

Prilježivanje raketnog motora aktivnoreaktivnog projektila u cevi oruđa

Miodrag Lisov, dipl.inž.¹⁾
Mr Zorica Subotić, dipl.inž.¹⁾

Razmotrena je koncepcija nevedenog aktivnoreaktivnog projektila sa raketnim motorom malog intenziteta potisne sile, kojim se ostvaruje uravnoteženje aerodinamičkih otpora za sve vreme leta. Prikazane su prednosti prilježivanja raketnog motora aktivnoreaktivnog projektila u cevi oruđa u odnosu na prilježivanje inercijalnim prilježnim mehanizmom, koje se ostvaruje van cevi oruđa, na početnom delu putanje. Prikazani su eksperimentalni rezultati obavljani na raketnom motoru, a data je i teorijska analiza uticaja prilježivanja raketnog motora u cevi oruđa na dinamiku leta.

Cljučne reči: raketni motor, prilježivanje, potisak, dinamika leta, aerodinamika, verovatnoća.

Korišćene oznake i simboli

U_o	– realizovana početna brzina,
W_X	– realizovana brzina uzdužnog vetra,
W_Z	– realizovana brzina bočnog vetra,
Θ_o	– realizovana vrednost elevacionog ugla,
ϑ_o	– realizovana vrednost početnog poremećaja u vertikalnoj ravni,
ψ_o	– realizovana vrednost početnog poremećaja u horizontalnoj ravni,
ω_o	– realizovana vrednost uzdužne rotacije,
m	– realizovana masa,
I_x, I_z	– uzdužni i poprečni moment u pasivnoj fazi leta,
I_{xA}, I_{yA}	– uzdužni i poprečni moment u aktivnoj fazi leta,
X_G, X_{GA}	– realizovani centar mase u pasivnoj, odnosno aktivnoj fazi leta,
F	– realizovana sila potiska,
t_N	– realizovano vreme gorenja raketnog goriva,
η	– srednja normirana vrednost pojedinih veličina za χ^2 raspodelu,
σ	– srednje kvadratno odstupanje pojedinih veličina.
p_{max}	– maksimalni radni pritisak u komori raket. motora,
p_{sr}	– srednji radni pritisak u komori raketnog motora,
p_{m1}	– maksimalni radni pritisak u komori visokog pritiska dvokomornog raket. motora
p_{m2}	– maksimalni radni pritisak u komori niskog pritiska dvokomornog raket. motora
$\tau_{efek.}$	– efektivno vreme rada raketnog motora,
F_{max}	– maksimalna vrednost potiska raketnog motora,
F_{sr}	– srednja vrednost potiska raketnog motora,
I_{integ}	– integral potiska,
I_{spec}	– specifični impuls,

I_{tot}	– totalni impuls raketnog motora,
d_{kr}	– kritični prečnik mlaznika raket. motora,
t	– radna temperatura,
W_p	– masa pripale
t_n	– trenutak prilježivanja raketnog motora i
t_{ok}	– trenutak otvaranja krilaca,
v_p, v_v	– verovatno odstupanje po pravcu i visini za slučaj prilježivanja RM inercijalnim prilježnim mehanizmom van cevi oruđa,
v_{p1}, v_{v1}	– verovatno odstupanje po pravcu i visini za slučaj prilježivanja RM u cevi oruđa.

U v o d

ANALIZIRAJUĆI moguća rešenja aktivnoreaktivnog projektila predviđenog za upotrebu iz bestrzajnog oruđa, odabrana je varijanta raketnog motora koji obezbeđuje mali intenzitet potisne sile u toku leta projektila.

U toku aktivne faze, kretanjem kroz cev oruđa, projektil se ubrzava sagorevanjem barutnog punjenja, nakon čega počinje reaktivna faza kretanja projektila.

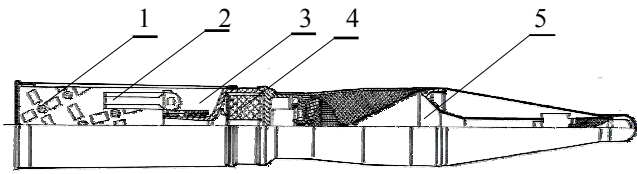
Aerodinamički otpori se sve vreme leta uravnotežavaju odgovarajućom potisnom silom raketnog motora, što omogućava da brzina projektila ostaje nepromenjena. Na ovaj način se sprečava let projektila kroz transsoničnu oblast, što može izazvati povećano rasturanje pogodaka na cilju.

Kod aktivnoreaktivnih projektila prilježivanje raketnog motora se ostvaruje uglavnom inercijalnim prilježnim mehanizmom po napuštanju cevi oruđa, što predstavlja dodatni poremećaj na projektilu.

Radi eliminisanja ovog poremećaja najsigurnije je da se prilježivanje raketnog motora obavi u cevi oruđa.

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

Pojednostavljenjem konstrukcije ovakvog aktivnoreaktivnog projektila bez inercijalnog pripaljnog mehanizma, sl.1, smanjeni su gabariti i masa projektila.



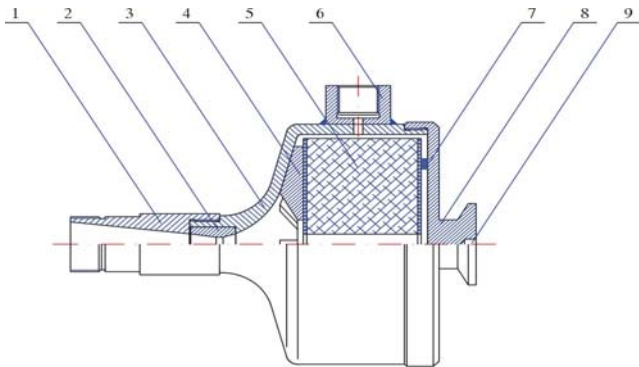
Slika 1. Aktivnoreaktivni projektil: 1- barutno punjenje, 2- krilca, 3- sagorljiva čaura, 4- raketni motor, 5- bojova glava

Tokom kretanja projektila kroz cev oruđa dolazi do prodora vrelih produkata sagorevanja barutnog punjenja kroz grlo mlaznika, što dovodi do pripaljivanja raketnog goriva. Prilikom strujanja vrelih barutnih gasova iz komore oruđa u raketni motor, mlaznik kritičnog prečnika ≈ 7 mm ponaša se kao prigušni element, pa se u komori raketnog motora postiže niži nivo pritiska nego u komori oruđa.

Na ovaj način se mogu izbeći poremećaji koji bi mogli nastati na putanji projektila usled pripaljivanja raketnog motora inercijalnim pripalnim mehanizmom neposredno po napuštanju cevi.

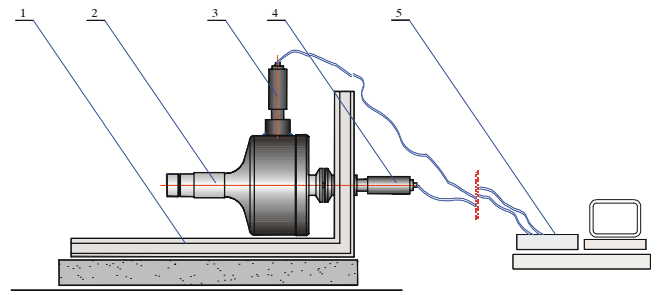
Ekperimentalna provera

Radi definisanja osnovnih unutrašnjebalističkih karakteristika raketnog goriva [1], u statičkim uslovima, urađen je eksperimentalni raketni motor, sl.2, pri čemu je korišćena merna oprema prikazana na sl.3. U toku ispitivanja korišćena je pripala od crnog baruta N^o7, mase ω_p od 3 g do 5 g, a u grlu mlaznika postavljena je aluminijumska membrana debljine $\delta = 0,5$ mm. Kritični prečnici mlaznika su varirani od 5 mm do 7 mm pri čemu je usvojeno rešenje sa prečnikom mlaznika $d_{kr} = 7$ mm. Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 1.



9. Приклучок 3

Slika 2. Eksperimentalni motor: 1- mlaznica, 2- umetak, 3- komora, 4- rešetka, 5- pogonsko punjenje, 6- priključak za pritisak, 7- kompenzator, 8- dance, 9- priključak za potisak



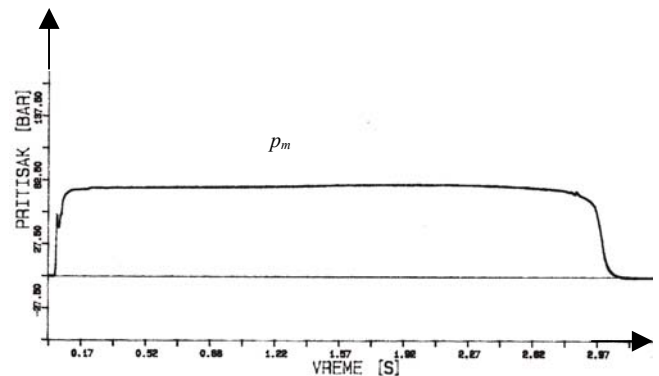
MERNA OPREMA

Slika 3. Eksperimentalni motor i merna oprema: 1- opitni sto, 2- eksperimentalni motor, 3- davač pritiska, 4- davač potiska, 5- računar

Tabela 1.

p_{max} (MPa)	p_{sr} (MPa)	τ_{efek} (s)	F_{max} (N)	F_{sr} (N)	I_{integ} (N·s)	I_{spec} (N·s/kg)	d_{kr} (mm)	t (°C)
10,6	9,7	2,4	925	545	1297	1980	7,0	+50
7,9	7,6	2,9	490	465	1278	1951	7,0	+20

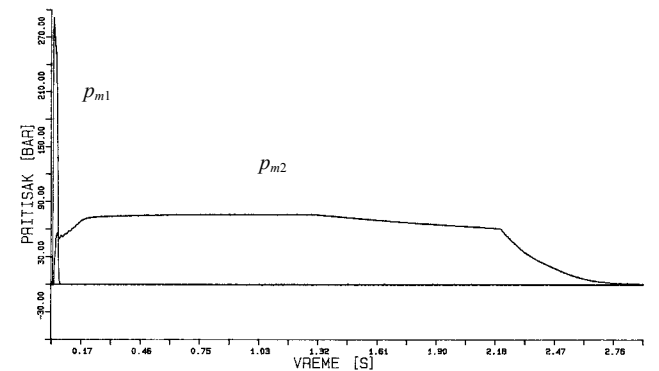
Na grafiku 1 prikazana je kriva pritiska p_m u funkciji vremena, a opit je izveden u eksperimentalnom motoru.



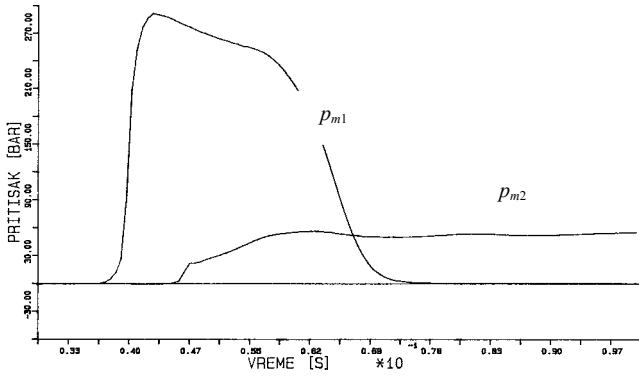
Grafik 1.

Tokom ispitivanja korišćeno je dvobazno raketno gorivo čija brzina gorenja pokriva raspon od 8-10 mm/s pri radnom pritisku od 60-120 bar.

Način pripaljivanja raketnog motora vrelim produktima sagorevanja u statičkim uslovima proveren je u dvokomornom raketnom motoru a rezultati su prikazani na grafiku 2, odnosno uvećano, na grafiku 3.

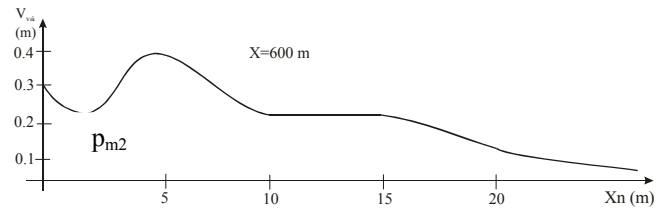


Grafik 2.



Grafik 3.

su dali zavisnost promjene vjerovatnog odstupanja pogodaka zbog početnih impulsa $v_{v\acute{a}}$ u funkciji mesta pripaljivanja raketnog motora x_n , odnosno trenutka pripaljivanja t_n (mereno od trenutka kada projektil napušta usta cevi). Rezultati su prikazani na grafiku 4.



Grafik 4.

Dinamička analiza leta projektila

Prilikom dinamičke analize leta, poremećaja i slike rasturanja ovog projektila, korišćeno je programsko rešenje matematičkog modela leta projektila sa šest stepeni slobode kretanja koje uzima u obzir aerodinamičku nestacionarnost koeficijenata sila i momenata u fazi otvaranja krilaca stabilizatora posle napuštanja usta cevi topa.

Takođe, programsko rešenje može uzeti u obzir uticaj rasturanja trenutka pripaljivanja raketnog motora, za slučaj pripaljivanja pomoću inercijalnog pripaljnog mehanizma, u okviru tehnološko-tehničkih zahteva kao i ostalih konstrukcionih, tehnoloških i dinamičkih parametara.

Osnovno programsko rešenje modeliranja gađanja na vertikalnu metu [2] predviđeno je kao opšte za tu klasu projektila, i koristi osnovne dinamičke jednačine [3 i 4], a zasnovano je na matematičkom modelu kretanja projektila kao krutog tela sa 6 stepeni slobode kretanja, opisanim sistemom diferencijalnih jednačina (4.12,1 do 4.12,4) u [5] i metode Monte-Karlo za simulaciju rasturanja slučajnih veličina uz proširenje sledećim jednačinama koje simuliraju rasturanje meteobalističkih, polaznih i konstrukcionih parametara.

Parametri dati u ovim jednačinama su označeni uobičajenim oznakama u dinamici leta.

– meteobalistički parametri :

$$U_o = \bar{U}_o + \eta_1 \sigma_{U_o}$$

$$W_X = W_{Xsr} + \eta_5 \sigma_{W_X}$$

$$W_Z = W_{Zsr} + \eta_6 \sigma_{W_Z}$$

– polazni parametri:

$$\Theta_o = (\bar{\sigma}_o + \eta_2 \sigma_{\sigma_o}) \cos(360\xi_1) / 57.3$$

$$\vartheta_o = (\bar{\sigma}_o + \eta_2 \sigma_{\sigma_o}) \sin(360\xi_1) / 57.3$$

$$\psi_o = \bar{\psi}_o + \eta_3 \sigma_{\psi_o}$$

$$\omega_o = \bar{\omega}_o + \eta_4 \sigma_{\omega_o}$$

– konstrukcioni parametri:

$$m = \bar{m} + \Delta m / 2(2\xi_2 - 1)$$

$$I_x = \bar{I}_{Xs} + \eta_7 \sigma_{I_x}; I_y = \bar{I}_{Ys} + \eta_8 \sigma_{I_y}$$

$$X_g = \bar{X}_g + \eta_9 \sigma_{X_g}; X_{gA} = \bar{X}_{gA} + \eta_{10} \sigma_{X_{gA}}$$

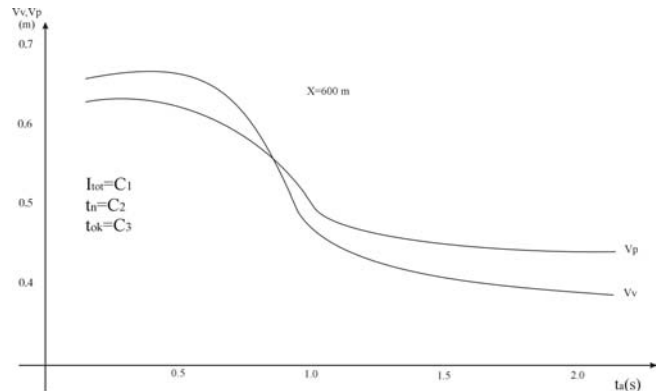
$$I_{xA} = \bar{I}_{XA} + \eta_{11} \sigma_{I_{xA}}; I_{yA} = \bar{I}_{yA} + \eta_{12} \sigma_{I_{yA}}$$

$$F = \bar{F} + \eta_{13} \sigma_F; t_N = \bar{t}_N + \eta_{14} \sigma_m$$

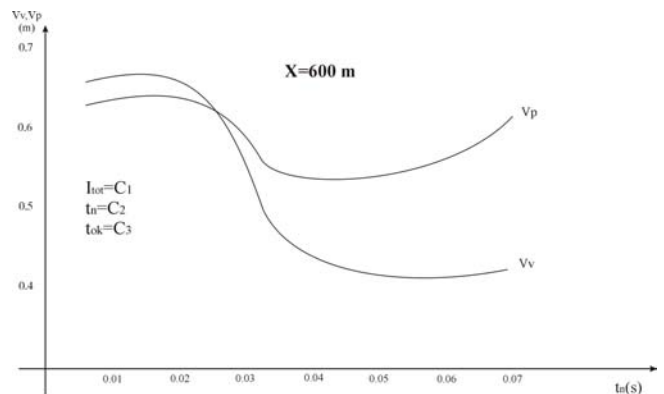
Na osnovu analiza izvršenih u [6] dobijeni su parametri leta, geometrijske i konstrukcione karakteristike projektila. Da bi se izvršio proračun rasturanja pogodaka na meti, usvojeno je da oruđe ima slične parametre rasturanja kao kod nekih već realizovanih bestrajzajnih sistema. Proračuni

Na grafičkom prikazu se vidi da se za konkretnu konstrukciju uticaj početnog poremećaja vezanog za trenutak pripaljivanja raketnog motora kreće između 0,20 i 0,40 metara, računato za domet $X=600$ m.

Date analize [7] pokazuju da za zadatu konstrukciju krive promene vjerovatnih odstupanja nisu glatke. Razlog za ovakve zavisnosti je u tome što analiza obuhvata uticaje više parametara koji vremenom menjaju svoj intenzitet. Na graficima 5 i 6 prikazane su zavisnosti vjerovatnih odstupanja po pravcu v_p i visini v_v od vremena rada raketnog motora t_a i trenutka pripaljivanja t_n , za definisane dinamičke uslove.



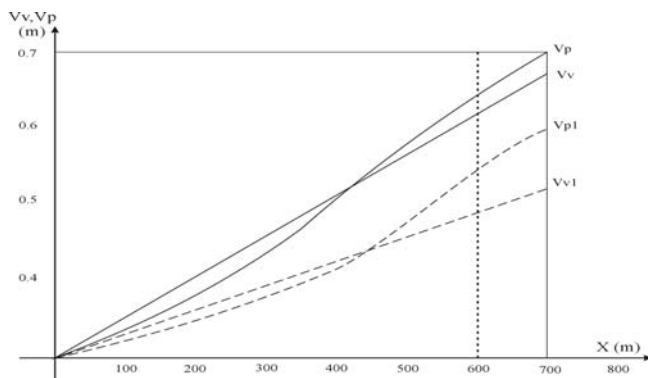
Grafik 5.



Grafik 6.

Na grafiku 6 vidi se uticaj trenutka pripaljivanja raketnog motora t_n , za projektovani projektil, na rasturanje pogodaka po visini v_v , odnosno po pravcu v_p .

Uticaj poremećaja na putanji izazvan pripaljivanjem raketnog motora je od posebnog značaja kod klase aktivnoreaktivnih nevođenih projektila, što se kasnije manifestuje kroz povećanu osetljivost projektila na bočni vetar, te je isključivanje ovog poremećaja vrlo značajno. Radi procene očekivanog doprinosa realizovane konstrukcije bez inercijalnog pripalnog mehanizma, izvršeni su proračuni modeliranjem gađanja na vertikalnu metu i dobijeni su uporedni rezultati dati na grafiku 7.



Grafik 7.

Zaključak

Analizom rezultata proračuna utvrđeno je da se pripaljivanjem raketnog motora u cevi oruđa mogu ostvariti

sledeće prednosti:

- jednostavnija konstrukcija projektila,
- isključivanje uticaja početnog impulsa na rasturanje projektila zbog pripaljivanja raketnog motora na putanji,
- isključivanje uticaja trenutka pripaljivanja raketnog motora i njegovog tehnološkog odstupanja na rasturanje pogodaka,
- kao krajnji rezultat očekuje se smanjenje rasturanja po pravcu v_p sa 0,65 m na 0,55 m i smanjenje rasturanja po visini v_v sa 0,62 m na 0,48 m na dometu $\bar{X}m = 600$ m.

Literatura

- [1] LISOV, M., MASLAK, P. *Statička ispitivanja raketnog motora za bestrzajno protivoklopno sredstvo BST 120 mm*. Int. dok. VTI 02 01 0569, Beograd, 2000.
- [2] SUBOTIĆ, A.Z. *Matematičko modeliranje slike pogodaka aktivnoreaktivnih projektila na vertikalnoj meti*. Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Niš, 1995.
- [3] GANTMAHER, F.R., LEVIN, L.M. *Teorija paljota neupravljenih raket*. Fizmatgiz, Moskva, 1959.
- [4] JANKOVIĆ, D.S. *Spoljna balistika*. VIZ, Beograd, 1977.
- [5] ETKIN, B. *Dynamics of flight-stability and control*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- [6] SUBOTIĆ, A.Z., UGRČIĆ, M., RISTIĆ, P., ĐORĐEVIĆ, V., CEROVIĆ, P., LISOV, M., ŽEGARAC, N. *Analiza bestrzajnog protivoklopnog sistema 120 mm*. Int. dok. VTI 02 01 0469, Beograd, 1996.
- [7] SUBOTIĆ, A.Z. *Prilog smanjenju rasturanja projektila BPOS-MD i BPOS-BD*. Int. dok. VTI 02 01 0180, Beograd, 1988.

Rad primljen: 11.6.2002.god.

