

Dr Milorad Savković,
dipl. inž.
mr Danilo Serdarević,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

PROIZVODNJA PIROPATRONA I RAKETNIH MOTORA PILOTSKIH SEDIŠTA

UDC: 629.7.047 : 623.45

Rezime:

Ovaj rad sadrži opis uspešnog razvoja i proizvodnje piropatrona, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta. Opisan je proces razvoja putem kopiranja stranog rešenja i njihovih modifikacija. Dati su primeri korišćenja te metodologije, razvoj i poređenje rezultata ispitivanja stranih i domaćih rešenja. Objašnjava se i važnost proizvodnje piropatrona, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta.

Ključne reči: piropatrona, pogonsko punjenje, raketni motor, izbacivo pilotsko sedište.

PRODUCTION OF CARTRIDGES AND EJECT SEAT ROCKET MOTORS

Summary:

Scope of this work contains description of successful development and preparation for production of cartridges, propellants and rocket motors for pilot eject seat. Process of development through copying foreign solutions and their modifications is described. There are examples of used methodology for development and comparison of results of tests of foreign and domestic solutions. This work also explains importance of production of cartridges, propellants and rocket motors for pilots eject seat.

Key words: pyro-cartridges, propellant, rocket motor, ejection seat.

Uvod

Piropatrone, pogonska punjenja i raketni motori pilotskih sedišta, kojima je istekao vek upotrebe, otežano su se nabavljali iz uvoza, tako da je devedesetih godina intenziviran razvoj i osvajanje proizvodnje tih proizvoda u našoj zemlji. Osvajanje je obavljeno kopiranjem stranog rešenja, koje je sadržavalo detaljnu identifikaciju stranog rešenja, definisanje zahteva i načina kontrole za domaće rešenje, konstruisanje domaćeg rešenja, primenu materijala i sirovina koje su dostupne, osvajanje tehnologije proizvodnje tih artikala, završno ispitivanje i usvajanje u naoružanje. U radu je dat pregled osvojenih piropatrona, pogon-

skih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta domaće proizvodnje. Dati su primeri postupka identifikacije i osvajanja proizvodnje u domaćim uslovima, kao i značaj ostvarenih aktivnosti.

Tehnički problem koji se rešavao ovim razvojem sastojao se u sledećem: kako izraditi piropatrone, pogonska punjenja i raketne motore pilotskih sedišta, korišćenjem raspoloživih znanja, opreme i sirovina, tako da masa, oblik i dimenzije, kao i fizička, mehanička, energetska i kinetička svojstva domaćih rešenja budu takva da obezbeđuju zahtevane performanse. Takođe, očekuje se da postupak proizvodnje bude bezbedan, a proizvod potrebnog kvaliteta i reproduktivnosti.

Funkcija pilotskog sedišta

Pilotsko sedište ima namenu da u uslovima havarije na avionu, u toku leta ili na pisti, omogući pilotu spasavanje života, katapultiranjem iz pilotske kabine (slika 1), zatim otvaranje padobrana i uspešno prizemljenje. Katapultiranje pilotskog sedišta obavlja se pomoću piropatrone i raketnog motora.



Sl. 1 – Pilotsko sedište

Ceo proces, od trenutka aktiviranja izbacivog sedišta do trenutka prizemljenja, potpuno je automatizovan [1]. U početku katapultiranja pod dejstvom piropatrone sedište klizi duž vođice – teleskopske cevi. Nakon razdvajanja sedišta i teleskopa vrši se aktiviranje raketnog motora. Rad raketnog motora omogućava da se pilot pravovremeno nađe na bezbednosnoj udaljenosti od letelice i da ima odgovarajuću brzinu za pravilnu funkciju padobrana.

Raketni motor i piropatrone pilotskog sedišta moraju da imaju veliku pou-

zdanost. Treba sigurno da deluju i ostvaruju funkciju [2]. Potrebno je da potisak raketnog motora ima minimalno odstupanje od nominalne vrednosti po intenzitetu i pravcu.

Osnovni zahtevi u razvoju piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta sastojali su se u tome da domaće rešenje u celosti odgovara stranom rešenju. Cilj je bio da se domaćim rešenjem izvrši supstitucija stranog, kojem je istekao rok upotrebe.

Pregled osvojenih proizvoda

Početakom devedesetih godina, a posebno u periodu sankcija prema našoj zemlji i kasnije tokom ratnih sukoba, bilo je otežano snabdevanje rezervnih delova za avione i za pilotska sedišta iz uvoza. Međutim, za pravilnu funkciju pilotskih sedišta potrebno je pripadajuće pirotehničke elemente (piropatrone, pogonska punjenja i raketne motore), kojima relativno brzo ističe vek upotrebe, zamenjivati u pravilnim vremenskim razmacima. U tim okolnostima započet je razvoj piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu. Urađen je planski dokument [3], prema kome su sagledane potrebe i sačinjena tehno-ekonomska analiza, koja je pokazala da su troškovi sopstvenog razvoja i opremanja niži od uvoza originalnih pirotehničkih elemenata.

Posle odluke da se nastavi rad, do sada je osvojena proizvodnja 31 piropatrone (tabela 1), dva pogonska punjenja i četiri raketna motora pilotskih sedišta (tabela 2).

Tabela 1

Osvojene piropatrone pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu

Red. broj	Naziv piropatrone	Naziv sedišta ili namena	Izgled
1.	N° 2 MK-2	"Folland" MK-1B	
2.	N° 1 MK-1 (4 grain)		
3.	N° 1 MK-1 (3 grain)		
4.	PK-16	KM-1 Mig-21	
5.	PV-50		
6.	PK-3M-1		
7.	KV-35755-1	MkYU10LB Orao G-4	
8.	KV-35756-1		
9.	KV-62172-1		
10.	KV-61346-2		
11.	KV-3083-RU-1		
12.	KV-62486-1		
13.	KV-91428		
14.	KV-90650		
15.	KV-62122-1		
16.	KV-61592-1		
17.	KV-67190	MkYU8J	
18.	PK-16M	K-36DM Mig-29	
19.	PV-35		
20.	PK-21-M2		
21.	UDP2-1	Piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu	
22.	PV-1M		
23.	PP-3		
24.	PPL-T		
25.	SQUIB		
26.	PDO-1		
27.	R-4		
28.	TVU-1-3D-1		
29.	TVU-1-3D-0.5		
30.	Primarna br.1 MK.2		
31.	Sekundarna br.1 MK.2		

Za svaki od navedenih pirotehničkih elemenata u tabelama 1 i 2, obavljeno je:

- identifikacija karakteristika originalnog rešenja,

- definisanje taktičko-tehničkih zahteva,
- definisanje načina ispitivanja i kontrole proizvoda,
- konstruisanje i odabir materijala,
- osvajanje proizvodnje i specijalnih tehnologija,
- završno ispitivanje,
- usvajanje u naoružanje,
- serijska proizvodnja za opremanje i izvoz.

Tabela 2

Osvojena pogonska punjenja i raketni motori pilotskih sedišta

Red. broj	Naziv raketnog motora ili pogonskog punjenja	Mesto ugradnje	Izgled
1.	KM 3340RU	Prednje sedište MkYU10LB	
2.	KM 3341RU	Zadnje sedište MkYU10LB	
3.	KM 3138RU	Prednje sedište MkYU10J	
4.	KM 3139RU	Zadnje sedište MkYU10J	
5.	PZ-M	Sedište KM-1 Miga-21	
6.	PZ-AM	Sedište K36-DM Miga-29	

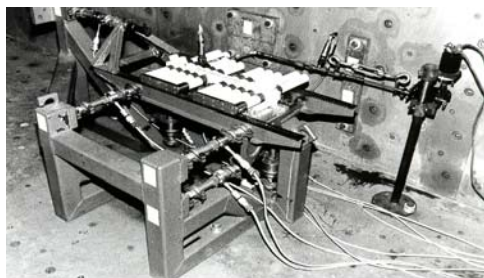
Osvajanje proizvodnje

Posle identifikacije stranog rešenja (utvrđivanje dimenzija, fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika), definisani su taktičko-tehnički zahtevi i dozvoljena odstupanja pojedinih veličina. Na osnovu zahteva izvršeno je projektovanje domaćeg rešenja, koje je, pored ostalog, moralo da odgovara, i po izgledu i boji, stranom rešenju.

U svim ovim aktivnostima su, za učešćem TN, i angažovani stručnjaci iz VTI, Fabrike „4. novembar“ – Mojkovac, HK „Krušik“ – Valjevo i HI „MB“ – Lučani.

Identifikacija karakteristika raketnog motora pilotskog sedišta na osnovu statičkih opita

Za potrebe ispitivanja raketnog motora pilotskog sedišta korišćen je višekomponentni opitni sto [4], pomoću kojeg su utvrđeni podaci o prostornom rasporedu sila i momenata tokom rada raketnog motora [5]. Raketni motor, čije se performanse određuju, postavljen je na opitni sto čija je opšta konfiguracija prikazana na slici 2.



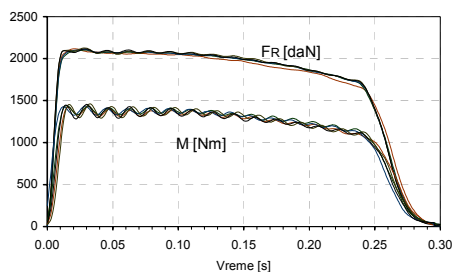
Sl. 2 – Ispitivanje raketnog motora pilotskog sedišta

Uz opitni sto pridodata je i instalacija za merenje pritiska i to, kako u komori raketnog motora, tako i u lancu pripale čija instalacija je sprovedena uz sam opitni sto (slika 2).

Određivanje vektora potiska raketnog motora izbacivog pilotskog sedišta podrazumeva određivanje intenziteta i napadne linije ovog vektora u funkciji vremena. Tokom rada raketnog motora na opitnom stolu mere se tri komponente (F_x , F_y i F_z) glavnog vektora sistema $F_R(t)$ i tri komponente (M_x , M_y i M_z) glavnog momenta sistema $M(t)$.

Radi određivanja intenziteta i pravca delovanja potiska izvršen je veći broj statičkih opita sa originalnim i domaćim raketnim motorima pilotskih sedišta [6]. Odgovarajućom obradom rezultata merenja za svaki opit određeni su totalni impuls rezultujuće sile, integral glavnog momenta i srednja vrednost ugla između glavnog vektora sile i momenta.

Tipični dijagrami rezultujuće sile i momenta raketnog motora pilotskog sedišta u funkciji vremena prikazani su na slici 3.



Sl. 3 – Rezultujuća sila i moment raketnog motora pilotskog sedišta

U eksperimentima je dobijena zadovoljavajuća reproduktivnost rezultata, utvrđeno je da je ugao između glavnog vektora sile i momenta $\delta \cong 90^\circ$. Međutim, u realnim uslovima rada motora na opitnom stolu, usled grešaka merenja komponenti i karakteristika motora, dobija se odstupanje ugla δ od nominalne vrednosti. Utvrđeno je da se odstupanje ugla δ u realizovanim opitima kretalo u granicama $\pm 1^\circ$. Moment kolinearan sa centralnom osom sistema je zanemarljiv, što omogućuje da se pilot pri katapultiranju, tokom rada raketnog motora, ne obrće oko pravca delovanja sile [7].

Razvoj domaćeg rešenja pogonskog punjenja za ugradnju u raketni motor pilotskog sedišta

Pri rešavanju problema nije vršeno slepo kopiranje sastava stranog originalnog pogonskog punjenja već je definisano domaće pogonsko punjenje koje daje iste performanse kao u eksperimentalnom raketnom motoru. Projektovanje pogonskog punjenja obavljeno je tako što su identifikovane karakteristike originalnog pogonskog punjenja (geometrijske, energetske i mehaničke), zatim su određeni potisak i pritisak na statičkim opitima u eksperimentalnom motoru, koji približno odgovara originalnom raketnom motoru, i na osnovu tih karakteristika definisani početni zahtevi za domaće rešenje pogonskog punjenja.

Domaće rešenje pogonskog punjenja razvijeno je uhodanom procedurom sa domaćim sirovinama, postupkom presovanja u alatima uz statičke opite za određivanje brzine sagorevanja, karakteri-

zaciju pogonske materije i statičke opite u eksperimentalnom motoru.

Izvršen je razvoj domaćih pogonskih punjenja PZ-M i PZ-AM raketnih motora pilotskih sedišta KM-1 aviona Mig-21, odnosno K-36DM aviona Mig-29. Izrađeni su eksperimentalni raketni motori (slika 4) čija unutrašnjost u potpunosti odgovara originalnom raketnom motoru pilotskog sedišta.

Eksperimentalni motor je konstruisan tako da najvernije odslikava originalno rešenje raketnog motora pilotskog sedišta, pri čemu je vođeno računa da se mora koristiti u većem broju opita, kao i da bude pogodan za merenje potiska i pritiska.

Analizom stranog rešenja utvrđeno je da potisak deluje pod određenim prostornim uglom u odnosu na osu motora, što je ispoštovano u rešenju za eksperimentalni raketni motor.



Sl. 4 – Eksperimentalni raketni motor ERM

Takođe, izrađeni su eksperimentalni motori koji su služili za ispitivanje brzine i zakonitosti brzine sagorevanja pogonskog punjenja.

Određivanje brzine sagorevanja pogonskih punjenja, vršeno je na temperaturama -30 , 20 i 50°C u eksperimentalnim raketnim motorima FLS-2. Eksperimenti su urađeni sa različitim vrednostima koeficijenta Kn (Kn predstavlja odnos površina protočnog preseka za produkte sagorevanja u komori raketnog motora i kritičnog preseka mlaznika).

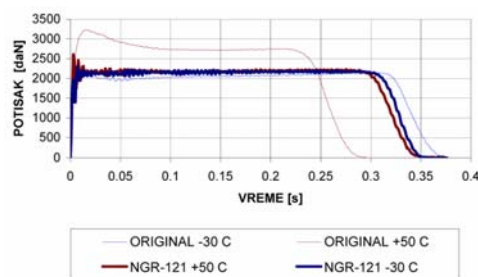
Završna operacija izrade dvobaznog goriva, od koga se izrađuju barutna zrna, obavlja se ekstrudovanjem pomoću prese sa specijalnim alatom.

Na statičkom ispitivanju pogonskog punjenja dobijene su reproduktivne vrednosti izmerenih unutrašnjebalističkih veličina, tako da su odstupanja izmerenih pojedinačnih unutrašnjebalističkih veličina za grupe opita na određenoj temperaturi, u okviru greške merenja, i iznose približno 1%.

Ujednačenost rezultata izmerenih veličina najočiglednija je na primeru izvršenih opita prototipske partije pogonskog punjenja [10] na normalnoj temperaturi ($+20^{\circ}\text{C}$), pri čemu se ne uočavaju razlike za pogonska punjenja koja nisu prethodno maltretirana u odnosu na ona koja su podvrgnuta vibriranju, veštačkom starenju i temperaturskom cikliranju. Domaće pogonsko punjenje je reproduktivno, stabilno i nije osetljivo na vibracije i očekivane eksploatacione uslove u budućoj primeni.

Domaće pogonsko punjenje je male temperaturske osetljivosti, za razliku od originalnog rešenja pogonskog punjenja kod koga je odstupanje pojedinih veličina utvrđeno merenjem na temperaturama $+50^{\circ}\text{C}$ i -30°C [9].

Dobijene vrednosti unutrašnjebalističkih veličina na statičkim opitima sa domaćim pogonskim punjenjem, kao što su vreme rada raketnog motora, maksimalni pritisak, integral pritiska i potisak su unutar granica koje definiše rezultat statičkog ispitivanja originalnog, stranog, pogonskog punjenja. To se može jasno uočiti na zajedničkom dijagramu za potisak (slika 5), na kome su dati rezultati statičkog ispitivanja tipičnih dijagrama originalnog pogonskog punjenja na temperaturi -30°C i $+50^{\circ}\text{C}$ i u isto vreme rezultati ispitivanja domaćeg pogonskog punjenja na istim temperaturama.



Sl. 5 – Uporedni prikaz izmerenog potiska na statičkim opitima domaćeg i originalnog pogonskog punjenja PZ-AM

Manji eksponent pritiska u izrazu za brzinu sagorevanja dvobaznog raketnog goriva i manja temperaturska osetljivost razvijenog domaćeg pogonskog punjenja u odnosu na strano rešenje, omogućava ujednačeniji i bezbedniji rad raketnog motora pilotskog sedišta.

Doprinosi u projektovanju i konstruisanju

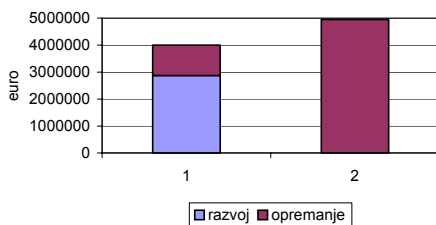
Identifikaciona ispitivanja originalnih uzoraka piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta

omogućila su definisanje početnih taktičko-tehničkih zahteva za razvoj domaćih rešenja, a analiza ugrađenih materijala i pirotehničkih elemenata originalnih delova omogućila je konstruisanje i izradu eksperimentalnih raketnih motora za realizaciju statičkih opita provere unutrašnje-balističkih karakteristika. Dobijeni rezultati sa domaćim rešenjima, ukazuju da je u našim uslovima moguće proizvesti piropatrone, pogonsko punjenje i raketne motore pilotskih sedišta zadovoljavajućeg kvaliteta, za avione Orao, G4, Mig-21, Mig-29 i druge.

Masa, oblik i dimenzije, kao i fizička, mehanička, energetska i kinetička svojstva domaćih rešenja pirotehničkih elemenata pilotskih sedišta obezbeđuju zahtevane balističke performanse, pri čemu je postupak proizvodnje bezbedan, a proizvod potrebnog kvaliteta i reproduktivnosti.

Značaj osvajanja proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta je velik, jer zemlju oslobađa uvozne zavisnosti.

Ekonomski značaj je u tome što su ostvarene uštede. Troškovi razvoja i opremanja sa domaćim pirotehničkim elementima pilotskih sedišta su niži od troškova uvoza originalnih komponenti (sl. 6) [3].



Sl. 6 – Upoređenje troškova:
1 – domaći razvoj i opremanje i 2 – uvoz

Zaključak

Osvajanje proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta, u otežanim uslovima, uz primenu svih procedura i kriterijuma za prijem sredstava NVO, koje propisuju postupci razvoja i osvajanja u Ministarstvu odbrane, Upravi za odbrambene tehnologije, ukazuje da je moguće ostvariti sopstveni razvoj i proizvodnju i najsloženijih sredstava.

Osvajanje proizvodnje postupkom kopiranja je svrsishodan metod i opravdan u datim okolnostima. Dobijeni proizvodi NVO omogućuju zadovoljenje domaćih potreba i eventualni izvoz. Nije potrebno obezbeđenje posebnih sredstava za uvoz.

Na ovaj način domaća namenska industrija osvaja nove tehnologije i metode ispitivanja. Primena navedene metodologije osvajanja omogućuje osvajanje proizvodnje i za proizvode sa civilnog tržišta.

Literatura:

- [1] Mark Hewish, Bringing safety down to earth, Janes internacional, defense review, N°5, pp. 48–53, 1999.
- [2] Winn, A., Fast exit, FLIGHT Internacional, 18–24 June, pp. 56–60, 1997.
- [3] Savković, M.: Razvoj raketnih motora i piropatrone pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu, Program realizacije VTI-03-01-0321, 1994., str. 56.
- [4] Lazić, R., Petrić, A.: Primena savitljivih elemenata u ispitivanju raketnih motora, NTP, Vol XXXIV, br. 2, pp. 19–28, 1984.
- [5] Savković, M.: Određivanje potiska raketnog motora pilotskog sedišta na višekomponentnom opitnom stolu, NTP, Vol XLVII, br. 3., pp. 17–20, 1997.
- [6] Nenadović, Lj.: Rezultati ispitivanja PP raketnih motora pilotskih sedišta MB na višekomponentnom stolu, Izveštaj VTI-03-01-0386, Beograd, 1997.
- [7] Savković, M., Analiza kretanja pilotskog sedišta u početnom periodu katapultiranja, NTP, Vol XLVIII, br. 4, pp. 17–20, 1998.
- [8] Serdarević, D.: Ispitivanje prototipske partije pirotehničkog punjenja pirotehničkog R-4, Elaborat VTI-02-01-0838, Beograd, mart 2004.
- [9] Kapor, V.: Rezultati identifikacionog ispitivanja originalnog pogonskog punjenja PZ-AM (serije 2-89) raketnog motora pilotskog sedišta K-36DM, Elaborat VTI-04-01-0191, 2000., str. 68.
- [10] Kapor, V.: Raketni motor pilotskog sedišta K-36DM, Razvoj prototipske partije pogonskog punjenja PZ-AM (NGR-121), Elaborat VTI-04-01-0334, 2003., str. 98.