenju emisija iz automobila i proizvodnje goriva koje je više učinkovito te samim time ima i manje štetnih potisaka u novijim automobilskim motorima, brzi rast zračnog prometa u posljednjih nekoliko desetljeća doprinosi povećanju ukupnog onečišćenja koje se

može pripisati zrakoplovstvu. Tako se procjenjuje kako je od 1992. do 2005. godine, broj prijeđenih kilometara putničkih zrakoplova rastao 5,2% godišnje. I u Europskoj uniji, emisije stakleničkih plinova iz avijacije porasle su za 87% u razdoblju između 1990. i 2006. godine [30].

7 Zaključak

Goriva i maziva koja se koriste u avijaciji razlikuju se od goriva i maziva koja se koriste u drugim oblicima prijevoza prvenstveno zbog različitih fizikalnih sila, atmosferskih prilika i konstrukcija motora zrakoplova i helikoptera, ali isto tako i zbog potrebe za ostvarivanjem maksimalnih razina sigurnosti i uspješnosti pri djelovanju kako bi se minimalizirala mogućnost bilo kakve greške odnosno kvara.

Ovisno o vrstama motora, koriste se različita goriva i različita maziva u avijaciji. Za klipne motore zrakoplova prvenstveno se koristi avgas, odnosno avionski benzin koji je koncipiran tako da osigurava stabilnost i sigurnost pri radu klipnog motora kroz seriju predvidivih performansi u širokom rasponu okruženja. Ipak daleko se više posljednjih nekoliko desetljeća koriste motori na mlazni pogon pa se tako i koriste goriva namijenjena za te motore, prvenstveno Jet A-1 gorivo. U slučaju velikih hladnoća koristi se i Jet-B gorivo. Gorivo za mlazne motore predstavlja mješavinu velikog broja različitih ugljikovodika. Raspon njihove veličine (molekularne težine ili broj ugljikovih atoma) je određen tehničkim zahtjevima i uvjetima letenja, kao što je pitanje točke smrzavanja.

Jednako kao i za goriva, i za maziva je potrebno osigurati specifične uvjete proizvodnje i nanošenja na same motore zrakoplova koji se razlikuju od postupaka kod drugih vozila. Avijacija zahtijeva maziva koja moraju biti vrlo pouzdana pa prema tome maziva u avijaciji moraju biti sposobna izdržati visoka specifična opterećenja i ekstremne uvjete okoline unutar kratkog vremena. Posebno su se problematičnim pokazala maziva za klipne motore zbog načina nanošenja maziva. Podmazivanje ovih motora stvara poteškoće jer se način podmazivanja korišten u automobilskoj industriji kod automobila sa klipnim motorom, a koji podrazumijeva stavljanjem maziva u udubinu koja zatvara radilicu ne može primijeniti kod zrakoplovnih motora već se mora razviti sustav ubrizgavanja i ispuhivanja maziva te njegovog skladištenja u posebne rezervoare, pri čemu je posebno važno temeljito ukloniti mazivo nakon nanošenja. Kod mlaznih motora je nešto jednostavnija primjena, ali ona zahtijeva vođenje računa o toplini koja može biti presudan faktor pri odabiru maziva. Osim toga, problem predstavljaju i maziva koja su namijenjena za smanjenje trenja jer se prilikom prisustva vode javljaju reakcije ovih maziva s nezaštićenom legurom od magnezija koje se nalaze na površinama unutrašnjosti motora. Uslijed toga dolazi do oštećenja sastava samih

motora. Stoga je potrebno osigurati suhu okolinu u motoru ili dobro zaštiti magnezijske legure epoksidnom prevlakom.

Ne smije se zanemariti ni značajan utjecaj goriva i maziva na okoliš, za koji se procjenjuje kako se svakodnevno povećava sa sve većim brojem letova. Ispuštanje stakleničkih plinova, ali i prisustvo ekološki neprihvatljivih tvari u određenim mazivima značajan je ekološki problem. Očekuje se stoga kako bi proizvodnja biodizela, koji bi bio pogodan za zrakoplove i helikoptere, u budućnosti mogla značajno poboljšati problem potrošnje goriva i utjecaja na okoliš.

Literatura:

[1] M. Čanžek, Usporedna analiza letnih značajki zrakoplova ATR 42 i Dash 8-Q400, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.

[2] B. Galović, Prilog razvoju nekonvencionalnih zrakoplova za priobalje RH, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1998.

[3] TSG, Aircraft maintenance – marginal delay costs, London: University of Westminster, 2009.

[4] A. Blokhin, »To what extent will changing fuel costs affect the profitability of the airline industry?,« 15 05 2015. [Mrežno]. Available: http://www.investopedia.com/ask/answers/052515/what-extent-will-changing-fuel-costs-affect-profitability-airline-industry.asp.

[5] E. Bazijanac, Zrakoplovni klipni motori, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.

[6] B. Fadmin, »Considerations in the Analysis of an Automotive Turbocharger,« Engineering future, 26 10 2015. [Mrežno]. Available: http://www.engineeringafuture.com/2015/10/26/considerations-in-the-analysis-of-an-automotive-turbocharger/. [Pokušaj pristupa 21 02 2017].

[7] E. Goodger i R. Vere, Aviation fuels technology, Macmilian publishers, London , 1985.

[8] K. Dukić, Proračun i izrada modela mlaznog motora s elektropogonom, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.

[9] B. Gunston, World Encyclopedia of Aero Engines, Sutton Publishing, New York, 2006.

[10] Defence.pk, »How jet engines work,« Defence Pakistan, 19 05 2015. [Mrežno]. Available: https://defence.pk/threads/explained-how-jet-engines-work.376374/. [Pokušaj

pristupa 21 02 2017].

[11] Đ. Šilić, V. Stojković i D. Mikulić, Goriva i maziva, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.

[12] G. E. Totten, Fuels and lubricants handbook: technology, properties, performance and testing,ASTM International, Glen Bumie, 2003.

[13] Global Aviation, Aviation Fuels Technical Review, Chevron Corporation, 2004.

[14] S. A. F. MacDonald i I. L. Peppler, From the ground Up, Aviation Publishers Co. Limited, Ottawa, 2004.

[15] British Petroleum, »Outlook of products,« 2014. [Mrežno]. Available: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf.

[16] ASTM International, »Standard Specification for Aviation Turbine Fuels,« 2010. [Mrežno]. Available: https://www.astm.org/Standards/D1655.htm.

[17] P. Steele, Sustainable biofuel - The aeroplane biofuel: Will Plant Fuels Fly? , *The World Today*, pp. 14-16, 2009.

[18] Helicopter Maintaince, »Fuel systems,« Helicopter Maintaince, 13 08 2013. [Mrežno]. Available: http://www.helicoptermaintenancemagazine.com/article/fuel-systems-%E2%80%93-life-blood-engines. [Pokušaj pristupa 16 02 2017].

[19] M. G. Richard, »Helicopters Could Become More Fuel-Efficient Thanks to Diesel Engines,« Treehugger, 25 02 2010. [Mrežno]. Available: http://www.treehugger.com/cars/helicopters-could-become-more-fuel-efficient-thanks-to-diesel-engines.html. [Pokušaj pristupa 17 02 2017].

[20] Leksikografski zavod Miroslava Krleže, »Maziva,« Leksikografski zavod Miroslava Krleže, 2015. [Mrežno]. Available: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=39637. [Pokušaj pristupa 14 02 2017].

[21] R. M. Mortier, M. F. Fox i S. T. Orszulik, Chemistry and Technology of Lubricants, Springer, Sevenhampton, 2010.

[22] V. Kruz, Tehnička fizika za tehničke škole,Školska knjiga, Zagreb, 1969.

[23] JIEJUN DAI 4842, »JIEJUN DAI - 4842 - Automotive Engines,« JIEJUN DAI 4842, 06 05 2011. [Mrežno]. Available: http://jiejundai-ttec4842-automotiveengines.blogspot.com/2011/05/what-is-purpose-of-glow-plug-on-diesel.html. [Pokušaj pristupa 18 02 2017].

[24] F. Delp, M. J. Kroes, R. Sterkenburg i W. A. Watkins, Aircraft Maintenance & Repair, Seventh Edition, New York: The McGraw-Hill, 2015.

[25] B. Zuehlke, »Lubrication 101: Piston engine oil, its functions, types, and characteristics,« Aviaton Pros, 01 03 2004. [Mrežno]. Available: http://www.aviationpros.com/article/10386623/lubrication-101-piston-engine-oil-its-functions-types-and-characteristics. [Pokušaj pristupa 18 02 2017].

[26] W. S. Robertson, Lubrication in Practice, Macmillian Press, London: 1983.

[27] B. Gunston, World Encyclopaedia of Aero Engines, London: Guild Publishing, 1986.

[28] M. Stojilković i M. Pavlović, Utjecaj maziva na okoliš,*Goriva i maziva*, svez. 48, br. 1, pp. 71-81, 2009.

[29] F. Valić, Zdravstvena ekologija, Medicinska naklada, Zagreb, 2001.

[30] European Comission, »Climate change: Commission proposes bringing air transport into EU Emissions Trading Scheme,« European Comission, 20 12 2006. [Mrežno]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-06-1862_en.htm. [Pokušaj pristupa 20 02 2017].