

KARAKTERIZACIJA GORIVA JET A-1 I MAZIVA ZA MLAZNE MOTORE SA ASPEKTA NJIHOVOG UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Prof. dr Božidarka Arsenović, email: bokijevmejl@gmail.com

„Orao“ a.d., Bijeljina; Republika Srpska; Bosna i Hercegovina

Internacionalni univerzitet Travnik

Zorica Ristić, MA

„Orao“ a.d., Bijeljina; Republika Srpska; Bosna i Hercegovina

Sažetak: Mlazna goriva su kerozinske frakcije ili smješe kerozinskih i benzijskih frakcija sa različitim dodacima. U principu, to su složene smješe koje se sastoje od osnovne četiri grupe ugljovodonika: parafina, naftena, aromata i olefina. Danas je na našim prostorima u upotrebi gorivo JET A-1, a to je kerozinska frakcija nafte sa temperaturom ključanja u temperaturnom intervalu od 170°C do 300°C (po svom kvalitetu zadovoljava zahtjeve vojnog i civilnog vazduhoplovstva). Maziva koja se upotrebljavaju u vazduhoplovstvu se danas suočavaju, a i u budućnosti će se suočavati s ozbiljnim izazovima, od kojih je najveći izazov toplota, obzirom da moderna kućišta motora dostižu temperature maziva između 80°C i 100°C, dok se prilikom prečišćavanja ta temperatura podiže i na približno 190°C. U obezbjeđivanju sigurnog rada mlaznih motora na svim režimima i u svim uslovima primjene, goriva i maziva moraju imati siguran kvalitet. Gasovi i čestice koji nastaju sagorijevanjem mlaznog goriva su: vodena para, H₂O, ugljen dioksid, CO₂, azot monoksid, NO, azot dioksid, NO₂, sumporni oksidi, SO_x i čađ.
Glavne riječi: mlazno gorivo JET A-1, maziva, turbomlazni motor, životna sredina

CHARACTERIZATION OF JET A-1 FUEL AND JET ENGINE LUBRICANTS FROM THE ASPECT OF THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Abstract: Jet fuels are kerosene fractions or mixtures of kerosene and gasoline fractions with various additives. In principle, these are complex mixtures consisting of four basic groups of hydrocarbons: paraffin, naphthenic, aromatic and olefin. Today, JET A-1 fuel is in use in our area, which is a kerosene fraction of oil with a boiling temperature in the temperature range from 170°C to 300°C (in terms of its quality it meets the requirements of military and civil aviation). Lubricants used in aviation are facing today, and in the future will face serious challenges, the biggest challenge of which is heat, since modern engine housings reach lubricant temperatures between 80°C and 100° C, while during cleaning this temperature rises to approximately 190°C. In ensuring the safe operation of jet engines in all modes and in all conditions of application of fuels and lubricants must have a safe quality. Gases and particles produced by combustion of jet fuel are: water vapor, H₂O, carbon dioxide, CO₂, nitrogen monoxide, NO, nitrogen dioxide, NO₂, sulfur oxides, SO_x and soot.

Key words: jet fuel JET A-1, lubricants, turbojet engine, environment

UVOD

U cilju obezbjeđivanja sigurnog kvaliteta, pored opštih osobina, goriva za mlazne motore moraju zadovoljiti čitav niz specifičnih osobina. Ovako stroge zahtjeve postavljaju i opravdavaju uslovi upotrebe mlaznih goriva, kao što su veoma velike brzine i visine leta mlaznih aviona, a na njih utiču i termički najopterećeniji dijelovi mlaznog motora: komora

sagorijevanja, gasna turbina i sl. kao i goriva instalacija. Dodatni zahtjevi za siguran kvalitet mlaznog goriva su:

- da ima što veću gustinu i toplotnu moć, jer od njih zavisi dolet aviona sa nepromijenjenom zapreminom rezervoara za gorivo;
- da ne sadrži lako isparljive frakcije koje bi izazvale stvaranje čepova para u instalacijama i veliki gubitak goriva zbog isparavanja na velikim visinama;
- da se lako prepunjava i neprekidno protiče od rezervoara do motora u svim uslovima leta aviona;
- da ne mrzne i ne izdvaja kristale ugljovodonika na niskim temperaturama (do -50°C);
- da izvrši pokretanje motora u svim uslovima primjene;
- da se dobro raspršuje na svim režimima rada motora;
- da ima takvu brzinu sagorijevanja koja obezbjeđuje završetak procesa sagorijevanja u komori sagorijevanja;
- da sagorijeva potpuno, bez stvaranja taloga, gareži i koksa na brizgaču, komori sagorijevanja, turbini i drugim dijelovima motora;
- da na povišenim temperaturama, u uslovima leta nadzvučnim brzinama, bude termički stabilno i ne stvara čvrste taloge i td.

Na našim prostorima u upotrebi je gorivo JET A-1, a to je kerozinska frakcija nafte sa temperaturom ključanja u temperaturnom intervalu od 170°C do 300°C . Ovo mlazno gorivo, po svom kvalitetu zadovoljava zahtjeve vojnog i civilnog vazduhoplovstva [1,2].

1. KARAKTERIZACIJA MLAZNOG GORIVA JET A -1

Sastav mlaznih goriva uslovljen je strogim zahtjevima za što većom toplotnom moći i stabilnošću, a što manjim stvaranjem gareži. Stvaranje gareži uslovljeno je ograničenim sadržajem parafinskih i naftenskih ugljovodonika.

Mlazno gorivo JET A-1 (Aviation Jet Fuel JET A-1; Product number ID 10505; Internal identification 145163), kao složena smjesa grupe ugljovodonika: parafina, naftena, aromata i olefina (sadržaj od 98% do 99%), ima najzastupljeniji sadržaj parafinskih i naftenskih ugljovodonika od oko 70%. Sadržaj aromatskih ugljovodonika je manje poželjan zbog toga što oni imaju manju toplotnu moć (za oko 10%), smanjuju brzinu i potpunost sagorijevanja, povećavaju stvaranje gareži, uzrokuju progorijevanje komore za sagorijevanje i snižavaju termičku stabilnost. Olefini su hemijski nestabilni i skloni stvaranju smola a pogoršavaju termičku stabilnost goriva (sadržaj ograničen na maksimalno 5% po zapremini). Nizak sadržaj merkaptanskog sumpora (0,001% po masi) strogo se ograničava zbog njegove izražene korozione agresivnosti [3,4]. Shodno međunarodnim standardima, u mlaznim gorivima dozvoljena je primjena *samo propisanih sljedećih aditiva: antioksidanasa, antistatičkih sredstava, inhibitora korozije, biocida i metalnih deaktivatora* [5].

Osnovni podaci o gorivu za mlazne motore, JET A-1 prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o gorivu za mlazne motore JET A-1 [3,4,6]

Red. broj	KARAKTERISTIKE	VRIJEDNOST
1	Izgled	bistra prozirna tečnost bez slobodne vode i vidljivih mehaničkih nečistoća na temperaturi okoline
2	Boja	prijavljuje se
3	Čestice, ukupan broj čestica, mg/l	max 1.0
SASTAV		

4	Ukupna kiselost, mg KOH/g	max 0.015
5	Sadržaj aromata, %v/v	max 25
6	Sadržaj ukupnih aromata, %v/v	max 26.5
7	Sadržaj ukupnog sumpora	max 0.30
8	Sadržaj merkaptanskog sumpora	max 0.003
ISPARLJIVOST		
9	Destilacija: početak, °C	prijavljuje se
	10%v/v postotak predestilisanog, °C	205
	50%v/v postotak predestilisanog, °C	prijavljuje se
	90%v/v postotak predestilisanog, °C	prijavljuje se
	Kraj, °C	max 300
	Ostatak, %v/v	max 1.5
	Gubitak, %v/v	max 1.5
10	Gustina kod 15°C, kg/m ³	max 777.0 do 840.0
OSOBINE TEČLJIVOSTI		
11	Tačka mržnjenja, °C	max – 47.0
12	Kinematička viskoznost na -20°C, mm ² /s	max 8.000
TOPLOTNA MOĆ		
13	Toplotna moć (donja), MJ/kg	min 42.80
STABILNOST		
14	kontrolna temperatura, °C razlika pritiska na filtru, mmHg ocjena taloga na cijevi grijača (vizuelno), razred	max 260 max 25.0 manje od 3
NEČISTOĆE, mg/100 ml		
15	postojeća smola, max s aditivom za poboljšanje provodljivosti ili bez aditiva za poboljšanje provodljivosti	max 7 min 70 min 85
16	Električna provodljivost, pS/m	50 do 600

Antioksidansi imaju ulogu da spriječe gumiranja, dok *antistatička redstva* služe za pražnjenje statičkog elektriciteta i sprječavanje varničenja. *Inhibitori korozije*, npr. DCI- 4A se koristi za civilna i vojna goriva, a DS - 6A se koristi samo za vojna goriva. *Biocidi* sprječavaju pojavu mikrobnih jedinjenja, odnosno bakterija i gljivica koje se mogu naći u sastavu mlaznih goriva (zagađivači mlaznih goriva). *Metalni deaktivator* se dodaje u cilju sprječavanja štetnih uticaja metalnih površina na toplotnu stabilnost goriva.

2. KARAKTERIZACIJA MAZIVA ZA MLAZNE MOTORE

Maziva za mlazne motore se suočavaju s ozbiljnim izazovima, od kojih je najveći izazov toplota, obzirom da moderna kućišta motora postižu temperature maziva u rasponu između 80°C i 100°C, dok se prilikom prečišćavanja ta temperatura podiže i na približno 190°C, uz izlaganje temperaturama uz metalni zid u ležaju komora čak do 300°C i 400°C. Zbog težnje da se avioni u letu učine što je moguće izdržljivijima, kako bi se smanjili troškovi održavanja i produžilo vrijeme između velikih remonta, trenutno više od 40.000 radnih sati za neke civilne motore, onda je jasno, kako maziva moraju biti postojana kroz dugi vremenski period. Maziva se tokom rada motora troše, te ih je potrebno nadoknađivati svježim mazivima. Ne postoje

proizvodi koji bi uklanjali talog nastao izgaranjem maziva (problem pojave redovnog formiranja naslaga taloga koksa usljed visokih temperatura tokom rada motora) a svaki stvoreni talog mora biti uklonjen. U proizvodnji ulja za podmazivanje (maziva) u vazduhoplovnoj industriji, kao najefikasnijim su se pokazali esteri, tj. *di-ester temeljena maziva na bazi di-bazičnih kiselina*, kao što su: sebacijanska kiselina, $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$; azelainska kiselina, $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ i adipinska kiselina, $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ [4].

Mobil Jet Oil II (MOBIL JET OIL II, Product Code 970570) je visoko performansno mazivo za mlazne motore aviona izrađeno kombinacijom visoko stabilne sintetičke bazne tečnosti i jedinstvenog paketa hemijskih aditiva. Sastav ovog maziva je: 1-NAPHTHYLAMINE, N-PHENYL – 1%; ALKYLATED DIPHENYL AMINES – 1– < 5% i TRICRESYL PHOSPHATE – 1– < 3% (koncentracije su procenti po težini, osim ako materijal nije gas). Sintetičko motorno ulje Mobil Jet Oil II je odobreno u skladu sa klasifikacijom standardnih performansi (STD) američke vojne specifikacije MIL-PRF-23699. Karakterizacija ovog ulja prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. Karakteristike ulja Mobil Jet Oil II

(“Orao” a.d Bijeljina; RJ LAB/Sektor Laboratorija za ispitivanje materijala/proizvoda:
 01.06.2021.)

Fizičko-hemijske karakteristike	Rezultati ispitivanja ulja Mobil Jet Oil II	Mobil Jet Oil II (Zahtjev standarda MIL PRF23699F)
Spoljni izgled	bistra narandžasta tečnost	bistra narandžasta tečnost
Specifična težina na 15.6°C, g/cm³ Specifična težina na 15.6 °C/15.6 °C	0.9986 1.0083	ne uslovljava se ali se prijavljuje, type 1.0035
Kinematička viskoznost na 38°C, mm²/s Kinematička viskoznost na 40°C, mm²/s Kinematička viskoznost na 100°C, mm²/s	27.42 25.42 5.01	type 27.7 min 23.0 4.90 – 5.40
Kiselinski broj, mg KOH/g	0.0392	max 1.0
Korozija, Cu traka, 3h 100°C, max	1b	1 b
Tačka paljenja, otvoreni sud, °C	276	min 246
Sadržaj vode	ne sadrži	ne sadrži
Sadržaj mehaničkih nečistoća	ne sadrži	ne sadrži

Efektivni radni opseg ulja Mobil Jet Oil II je između – 40°C i 204°C. Osobine baznih ulja, poboljšavaju se *dodavanjem aditiva* gotovom proizvodu. Osim *poliglikol zgušnjivača*, koji se koristi u 7.5 cSt diester - baznih maziva, za većinu vrsta koristi se i *poliol*.

3. SAGORIJEVANJE MLAZNOG GORIVA I NASTAJANJE PRODUKATA SAGORIJEVANJA

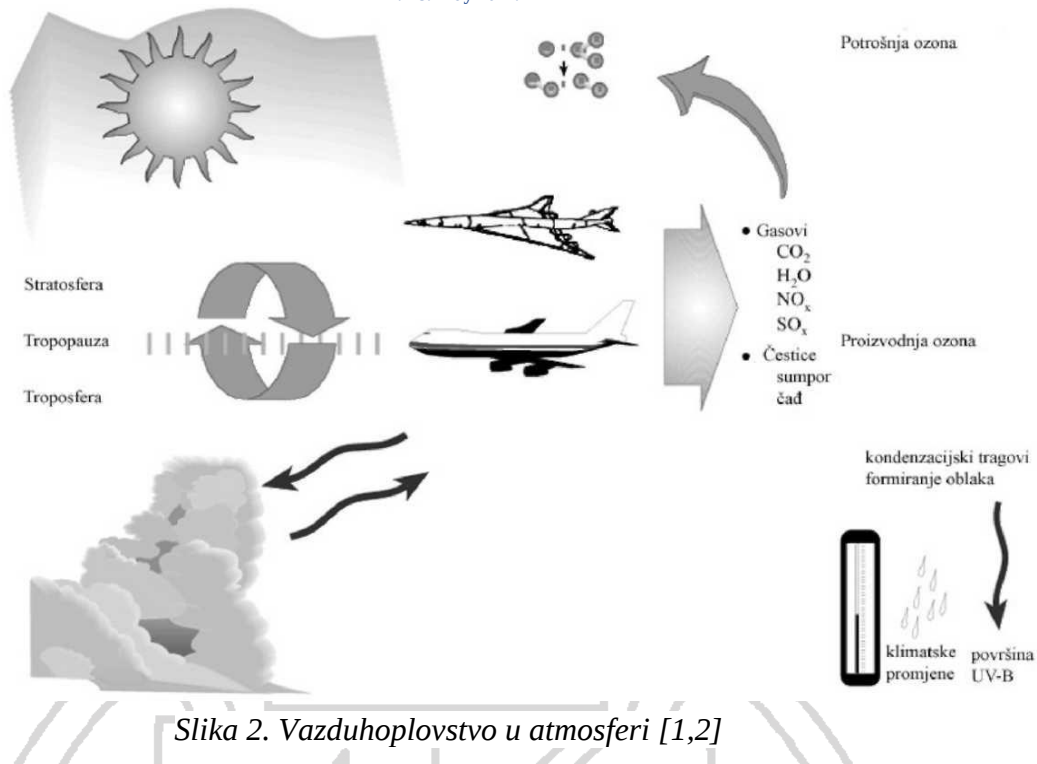
Procesu sagorijevanja mlaznog goriva kod mlaznih motora predhodi stvaranje gorivne smješe koja neprekidno nastaje i sagorijeva, zbog čega proticanje vazduha i goriva mora biti kontinuirano, kako ne bi došlo do prekida procesa sagorijevanja. Vazduh se uvodi kompresorom, preko difuzora u komoru sagorijevanja. Gorivo se, najčešće kroz brizgače, dovodi pumpom visokog pritiska direktno u komoru sagorijevanja. *Nakon ulaska u komoru za sagorijevanje*, gorivna smješa se pali električnom varnicom ili specijalnim gorionicima. Proces gorenja se odvija u veoma brzom oksidaciji gorivnih komponenata uz izdvajanje određene toplotne energije. Na slici 1 prikazan je izgled motora VIPER 632-46.



Slika 1. Izgled motora VIPER 632 – 46 [1,2]

Nakon početnog paljenja i gorenja smješe, tj. pokretanja motora, nastaje proces tzv. stvarnog sagorijevanja gorivne smješe u komori sagorijevanja.

Gasovi i čestice koji nastaju sagorijevanjem pogonskog goriva aviona su: vodena para, H_2O , ugljen dioksid, CO_2 , azot monoksid, NO , azot dioksid, NO_2 (NO i NO_2 zajednički se označavaju kao NO_x), sumporni oksidi, SO_x i čađ. Ovi elementi procesa sagorijevanja pogonskog goriva, se uglavnom zadržavaju u dijelu troposfere koji se odlikuje visokom vlažnošću i nešto višom temperaturom, u čijim donjim slojevima, uglavnom dolazi do zagrijavanja atmosfere a zagrijavanje opada sa porastom visine. Pri letu aviona, proizvodi izgaranja goriva, predstavljaju opasne zagađivače atmosfere, slika 2.



Slika 2. Vazduhoplovstvo u atmosferi [1,2]

Većina aviona leti u predjelu troposfere i donje stratosfere, dakle, na visinama između 9 i 20 kilometara iznad površine zemlje. Komercijalni putnički avioni, danas su isključivo podzvučnog (subsonic) tipa i lete na visinama do 13 kilometara. Većina emisija izduvnih gasova i čestica odvija se na visinama do 13 kilometara iznad zemljine površine. Dio emisije se oslobađa i na površini zemlje (na aerodromima prilikom polijetanja i slijetanja) [2].

Zagađivanje vazduha obuhvata prisustvo jedne ili više materija kao što su: aerosoli (prašine, dimovi, magle), gasovi i pare takvog značaja i u takvim koncentracijama da mogu biti štetni za život i zdravlje ljudi i/ili životinja. Takođe, mogu negativno uticati i na biljni svijet. Iako problem zagađivanja vazduha i negativnih uticaja zagađivača na čovjeka postoji nekoliko stotina godina, ipak mu se nije pridavala posebna pažnja, sve dok nekoliko katastrofalnih primjera takvih zagađivanja nisu prouzrokovale isticanje tog pitanja kao jednog od važnih problema javnog zdravlja današnjice [7,8].

4. ZAKLJUČAK

Goriva i maziva koja se koriste u vazduhoplovstvu razlikuju se od goriva i maziva koja se koriste u drugim oblicima prevoza, prvenstveno zbog različitih fizičkih sila, atmosferskih prilika i konstrukcija motora aviona i helikoptera. U zavisnosti od vrste motora u avionu, koriste se različita goriva i različita maziva. Posljednjih nekoliko decenija mlazni motori aviona koriste mlazno gorivo Jet A-1, koje je po hemijskom sastavu složena smjesa osnovne četiri grupe ugljovodonika: parafina, naftena, aromata i olefina. Njihov sadržaj u gorivu kreće se od 98% do 99%, dok su ostatak od 1% do 2% neugljovodonična jedinjenja S, N, O i u tragovima različiti metali ili jedinjenja koja sadrže metale.

Gasovi i čestice koji nastaju sagorijevanjem pogonskog goriva aviona su: vodena para, H_2O , ugljen dioksid, CO_2 , azot monoksid, NO , azot dioksid, NO_2 (NO i NO_2 zajednički se označavaju kao NO_x), sumporni oksidi, SO_x i čađ. Ne smije se zanemariti značajan uticaj izduvnih gasova sagorijevanja goriva u toku leta aviona na životnu sredinu, za koji se procjenjuje da se svakodnevno povećava sve većim brojem letova. Ispuštanje gasova staklene bašte, ali i prisustvo ekološki neprihvatljivih materija u određenim mazivima, značajan je

ekološki problem. S toga se očekuje da proizvodnja biodizela pogodnog za avione i helikoptere u budućnosti značajno poboljša problem potrošnje goriva i uticaja na životnu sredinu.

5. LITERATURA

- [1] B. Arsenović, E. Banjac: „ECOLOGICAL ASPECTS OF AIRCRAFT EXHAUST GASES AFFECT IN SUM OF GREEN-HOUSE ATMOSPHERE GASES“; International Conference on Innovative Technologies; INTECH 2011; BRATISLAVA; SLOVAKIA; (str. 23 – 25)
- [2] B. Arsenović, Z. Janjuš, E. Banjac: „Uticaj izduvnih gasova aviona na sumu gasova staklene bašte atmosfere“ XIV YUCORR, (2012.)
- [3] Đ. Šilić, V. Stojković i D. Mikulić: „Goriva i maziva“ Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, (2012.)
- [4] R. M. Mortier, M. F. Fox i S. T. Orszulik, Chemistry and Technology of Lubricants, Springer, Sevenhampton, (2010.)
- [5] Global Aviation, Aviation Fuels Technical Review, Chevron Corporation, (2004.)
- [6] G. E. Totten, Fuels and lubricants handbook: technology, properties, performance and testing, ASTM International, Glen Bumie, (2003.)
- [7] M. Stojilković i M. Pavlović: „Utjecaj maziva na okoliš“, *Goriva i maziva*, svez. 48, br. 1, pp. 71-81, (2009.)
- [8] F. Valić: „Zdravstvena ekologija“, Medicinska naklada, Zagreb, (2001.)

