

## Merenje prigušnih karakteristika Basic finner modela u trisoničnom aerotunelu T-38

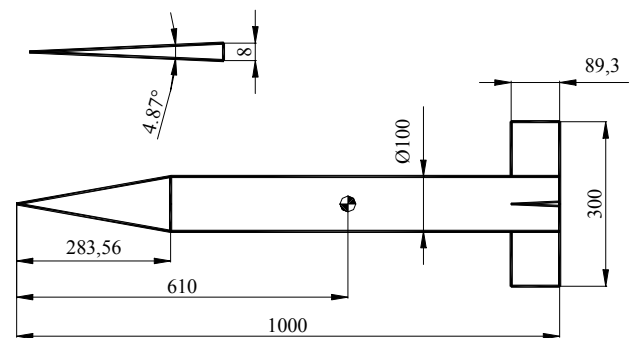
Mr Zoran Anastasijević, dipl.inž.<sup>1)</sup>  
Dragan Marinkovski, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Ispitivanje u aerotunelu je izvedeno na modelu rakete na Mahovim brojevima od 0.2 do 2.0. Za dobijanje derivativa stabilnosti na Basic finner modelu korišćen je uređaj za merenje prigušenja u propinjanju pri napadnim uglovima modela do 20°. Dobijeni prigušni derivativi u propinjanju su izrazito nelinearne funkcije od napadnog ugla. Ispitivanje i verifikacija uređaja za merenje prigušnih derivativa u propinjanju/skretanju je izvršeno zbog izuzetno izraženog interesa za merenje dinamičkih derivativa stabilnosti u aerotunelu T-38.

*Ključne reči:* Eksperimentalna aerodinamika, dinamički derivativi stabilnosti, aerotunel, Basic finner model.

### Korišćene oznake i simboli

$\alpha$	– napadni ugao
$f$	– frekvencija oscilovanja
$Cm_\alpha$	– koeficijent statičkog derivativa stabilnosti momenta propinjanja usled promene napadnog ugla
$Cm_q + Cm_\alpha$	– koeficijent prigušnog derivativa stabilnosti u propinjanju
Re	– Rejnoldsov broj u odnosu na prečnik modela
$M$	– Mahov broj



Slika 1. Basic finner model

### U v o d

PRIGUŠNI derivativi u propinjanju, skretanju i valjanju imaju snažan uticaj na ponašanje letelice u određenom kretanju, pogotovo kod vitkih tela sa uzgonskim površinama. Teorijski proračun se primenjuje kod kretanja sa malim napadnim uglom. Za proračun dinamičkog ponašanja takvih letelica potrebni su podaci na velikim napadnim uglovima.

Merenje prigušenja u propinjanju je izvršeno na Basic finner modelu Mahovim brojevima 0.2, 1.5 i 2.0 korišćenjem prinudnih oscilacija sa malim amplitudama. Basic finner model je opšteprihvaćen kao kalibracioni model, sastoji se od konusa i cilindra sa četiri krila (sl.1). Postavni ugao krila je 0°. Prečnik modela je  $D = 0.1\text{m}$  a dužina  $L = 1.0\text{m}$ . Model je izrađen od duraluminijuma.

Cilj ispitivanja je potvrđivanje primenljivosti korišćene metode. Dobijeni rezultati ispitivanja su upoređeni sa raspoloživim eksperimentalnim podacima i izračunatim vrednostima prigušnih derivativa korišćenjem programskog paketa DMAC.

### Opis uređaja za merenje prigušenja u propinjanju

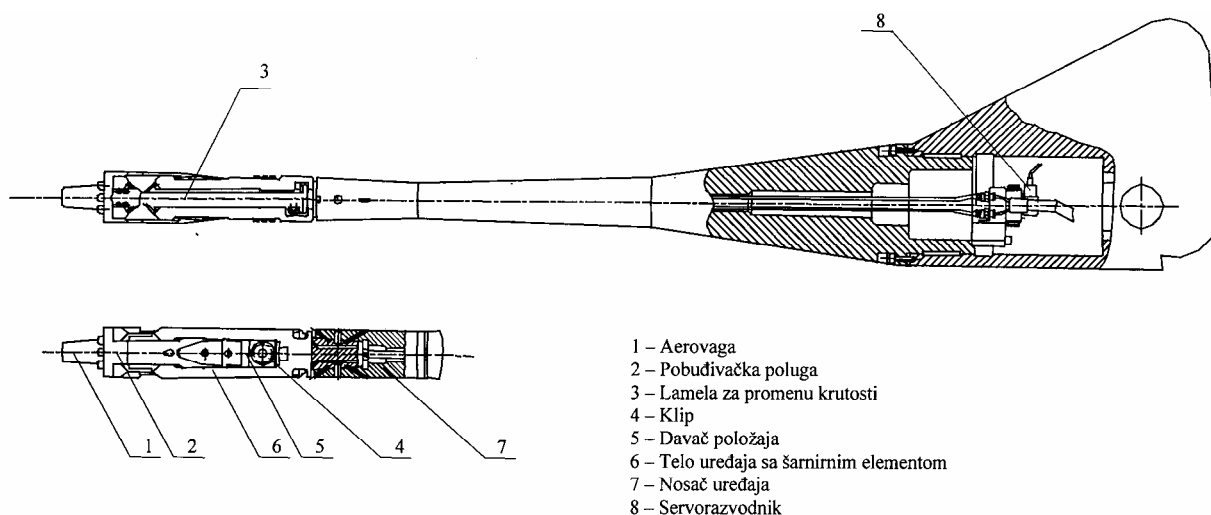
Uređaj za merenje prigušenja u propinjanju se sastoji od sledećih delova:

- repnog držača;
- elastičnog držača, koji karakteriše visoka elastičnost u primarnom stepenu slobode, a visoka krutost u ostalim stepenima slobode. Visoka elastičnost se zahteva da bi se omogućilo kretanje modela, dok je krutost u drugim ravnima neophodna da bi se podnela visoka aerodinamička opterećenja uz zanemarljive ukupne defleksije;
- aerovaga koja meri aerodinamičke reakcije u sekundarnim ravnima prouzrokovane primarnim oscilatornim kretanjem. Aerovaga je izrađena iz jednog komada čelika. Krutost aerovage je visoka u svim stepenima slobode da bi se defleksije svele na najmanju moguću meru;

<sup>1)</sup> Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

- pogonskog mehanizma na hidraulični pogon koji predaje oscilatorno kretanje modelu.
- davača za beleženje primarnog kretanja, kao i pogonskog momenta i
- servomehanizama koji obezbeđuje konstantnu amplitudu oscilovanja modela.

Na sl.2 je prikazan uređaj za merenje prigušenja u propinjanju.



Slika 2. Uređaj za merenje derivativa stabilnosti u propinjanju - skretanju

Elastični držač se sastoji od para unakrsnih elastičnih elemenata (2) koji obezbeđuje elastičnost u propinjanju ili skretanju zavisno od položaja modela u odnosu na aerovagu. Primarno kretanje se obezbeđuje pomoću hidrauličnog pogonskog mehanizma u kome se klip (4) kreće delujući pogonskom silom na pobuđivačku polugu. Prednji kraj pobuđivačke poluge je čvrsto vezan za pokretni deo unakrsnog šarnira. Unakrsni šarnir i hidraulični cilindar su izrađeni kao integralni deo stinga. Na pobuđivačkoj poluzi su postavljene merne trake i kalibrisane da mere moment koji se predaje pokretnim delovima (model). Da bi se postiglo željeno oscilatorno kretanje, hidraulični pogonski mehanizam je komandovan sa elektrohidrauličnim servoventilom koji je povezan sa upravljačkom jedinicom. Postoji mogućnost promene krutosti elastičnog držača sa dodavanjem para odgovarajućih pomoćnih opruga. Sekundarna aerodinamička opterećenja se mere unutrašnjom petokomponentnom aerovagom (1) koja se postavlja unutar pobuđivačke poluge. Osnovne karakteristike uređaja za merenje prigušenja u propinjanju su prikazane u tabeli 1.

Tabela 1.

Uređaj	Propinjanje/skretanje
Amplituda(°)	0.25 – 1.5
Frekvencija	1.0 – 15.0 (Hz)
Maksimalna normalna sila	10000 N
Maksimalni napadni ugao	21°
Maksimalni ugao klizanja	0°
Mahov broj	do 2.0
Pritisak duvanja	2.3 bars
Pogonski mehanizam	hidraulični pogon

### Opis aerotunela

Merenje dinamičkih derivativa na Basic finner modelu je

izvedeno u trisoničnom aerotunelu T-38. To je aerotunel sa natpritiskom, prekidnog dejstva sa izduvom u atmosferu. Radni deo je kvadratni dimenzija 1.5 x 1.5 m, a dužine 4.5 m. Opseg Mahovih brojeva je od 0.2 do 4.0. Pritisak duvanja je od 1.2 do 16.0 bara. Vreme ispitivanja je od 6.0 do 50.0 s. Opseg Reynoldsovih brojeva je do 140 miliona/m (Mahov broj = 1, 3D radni deo) i 62 miliona/m (Mahov broj = 1, 2D radni deo)

### Ispitivanje

Nominalne vrednosti parametara kojima je izvršeno merenje prigušenja u propinjanju su date u tabeli 2. Prigušenje u propinjanju je dobijeno pri amplitudi oscilovanja od  $\pm 1.0^\circ$  i frekvenciji oscilovanja od 10 Hz. Potpuna dokumentacija o postupku ispitivanja i načinu obrade podataka je data u [2 i 4].

Tabela 2.

Merenje prigušenja u propinjanju			
M	MRe	$\alpha^\circ$	$\frac{\omega \cdot D}{2V_\infty} 10^3$
0.239	1.242	-5 to 20	9.48
1.481	3.588	-5 to 20	10.54
1.972	3.588	-5 to 20	10.94

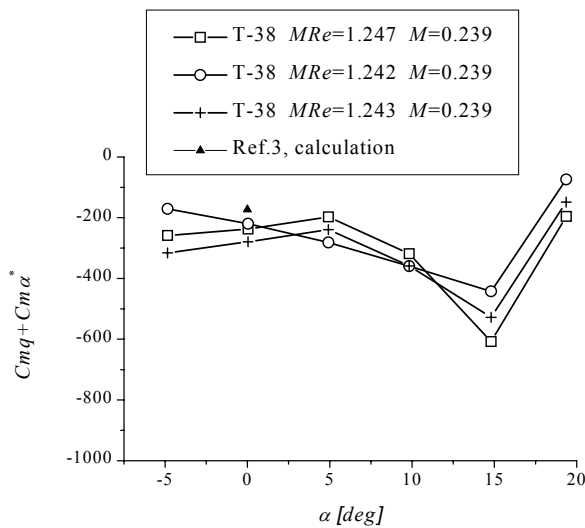
### Rezultati ispitivanja

Prigušenje u propinjanju kao funkcija napadnog ugla na  $M \approx 0.24$  je prikazano na sl.3 za tri ispitivanja pri istim uslovima. Eksperiment pokazuje rasipanje podataka.

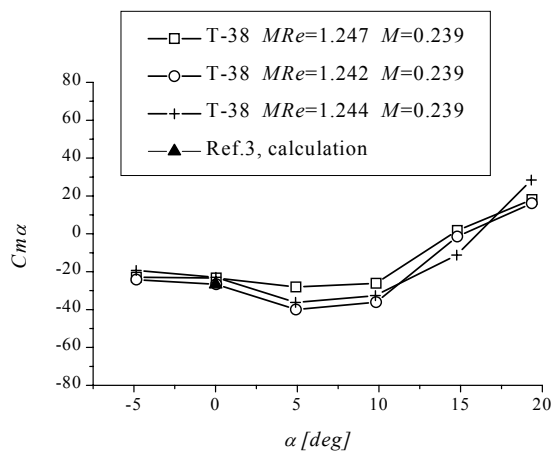
Statički derivativi kao funkcija napadnog ugla na  $M \approx 0.24$  su dati na sl.4.

Prigušenje u propinjanju kao funkcija Mahovog broja na napadnom uglu  $\alpha = 0^\circ$  je prikazano na sl. 5. Teorijski podaci za prigušenje u propinjanju i statički derivativ u propinjanju iz [3] su prikazani na sl. 3, 4 i 5. Odgovarajući eksperimentalni podaci iz [2] prikazani su na sl. 5. Slike 3 i 4 pokazuju da su derivativi stabilnosti jake nelinearne funkcije napadnog ugla. Moguće objašnjenje za ove nestacionarne podatke je da postoji sistem nestacionarnih vrtloga i u interakciji vrtložnog trga i krila. Ponovljivost podataka je ispitana na Mahovom broju  $\approx 0.24$  ponavljanjem istog testa tri puta. Dobijeni rezultati ovih merenja pokazuju dobru ponovljivost. Celo ispitivanje je

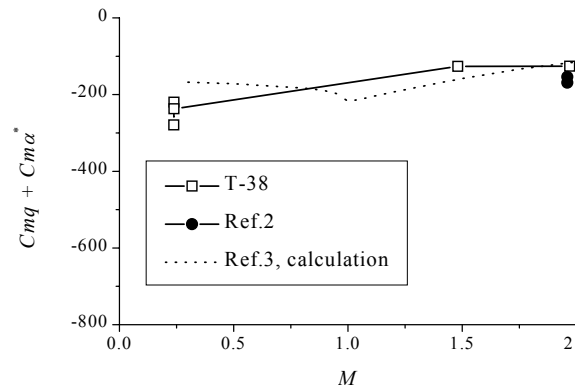
izvršeno pri relativno visokim vrednostima Rejnoldsovog broja. Prigušenje u propinjanju na Mahovom broju 2 je poređeno sa rezultatima merenja derivativa stabilnosti iz [2] i sa proračunskim vrednostima iz [3]. Treba napomenuti, da je merenje prigušenja u propinjanju iz [2] izvedeno na MRe 0.086 i 0.187.



Slika 3. Prigušeni i statički derivativi stabilnosti u propinjanju u funkciji napadnog ugla za  $M \approx 0.24$



Slika 4. Statički derivativi stabilnosti  $C_{m\alpha}$  u funkciji napadnog ugla za  $M \approx 0.24$



Slika 5. Prigušenje u propinjanju u funkciji Mahovog broja i napadnog ugla  $\alpha = 0^\circ$

## Zaključak

Merenje u aerotunelu je izvršeno na uređaju za merenje prigušenja u propinjanju/skretanju velike nosivosti. Podaci su dobijeni za Basic finner model na Mahovim brojevima 0.24, 1.5 i 2.0 za napadne uglove od  $-5.0^\circ$  do  $20^\circ$ . Dobijeni rezultati merenja pokazuju dobro slaganje sa eksperimentalnim podacima iz [2 i 3]. Izvedeno ispitivanje je samo deo jednog obimnog programa ispitivanja. Taj program obuhvata ispitivanje Basic finner model i Modified Basic finner modela na uređajima za merenje derivativa stabilnosti u propinjanju, skretanju i valjanju na Mahovim brojevima 0.2; 0.5; 1.15; 1.5 i 2.0 i napadnim uglovima od  $-5.0^\circ$  do  $20.0^\circ$ .

Na osnovu rezultata ispitivanja utvrđeno je da je prigušenje u propinjanju na Mahovim brojevima 0.24; 1.5 i 2.0 nelinearna funkcija napadnog ugla. Basic finner model je dinamički stabilan u propinjanju.

## Literatura

- [1] BOB L. USELTON; LEROY M. JENKE. Experimental Missile Pitch – and Roll Damping Characteristics at Large Angles of Attack. *J.Spacecraft*, April 1977, vol.14, no.4.
- [2] ANASTASIJEVIĆ Z., *Neki mogući prilazi merenju aerodinamičkih derivativa stabilnosti metodom "krutih prinudnih oscilacija" u podzvučnom aerotunelu*, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1984
- [3] CURCIN M., STOJKOVIĆ S., MILOŠEVIĆ S., DMAC – Program za proračun derivativa aerodinamičkih koeficijenata raketa. int.dok.VTI VJ, Beograd, 1993.
- [4] ANASTASIJEVIĆ Z., MARINKOVSKI D., Merenje derivativa stabilnosti sila u trisoničnom aerotunelu T-38. *Naučnotehnički pregled*, 2000, vol.L, no.1, p.21-30.

Rad primljen: 29.09.2000.god.