

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA UTICAJA ŠILJKA NA AERODINAMIČKE KARAKTERISTIKE ZAOBLENOG TELA

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE SPIKE ON THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF BLUNT BODY

Dr Slavica Ristić, dipl. inž.¹
 Mr Snežana Milićev, dipl. inž.²
 Aleksandar Vitić, dipl. inž.¹
¹VTI, Kataničeva 15, Beograd
²MF, Beograd



APSTRAKT

Strujna slika oko zabljenog tela sa iglom zavisi od geometrijskog oblika tela i igle, kao i vrednosti Mahovog i Reynoldsovog broja strujanja. U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog ispitivanja modela rakete polusfernog vrha bez i sa tri igle različitog oblika. Vrednosti. Ispitivanje je obavljeno u aerotunelu za Mahov broj neporemećene struje su 1.03 i 1.88. Napadni ugao modela se menjao od -4.0° do 10.0° . Vizualizacija strujanja je vršena šliren metodom i holografskom interferometrijom.

Ispitivanja su pokazala da se ugradnjom igle na vrh rakete, za nadzvučna strujanja, značajno menja slika strujnog polja, a samim tim i aerodinamičke karakteristike rakete.

Ključne reči: aerotunel, raketa, nadzvučno strujanje, vizualizacija strujanja, šliren metoda, holografska interferometrija

ABSTRACT

The flow around the blunt nosed body with the spike depends of geometrical shape of the body and spike, also of Mach and Reynolds number. In this paper, are presented the experimental test results of the missile model with semi spherical shaped without spike and with three different spike shapes. The test is performed in the threesonic wind tunnel for $M=1.03$ i 1.88 . The value of the angles of attack is between $\alpha=-4^\circ$ and 10.0° . Schlieren method and holographic interferometr are used for flow visualization.

The tests show that the building of spike on the model top, for supersonic flow, significantly changes the flow around model and its aerodynamical coefficients.

Key words: wind tunnel, missle, supersonic flow, flow visualization, schlieren method, holographic interferometry

1. UPOTREBLJENE OZNAKE

M	Mahov broj
T	temperatura u radnom delu, [K]
MRe	Rejnoldsov broj, [1/m]
P	statički pritisak u radnom delu aerotunela, [bar]
ρ	gustina vazduha, [kg/m ³]
d	prečnik modela, [m]
q	dinamički pritisak u radnom delu, [bar]
α	napadni ugao modela, [°]
Cd	koeficijent otpora modela rakete bez igle
Cdi	koeficijent otpora modela rakete sa iglom

Cl	koeficijent uzgona modela rakete bez igle
Cl _i	koeficijent uzgona modela rakete sa iglom
λ	talasna dužina svetlosti, [m]
n	indeks prelamanja svetlosti
N	broj interferencionih linija

2. UVOD

Strujno polje oko obrtnog tela sa iglom je fenomen veoma često teorijski i eksperimentalno ispitivan u aerodinamičkim laboratorijama širom sveta. Postoji brojna literature [1-4,9,12] koja opisuju karakteristične zone i površi dis-

kontinuiteta, koje se formiraju pri opstrujavanju takvog tela strujom vazduha različite brzine.

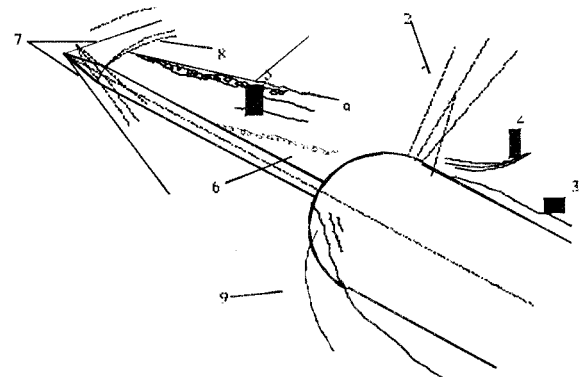
Poznato je da na tela sa polusfernim vrhom, pri kretanju nadzvučnim brzinama deluju velike sile otpora. Ispred tela se formira jaki udarni talas, zbog čega dolazi do značajnog prirasta pritiska i temperature. Ove pojave su nepoželjne jer negativno utiču na aerodinamičke karakteristike projektila. Ako se na vrh zaobljenog tela ugradi šiljak, igla, dolazi do značajnog smanjenja otpora i aerodinamičkog zagrevanja (slika 1). Uzgon se povećava u odnosu na telo bez igle [1-4,9,12].

Postoji više primera kretanja zaobljenih tela nadzvučnim brzinama. To su rakete, različiti projektili, neki tipovi aviona, kosmički brodovi itd. Postavljanjem igle na vrhu tela smanjuje se potrebna pogonska sila za savladjivanje otpora, odnosno smanjuje se potrošnja goriva. Doprinos igle zavisi od dimenzija i oblika.

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja strujnog polja i aerodinamičkih karakteristika rakete kalibra d u trisoničnom aerotunelu T-36 za različite geometrije igle, vrednosti napadnog ugla i Mahovog broja neporemećene struje. Pomoću šestokomponentne vage su merene aerodinamičke sile i momenti. Optičke bezkontaktne metode korišćene su za vizualizaciju strujnog polja. To su dobro poznata širenje metoda i metoda holografske interferometrije. U citiranoj literaturi [9,12,13] dat je deo rezultata ispitivanja uticaja igle sa konusnim vrhom na raketu kalibra d . Proširenje eksperimenta se odnosi na uvođenje još dve igle različitog oblika. Sve igle su konusnog vrha. Takođe su dati i rezultati ispitivanja pomenutih konfiguracija za okružujuće opstrujanje.

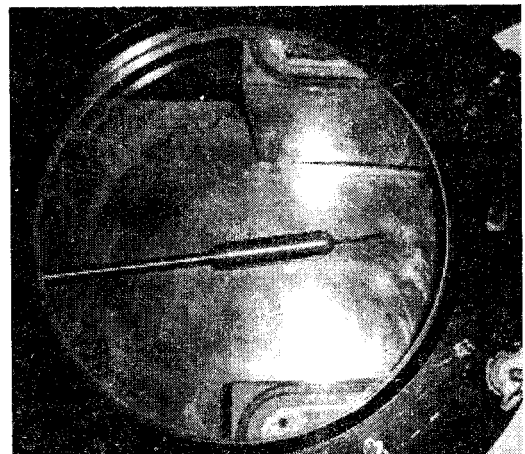
3. OPIS EKSPERIMENTA I MODELA

Eksperiment je realizovan u malom trisoničnom aerotunelu. To je aerotunel prekidnog dejstva, vakuumskeg tipa [9,12,13] i može da postigne brzine sa Mahovim brojem M_∞ od 0.2 do 1.1, 1.56, 1.86, 2.48 i 3.24. Radni deo je kvadratnog preseka 0.25×0.25 m i dužine 0.6 m. Reynoldsov broj je do $15 \cdot 10^6$.



Slika 1: Strujna slika pri nadzvučnom opstrujavanju obrtnog tela sa iglom pri napadnom uglu većem od 0°

Model ispitivanog projektila (slika 2) je cilindričnog oblika, prečnika 27 mm i dužine 120 mm. Zadnji kraj projektila ima konusno suženje, a prednji kraj poluloptasto zaobljenje na kome se nalazi odvajач udarnog talasa, dužine jednake 27 mm. Postoje tri varijante igle istih dužine, a različitog konusnog vrha (slika 3). Osnovni delovi modela su izrađeni od durala, zavrtanj i podloška za učvršćivanje na aerovagu i igle od su od čelika.

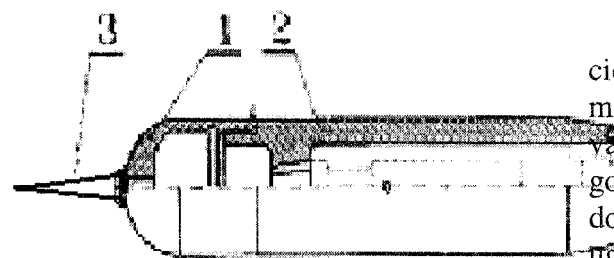
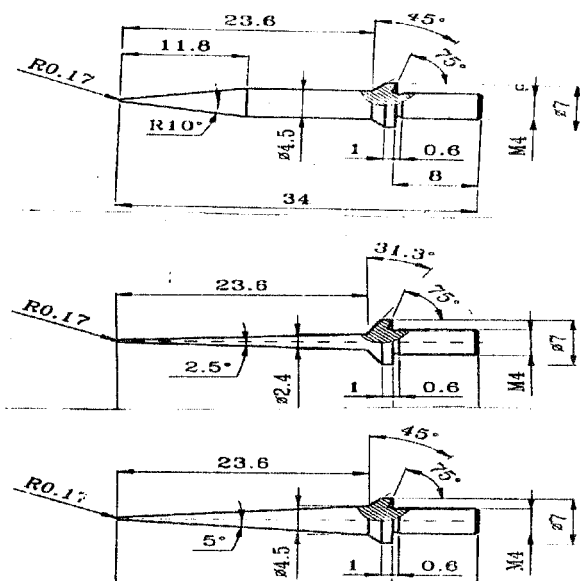


Slika 2. Model rakete sa iglom u radnom delu aerotunela

Merna oprema korišćena u eksperimentu je Primarni merni sistem (PMS). Zaustavni pritisak je meren apsolutnim davačem, a razlika zaustavnog i statičkog pritiska, kao i bazni pritisak mereni su diferencijalnim davačima. Zaustavna temperatura merena je RTD davačem na sondi u komori umirenja. Atmosferski pritisak i pritisak u rezervoaru mereni su apsolutnim davačima. Svi davači su povezani skanivalvom.

Sile i momenti se mere šestokomponentnom vagom FFA I-667. Veza vage i modela je ostvarena preko osmougona piramide, specijalno namenjene za aerovage ovog tipa. Specijalnim potenciometrom se meri ugao propinjanja modela. Za akviziciju podataka se koristi sistem NEFF 600. Akvizicija i kontrola je sa PDP 11/84, a obrada je vršena na VAXu 8250.

Veoma efikasne metode za vizualizaciju strujanja su Schlieren metoda [5-11] i holografaska interferometrija [6,11]. Metode se koriste za stišljiva strujanja sa Mahovim brojem $M_\infty > 0.5$. Prva metoda je osetljiva na gradijente gustine fluida koji se detektuju na osnovu uglovne defleksije poremećenog u odnosu na neporemećeni svetlosni zrak, u polju gde postoje nehomogenosti. Može da se koristi kako za stacionarna, tako i za nestacionarna strujanja. Druga metoda direktno registruje gustine fluida u vidnom polju.



Slika 3 Skice tri vrste igla i obrtnog tela

U zavisnosti od dimenzija, karaktera strujnog polja kao i od tipa očekivanih rezultata postoje različite verzije opreme. Najjednostavnija

šliren metoda je ona koja koristi paralelni snop svetlosti. Detaljan opis fizikalnih osnova metode i opreme je data u literaturi [5,6,8,9,11].

Na osnovu geometrijskih karakteristika optičkih komponenata sistema (fokalne dužine, visine noža, ili dimenzije filtera u boji, udaljenost ekrana, i dimenzije radnog dela aerotunela, može se odrediti ugao skretanja snopa svetlosti [8]. To je osnovni podatak za određivanje gradijenta gustine. U zavisnosti od visine noža u odnosu na optičku osu Schlieren sistema i aerotunela, ili od širine obojenih segmenata, može da se menja osetljivost sistema (do 10^{-5} kg/m^4 za konfiguracija korišćena u ovom eksperimentu). Snimanje Schlieren efekata je izvršeno fotoaparatom.

Holografaska interferometrija je metoda pomoću koje se može snimiti trodimenzionalni interferogram strujnog polja u radnom delu aerotunela [6,7,10,11].

Metoda je bezkontaktna, daje trenutnu sliku u svim tačkama, a posebno je interesantna njena primena u ispitivanju specifičnih područja. Na osnovu dobijene slike se može analizirati strujanje, odnosno može da se odredi gustina fluida u svakoj tački. Poznavanje gustine omogućava proračun brzine, pritiska, temperature, Mahovog broja, stepena turbulencije. Za njenu primenu neophodno je koristiti interferometrijski sistem kompatibilan sa aerodinamičkim tunelom, sa vidnim poljem odgovarajućih dimenzija. Detaljan opis principa holografске interferometrije i holografskog interferometra korišćenog u ovom eksperimentu je dat u citiranoj literaturi [9-11].

3. ANALIZA REZULTATA

Pokazalo se da ugradnja igle na vrhu rotacionog tela ima minimalan uticaj na aerodinamičke karakteristike za $M_\infty=1.03$, što je ilustrovano dijagramima na slici 4a (otpor) i 4b (uzgon). Maksimalne promene C_d su reda veličine do 5%, a C_l se menja samo za velike napadne uglove do oko 8%.

Na slikama 5a i 5b su prikazani dijagrami za slučaj kada se na vrhu tela postave igle broj 1,2 i 3 za $M_\infty=1.88$. Uporedni dijagram na slici 4a i 5a pokazuje kako se menja aerodinamički otpor rotacionog tela sa različitim iglama u od-

nosu na otpor tela bez igle za okozvučno i nadzvučno strujanje. Slike 4b i 5b prikazuje uporedo kako se menja sila uzgona za iste slučajeve.

U tabeli 1 i tabeli 2 date su vrednosti promene koeficijenta otpora C_d i koeficijenta uzgona C_l za $M_\infty = 1.03$, a u tabeli 3 i tabeli 4 date su vrednosti promene koeficijenta otpora C_d i koeficijenta uzgona C_l za $M_\infty = 1.88$.

Očigledne su promene koje nastaju $M_\infty = 1.88$ kada se na vrhu zaobljenog tela ugradi igla. Koeficijent otpora se smanjio (u odnosu na koeficijent otpora tela bez igle) u iznosu od 28.31% za iglu broj 1 do 32.6% za slučaj kada se ugradi igla broj 3. Promene koeficijenta otpora C_d (analogno i koeficijenta uzgona C_l) su računane prema sledećoj formuli:

$$\Delta C_d = \frac{|C_d - C_{d_i}|}{C_d} \cdot 100 [\%]$$

Otpor modela sa iglom manji je zbog toga što se ispred igle stvara konusni udarni talas koji sa udarnim talasom ispred modela obezbeđuje manji porast pritiska u poređenju sa onim koji nastaje pri prolasku kroz snažan odvojeni udarni talas koji se formira ispred tela bez igle. Ovaj fenomen je prikazan vizualizacijom strujanja.

Analiza koeficijenta uzgona (tabela 4) pokazuje da su igle najefikasnije za napadni ugao od 2° . Posebno igla broj 3 sa $\Delta C_l = 58.6\%$.

Koeficijent uzgona je parametar koji se malo menja ugradjivanjem igle za okolozvučno i podzvučno opstrujanje modela, a pokazuje značajno povećanje za nadzvučno opstrujanje.

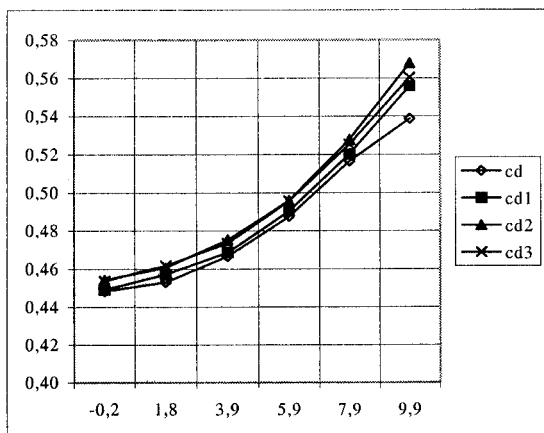
Složenost strujnog polja oko obrtnog tela sa iglama različite geometrije se jasno vidi na šliren snimcima prikazanim na slikama broj 6 a-c i na snimcima holografskih interferograma datim na slikama pod brojem 7 a-c.

Zbog horizontalno postavljenih pruga filtera šliren snimci registruju promene gustine vazduha u radnom delu u vertikalnom pravcu, te su na donjoj polovini snimka udarni talasi označeni crvenom a ekspanzioni plavom bojom, dok je na delu slike iznad ose obratno. Na slikama 6 a-c moguće je uočiti izmene karaktera strujanja

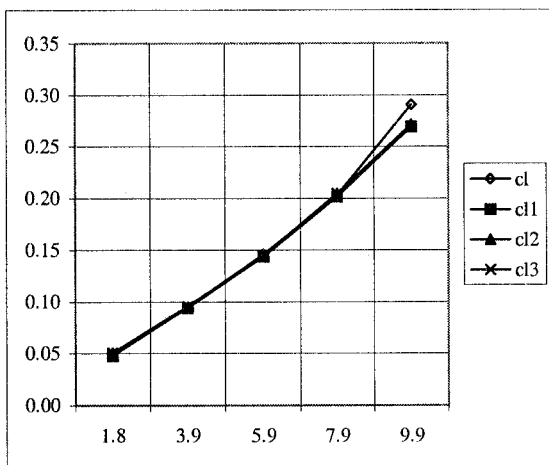
izazvane iglom u prednjem delu strujnog polja (oblast oko igle i prednjeg dela tela). Najpre, od vrha igle formira se udarni talas iza koga dolazi do odvajanja graničnog sloja. Usled ovog odvajanja formira se recirkulaciona oblast približno konusnog oblika. U oblasti ponovnog spajanja graničnog sloja struja trpi nagli zaokret. Zbog toga se neposredno ispred prednjeg dela tela, pomeren od ose, formira odvojeni udarni talas. Međudeljima ovog i talasa koji kreće od prednjeg dela igle na određenom rastojanju od ose formira se treći udarni talas. Strujanje u preostalom delu strujnog polja ne menja se u odnosu na telo bez igle. Kod tela sa iglom u sva tri slučaja dobija se ugao konusnog talasa $\theta_u \approx 40^\circ$. U poređenju sa konusnim udarnim talasom nastalim opstrujavanjem konusa poluugla jednakog poluuglu vrha igle 20° (broj 1) nadzvučnom strujom vazduha Mahovog broja $M \approx 1.9$, izmerene vrednosti ugla se poklapaju sa teorijskim vrednostima [14]

Hologrami su snimani na pločice stare preko petnaest godina pa je zbog toga njihova difrakciona efikasnost smanjena, što je dovelo do pogoršanja kvaliteta snimaka. Kvalitativna analiza holografskih interferograma pokazuje da su jasno uočljiva karakteristična područja strujanja oko modela, kao što su: udarni talasi, recirkulacione zone, zone ekspanzionih talasa, Mahovi talasi, zona graničnog sloja itd. Snimci interferograma takođe pokazuju da su male promene gustine vazduha u zoni između udarnog talasa i površine vrha igle broj 1, odnosno površine igle broj 2 i 3. U ovim zonama ne postoji izdiferencirana nit jedna interferencionna linija. Jasno se vidi zona graničnog sloja i zona Prandtl-Majerove ekspanzije na zaobljenom delu vrha rotacionog tela, na zadnjem kraju i na rubovima mlaznika aerotunela.

Kvantitativna analiza interferograma se temelji na odbrojavanju interferencionih linija N između referentne i ispitivane tačke strujnog polja. Kada se model nalazi pod nultim napadnim uglom, strujno polje oko modela predstavlja osnosimetrični problem i može da se veoma



a



b

Slika 3 Dijagrami zavisnosti koeficijenta C_d (a) i C_l (b) za model bez igle i sa iglama za $M^\infty=1.03$

uspešno reši pomoću Abellovih transformacija [5,7]. Metoda traži usvajanje određene aproksimacije koja uspešno opisuje fizičku pojavu. Ako se pretpostavi da je indeks prelamanja svetlosti n u okviru svakog kružnog segmenta konstantan onda se problem svodi na rešavanje sistem algebarskih jednačina [7,11].

Postoje dva načina verifikacije validnosti podataka o strujnom polju, koji se mogu dobiti holografskom interferometrijom. Prvi je uvoenje kontrolnog merenja izabranog strujnog parametra (primer merenje brzine strujanja pomoću LDA metode, metode sa toplim vlaknom ili filmom, merenje pritiska različitim sondama itd) i upoređivanje eksperimentalnih rezultata. Druga mo-

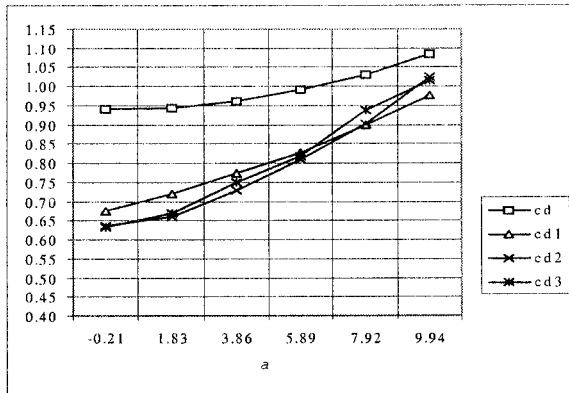
gućnost koja je idealna za geometrijski jednostavnije modele je teorijski proračun strujnog polja i upoređivanje izogustinskih linija dobijeni proračunom sa izogustinskim linijama snimljenim na holografskom interferogramu.

Za strujna polja oko konusnih modela sa kružnim poprečnim presekom postoje tabele koje daju sve relevantne parametre u karakterističnim tačkama polja. Poznati su atlas autor Kibardina [14] koji daju strujne parametre oko konusa sa uglom pri vrhu od $\theta_c=10^\circ$, iza kosog udarnog talasa. Podaci iz tih tabela (gustina vazduha) su iskorišćeni da se proračuna indeks prelamanja svetlosti n u zadatim tačkama oko igle sa konusnim vrhom koja je montirana na vrh rakete. Na osnovu indeksa n izračunava se očekivani broj interferencijalnih linija koje treba da se pojave u izabranom području. Osim n još su određeni : pritisak P , brzina V , brzina zvuka C i temperatura fluida T . U tabeli 3 su dati rezultati proračuna. Broj interferencijalnih linija koji se može očekivati u području između udarnog talasa i igle je manji od polovine interferencijalne linije (0.5) i iznosi 0.067 kg/m³. To znači da su male promene gustine fluida $\Delta\rho=0.0182$ kg/m³. Rezolucija interferometra koji je korišćen u ovom eksperimentu je $\Delta\rho =0.125$ kg/m³. Zbog toga na intrfogramu u ovom području ne može da se vidi ni jedan prelaz tamnog u svetlo polje (odnosno $\Delta N < 0.5$).

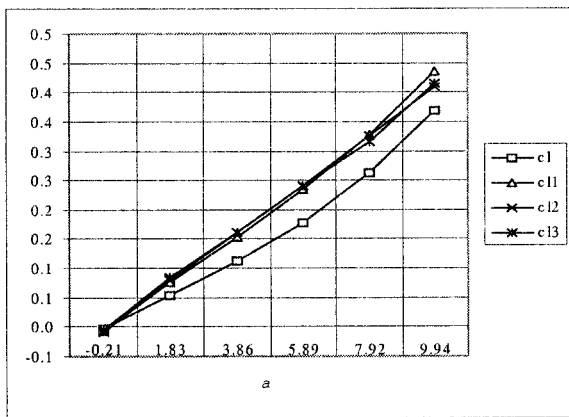
4. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran uticaj igle na strujno polje i aerodinamičke karakteristike zaobljenog obrtnog tela pri okozvučnim i nadzvučnim brzinama vazduha pri Mahovim brojevima neporemećene struje 1.03 i 1.88. Vršena je analiza opstrujavanja tela bez i sa

iglama dužine jednake prečniku, a različite geometrije. U slučaju svih ispitivanih konfiguracija ugao α između ose tela i struje vazduha variran je u intervalu od 0 do 10° , sa korakom 2° .



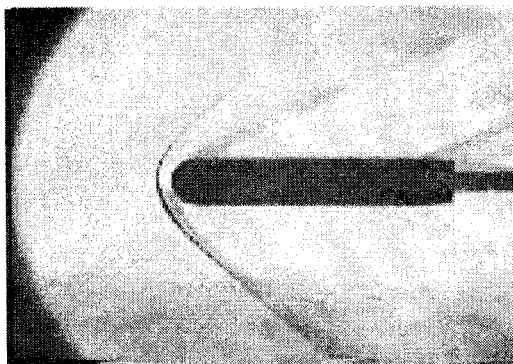
a



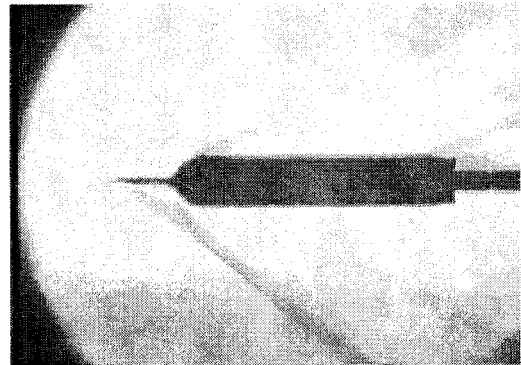
b

Slika 5 a. Dijagrami zavisnosti koeficijenta Cd (a) i Cl (b) za model bez igle i sa iglama za $M_{\infty}=1.88$

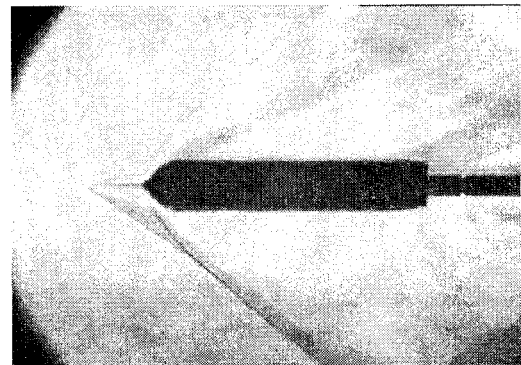
Na osnovu eksperimentalne analize zaključeno je da se ugradnjom igle, cilindričnog oblika i konusnog vrha postižu značajna poboljšanja aerodinamičkih karakteristika rakete polusfernog vrha. Kada napadni ugao α menja vrednosti od 0° do 10° , igla smanjuje koeficijent otpora modela od 28% do 32%. Koeficijent uzgona modela povećava se ugradnjom igle od 28.7% do 18% kada napadni ugao α uzima vrednosti od 2° do 10° .



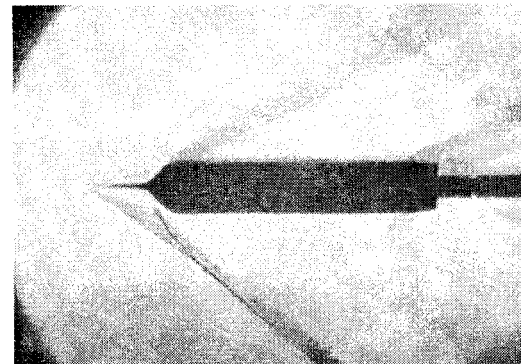
a



b



c



d

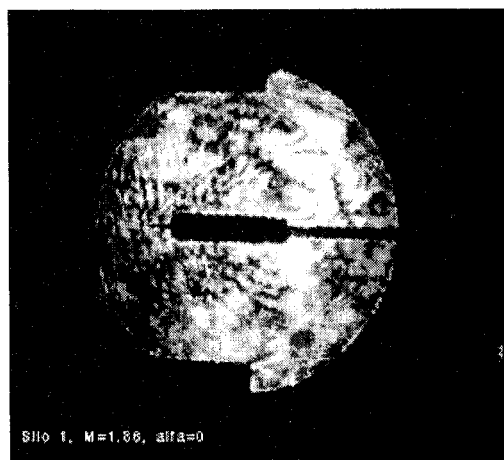
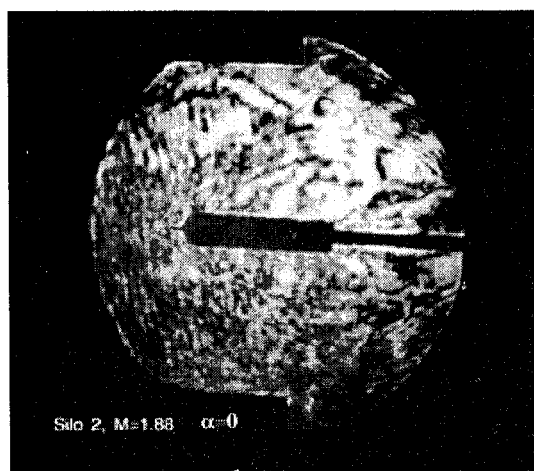
Slika 6 Šliren snimci strujnog polja obrtnog tela bez (a) i sa iglama 1 (b), 2(c) 3(d)

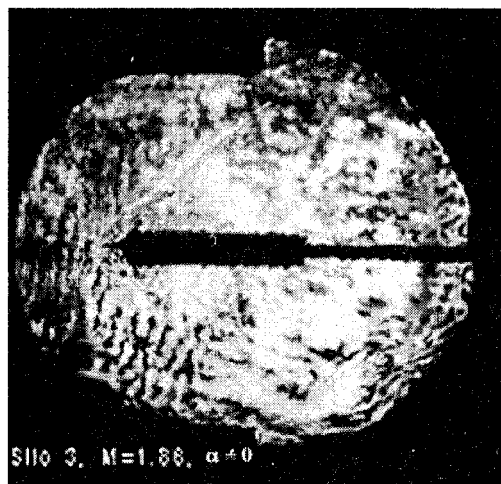
Eksperimentalna ispitivanja su potvrdila da je veoma značajno vršiti vizualizaciju strujanja oko modela sa komplikovanom geometrijom. Schlieren metoda je omogućila da se "vide" karakteristična područja strujne slike i da se oceni uticaj igle na aerodinamičke karakteristike rakete. Holografski interferogrami su omogućili da se dobiju tačne vrednosti gustine vazduha, a preko gustine i : pritisak, brzina, Mahov broj, temperatura itd. Za analizu pojedinih zona trebalo bi koristiti

metodu višestrukih prolaza laserskog predmetnog snopa, kroz radni deo, odnosno ispitivano strujanje. Tako bi se povećala optička razlika puteva između predmetnog i referentnog snopa, a samim tim i rezolucija snimljenih interferograma.

5. LITERATURA

1. Anderson, J. D., *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill, Inc.
2. Bogdonoff, S. M., Vas, I. E., "Preliminary Investigations of Spiked Bodies at Hypersonic Speeds," *J. Aero/Space Sciences*, Vol. 26, No. 2, February 1959, pp. 65-74
3. Đorđević, V. D., *Dinamika jednodimenzij-skih strujanja fluida*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1995.
4. Mair, W. A., "Experiments on Separation of Boundary Layers on Probes in Front of Blunt-Nosed Bodies in a Supersonic Air Stream," *Phil. Mag.*, Ser. 7, Vol. 43, No. 342, July 1952, pp. 695-716
5. Marzkirich, W., *Flow visualization*, Academic Press, New York, 1977.
6. Trolinger J.D. *Flow Visualization Holography*, Optical engineering, vol. 14, 1975, sept-okt., 470-481
7. Vest C.M. *Holographic Interferometry*, Wiley and sons, New York, 1979.
8. Ristić, S., "Metod za povećanje osetljivosti i rezolucije Schlieren sistema u boji," *Naučno-tehnički pregled*, Vol. XXXVII, br. 1, 1987.
9. Milićev S., Ristić S., Vitić A., Eksperimentalna ispitivanja uticaja igle na aerodinamičke karakteristike rakete, NTP, vol 49, br 6, 1999.,p 33-38
10. Ristić S., Optimizacija kvantitativne obrade holografskih interferograma za 2D i osnosimetrična strujanja, NTP, vol 46, br 4-5, 1996,p37-45
11. Ristić S., Pregled metoda za vizualizaciju strujanja u aerodinamičkim tunelima. KUMNTI, VTI VJ,1999.
12. Milićev S., Nadzvučno opstrujavanje zaobljenih pbrtnih tela sa iglom, Magisterski rad, Mašinski fakultet, Bgd.,1999.
13. Milićev S., Pavlović M., Ristić S., Vitić A. Experimental Study of Influence of Spike Shape at Supersonic Axisymmetric Flow Past Bodies, 23. Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, 2001, Beograd (zbornik u štampi)
14. Ю. А. Кубардин, Atlas gazodina-mičeskih funkcii boljših skorostih i visokih temperaturah vazdušnog potoka, GEI, Moskva, Leningrad, 1961





Slika 7. Holografski interferogrami strujanja oko modela s iglama

Tabela 1 Koeficijent otpora C_d za $M_\infty = 1.03$

M	α	C_d	C_{d1}	C_{d2}	C_{d3}	$\Delta C_{d1} \%$	$\Delta C_{d2} \%$	$\Delta C_{d3} \%$
1.03	-0.2	0.4483	0.4490	0.45422	0.45372	0	1	1
1.03	1.8	0.4531	0.4570	0.46072	0.46171	1	2	2
1.03	3.9	0.4666	0.4687	0.47529	0.47356	0	2	1
1.03	5.9	0.4876	0.4904	0.49571	0.49561	1	2	2
1.03	7.9	0.5165	0.5202	0.5277	0.52533	1	2	2
1.03	9.9	0.5387	0.5558	0.56782	0.56033	3	5	4

Tabela 2 Koeficijent uzgona C_l za $M_\infty = 1.03$

M	α	C_d	C_{d1}	C_{d2}	C_{d3}	$\Delta C_{d1} \%$	$\Delta C_{d2} \%$	$\Delta C_{d3} \%$
1.03	1.8	0.0498	0.0477	0.05055	0.05052	4	2	1
1.03	3.9	0.0945	0.0943	0.09389	0.09501	0	1	1
1.03	5.9	0.1457	0.1433	0.14381	0.14482	2	1	1
1.03	7.9	0.2029	0.2014	0.20441	0.20474	1	1	1
1.03	9.9	0.2907	0.2695	0.27142	0.26866	7	7	8

Tabela 3 Koeficijent otpora C_d za $M^\infty = 1.88$

M	α	C_d	C_{d1}	C_{d2}	C_{d3}	$\Delta C_{d1} \%$	$\Delta C_{d2} \%$	$\Delta C_{d3} \%$
1.88	-0.2	0.9396	0.6736	0.6366	0.6330	28.3	32	32.6
1.88	1.9	0.9446	0.7212	0.6598	0.6701	23.4	30.1	29.0
1.88	3.9	0.9623	0.7721	0.7274	0.7483	19.8	24.4	22.2
1.88	5.9	0.9908	0.8286	0.8105	0.8198	16.4	18.2	17.2
1.88	7.9	1.0307	0.8988	0.9009	0.9369	12.8	12.6	9.1
1.88	9.9	1.0855	0.9780	1.0240	1.0141	9.9	5.7	6.58

Tabela 4 Koeficijent uzgona C_l za $M^\infty = 1.88$

M	α	C_d	C_{d1}	C_{d2}	C_{d3}	$\Delta C_{d1} \%$	$\Delta C_{d2} \%$	$\Delta C_{d3} \%$
1.88	-0.2	0.05335	0.076134	0.07997	0.08464	42.7	49.8	58.6
1.88	1.9	0.11197	0.153636	0.16039	0.16011	37.2	43.2	43.0
1.88	3.9	0.17777	0.23435	0.24009	0.24014	31.8	35.0	35.0
1.88	5.9	0.26183	0.327423	0.32597	0.31592	25.0	24.5	20.6
1.88	7.9	0.36868	0.435027	0.40956	0.41534	18.0	11.0	12.6

Tabela 5 Odredjivanje broja očekivanih interferencionih linija prema Kibardinu

Y(mm)	R(kg/m ³)	n	P(N/m ²)	V(m/s ²)	C(m/s ²)	T(K)	N
14	0.360	1.000809	1818.7	476.13	265.48	175.5	0.0
13	0.362	1.000814	1833	475.28	265.78	175.9	0.005
12	0.365	1.000821	1854.4	474.02	266.23	176.5	0.014
11	0.366	1.000825	1865.2	473.38	266.43	176.8	0.021
10	0.368	1.000829	1875.9	472.75	266.68	177.1	0.028
9	0.370	1.000832	1890.3	471.86	266.98	177.5	0.036
8	0.372	1.000837	1904.8	471.07	267.27	177.9	0.043
7	0.3741	1.000842	1919.9	470.19	267.58	178.3	0.051
6	0.3762	1.000846	1935.1	469.31	267.89	178.7	0.058
5	0.3775	1.000850	1944.6	468.77	268.08	178.9	0.063
4	0.3782	1.000854	1956.9	468.06	268.32	179.3	0.067

