

Eksperimentalno istraživanje parametara dvofaznog strujanja u cevi oružja

Dr Ljubiša Tančić, dipl.inž.¹⁾

Razmatra se problem procesa opaljenja u cevi oružja. Opisana je metoda eksperimentalnog određivanja pritiska barutnih gasova i brzine projektila. Analiziraju se rezultati merenja, daju se korisni zaključci i smernice za dalji rad na problemu.

Ključne reči: Eksperimentalno istraživanje, parametri dvofaznog strujanja, pritisak barutnih gasova, brzina projektila, streljačko oružje.

Uvod

U cevi oružja odvija se proces opaljenja koji počinje udarom udarne igle u inicijalnu kapslu a završava kada projektil napusti „usta“ cevi. Proces se može uslovno podeliti na dve faze:

Prva faza mirovanja projektila ili sagorevanje barutnog punjenja u konstantnoj zapremini obuhvata:

- procese koji se odvijaju unutar kapsle i koji rezultiraju formiranjem vrelih produkata koji pripaljuju barutno punjenje i
- uticaj produkata sagorevanja pripaljenih barutnih zrna na barutno punjenje.

Druga faza kretanja projektila ili sagorevanje barutnog punjenja u promenljivoj zapremini obuhvata:

- sagorevanje baruta i kretanje projektila, barutnih gasova i nesagorelog baruta; a posle završetka sagorevanja baruta posmatra se:
- kretanje projektila i širenje barutnih gasova.

Kod nas je [1] realizovano kompletno istraživanje kao doprinos proučavanju prostiranja plamena kroz granularnu sredinu. U radu [2] se definiše eksperimentalno i proračunsko određivanje pritiska forsiranja kod streljačkog oružja, a u [3] primenjuje nestacionarnu gasodinamiku na unutrašnjebalistički problem oružja malih kalibara. Citiranim radovima je učinjen bitan korak ka razumevanju pojava i procesa koji se odvijaju u dve uslovne faze procesa opaljenja. Razmatranja u ovom radu okrenuta su prvenstveno drugoj fazi, pa se zato u nastavku daju osnovne karakteristike uređaja koji su razvijeni [4-6] za proučavanje ovih pojava i procesa.

Eksperimentalna istraživanja su planirana, idejno razrađena i izvedena u skladu sa raspoloživom opremom, a sa ciljem potvrde određenih proračuna. Za eksperimente su izabrani kalibri koji su vrlo brojni u VJ. Tokom eksperimentisanja mere se uglavnom neelektrične veličine koje dostižu vrlo velike vrednosti i imaju ekstremno velik porast, a vreme trajanja im je veoma kratko. Praktično, registruju se pojave „impulsnog“ karaktera.

Uslovi koji vladaju u procesu opaljenja, a pri kretanju projektila i pri prostiranju plamena kroz barutno punjenje, onemogućavaju primenu velikog niza mernih metoda, pa su realizovane dve grupe eksperimenata:

- eksperimenti za određivanje pritiska forsiranja kod streljačkog oružja [2 i 3] koji daju pritisak forsiranja $p_0 = 125$ bar za automatsku pušku 7.62 mm i
- eksperimenti za registrovanje pritiska barutnih gasova kao funkcije vremena i položaja u cevi [3 i 6].

S obzirom da su kompletni rezultati eksperimentalnih istraživanja obimni, u ovom radu se radi ilustracije prezentuju delimični rezultati samo jednog odabranog kalibra.

Uređaj za registrovanje pritiska duž cevi

Konceptija uređaja za eksperimentalna istraživanja zavisi od parametara koji se registruju. Za konstruisanje uređaja za registrovanje pritiska duž cevi raspolagalo se kompletno sanduka, mehanizmom za okidanje i zatvaračem automatske puške. Ideja je bila da se ovaj komplet tako adaptira da se mogu samo menjati cevi, a da se postojećim zatvaračem i mehanizmom za okidanje vrši završavanje cevi, odnosno opaljenje metka, tj. da uređaj bude univerzalne namene.

Pritisci su registrovani pomoću piezoelektričnog mernog pretvarača pritiska švajcarske firme *KISTLER*. Pretvarači pritiska su na bazi kristala kvarca. S obzirom na gabarite davača, bilo je potrebno napraviti njihove nosače prema [8 i 9], koji bi se fiksirali za cev na određenom mestu. To je rešeno tako da je napravljen cilindrični omotač sa dva otvora. U donji otvor se postavlja zavrtanj kojim se omotač fiksira za cev. Na gornjoj strani omotača je otvor u koji se postavlja nosač mernog pretvarača pritiska.

Nosač mernog pretvarača pritiska je u unutrašnjem delu obrađen prema uputstvu proizvođača pretvarača i u njega se postavlja pretvarač pritiska. Za svaki omotač urađen je nosač mernog pretvarača i puni čep. Čepovi su po spoljnim dimenzijama isti kao nosači pretvarača, a koriste se za zatvaranje omotača ako se to merno mesto ne koristi. Dimenzije omotača i nosača mernog pretvarača pritiska proistekle

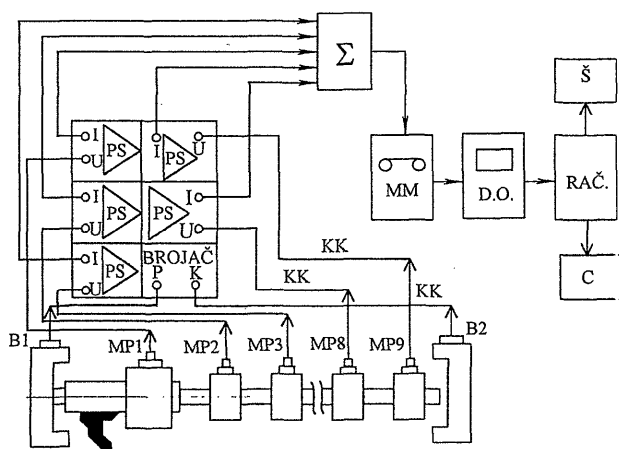
¹⁾ Vojnotehnička akademija VJ, 11133 Žarkovo – Beograd, Ratka Resanovića bb

su iz dimenzija pretvarača. Na prednji deo sanduka postavlja se nosač mernog pretvarača pritiska koji registruje pritisak u čahuri metka gde se očekuju najveće vrednosti pritiska. Ovaj nosač je postavljen sa leve strane sanduka u navarenu pločicu.

Da bi se doneo realan zaključak o zakonitosti promene pritiska barutnih gasova i brzini projektila u cevi, postavljaju se maksimalno mogući broj mernih mesta na osnovu fizičkih dimenzija cevi i nosača mernih pretvarača pritiska.

Merna aparatura i opis eksperimenata

Za izvođenje eksperimenata na konkretnom kalibru izvršeno je kompletiranje sanduka, cevi, omotača i nosača mernih pretvarača pritiska. Na cevi konkretnog kalibra postavljaju se merni lanac za registrovanje pritiska barutnih gasova prema blok-šemi na slici 1.



Slika 1. Blok-šema mernog sistema za registrovanje pritiska barutnih gasova i brzine projektila u cevi oružja: MP- merni pretvarač pritiska, KK-koaksijalni kabl, PS- pojačavač naelektrisanja (pojačalo signala), MM-registrator signala (merni magnetofon), D.O.- digitalni osciloskop, RAČ-računar, C- crtač (ploter), Š- štampač

Za konkretni kalibar korišćeno je devet mernih pretvarača pritiska (MP) koji su stavljeni u određeni nosač. Merni pretvarač pritiska obezbeđuje da se, korišćenjem piezoeffekata kristala kvarca, pod dejstvom pritiska barutnih gasova generiše elektrostatičko naelektrisanje. Generisano naelektrisanje u pretvaraču pritiska se koaksijalnim kablom, uz minimalne gubitke i izobličenja, uvodi u pojačavač naelektrisanja firme *KISTLER* – pojačalo signala (PS). Svaki merni pretvarač je koaksijalnim kablom (KK) bio vezan za svoje pojačalo. U pojačalu se vrši pojačanje električnog signala dobijenog na mernom pretvaraču. Signal sa pojačala se vodi na merni magnetofon (MM) i registruje na magnetofonsku traku. Registrator signala, merni magnetofon (MM), ima zadatak da informaciju, odnosno električni signal proporcionalan fizičkoj veličini koja se meri, registruje (memoriše). Kao registrator signala korišćen je četrnaestokanalni merni magnetofon firme *EMI* u frekventno modulisanom režimu. Na jednom kanalu se vršio zapis podataka o postojećem opaljenju (glasom), na drugom kanalu se registrovao kontakt početka procesa opaljenja, na trećem kanalu se preko fotoćelije registrovao trenutak napuštanja usta cevi a na ostalih 11 kanala dovođeni su signali sa devet mernih mesta prilikom jednog opaljenja. Sinhronizacija rada mernog sistema podrazumeva optimalni režim rada mernog sistema sa jedinstvenim vremenom. Registrovanje vremenske „nule” na magnetofonskoj traci se ostvaruje uvođenjem, na jedan od slobodnih kanala u magnetofon, impulsa koji se dobija kontaktom udarača i udarne igle.

Pri planiranju eksperimenata vodilo se računa i o optimalnoj veličini uzorka kako bi se na osnovu njega mogla donositi procena u odnosu na osnovni skup iz koga je uzet uzorak. Svi uzorci imaju preko 30 jedinica i dosta verno odražavaju karakteristike osnovnog skupa kojeg predstavlja taj uzorak, tj. distribucija frekvencija, aritmetička sredina, standardna devijacija, varijansa itd. nisu opterećene velikom greškom i procene su veoma korektne. Uvažavajući preporuke [10-16] o uzorku, na mernom magnetofonu je registrovano 50 opaljenja iz cevi automatske puške 7.62 mm sa 9 mernih mesta.

Obrada rezultata eksperimenata

Električni signal, zapisan na magnetofonskoj traci registratora, uvodi se u digitalni osciloskop (D.O) firme *NICOLET* (koji ima ulogu analogno-digitalnog konvertora), a odatle se preuzima putem računara firme *HEWLETT PACKARD* (RAČ.) u kome se vrši obrada podataka, prema sl.1. Izlazne informacije se pojavljuju na ploteru-crtaču (C) u vidu grafika pritiska u funkciji vremena i na printeru – štampaču (Š) u vidu numeričkih podataka za vreme i pritisak. Za potrebe ovih istraživanja, prikazivani su istovremeno rezultati za 10 mernih mesta za pritisak u funkciji vremena.

S obzirom da su rezultati merenja obimni, ovde se tabelarno daju za sva opaljenja maksimalne vrednosti pritiska barutnih gasova svakog mernog mesta i njihov međusobni vremenski pomak. Na osnovu odstojanja mernih mesta i vremenskog pomaka računa se srednja brzina kretanja projektila u cevi oružja. U tunelu je merena i brzina projektila na 10 m od usta cevi optičkim barijerama baze 2 m.

Na osnovu Standarda Narodne odbrane (SNO) [17] vrši se svođenje V_{10} na usta cevi prema formuli:

$$V_{10} = V_{X_s} + \Delta V_{X_s} \quad (1)$$

a

$$\Delta V_{X_s} = \frac{10CX_f}{D(V_{X_s})} \quad (2)$$

gde su:

- V_{X_s} – izmerena brzina projektila na sredini baze (uzima se srednja izmerena brzina od svih opaljenja),
- X_s – rastojanje od usta cevi do sredine baze,
- ΔV_{X_s} – pad početne brzine od usta cevi do X_s ,
- C – balistički koeficijent za Sijačijev zakon otpora i
- $D(V_{X_s})$ – funkcija brzine čije su vrednosti date u tabeli 1.

Tabela 1. Funkcija brzine

V_{X_s} (m/s)	$D(V_{X_s})$	V_{X_s} (m/s)	$D(V_{X_s})$	V_{X_s} (m/s)	$D(V_{X_s})$
200	407	400	77	900	39
225	363	450	65	1000	37
250	315	500	57	1100	36
275	266	550	53	1200	35
300	193	600	49	1300	35
325	136	650	46	1400	34
350	105	700	44	1500	33
375	88	800	41	1600	33

SNO [17] daje Sijačijev balistički koeficijent za metak AP 7.62 mm $C=4.2$.

Rezultati eksperimenata

U tabeli 2 su dati rezultati merenja pritiska, brzina i vremena konkretnog kalibra dobijenih sa osciloskopa. Rezultati su dati prema redosledu opaljenja, a merna mestu su označena rastućim brojevima od dna cevi ka ustima cevi kao i kanali na mernom magnetofonu. U prvoj polovini cevi

korišćeni su merni pretvarači sa mernim područjem do 500 MPa, a u drugoj polovini merni pretvarači sa mernim područjem do 250 MPa, s obzirom da se i očekuju takve vrednosti pritiska u cevi. Tabela sadrži i prosečne srednje vrednosti, prosečno srednje odstupanje i mernu nesigurnost za verovatnoću od 95%.

Tabela 2. Rezultati merenja pritiska, brzina i vremena za kalibar 7.62 mm

Kanal magnetofona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Pojačanje pojačala (MPa/V)	500	500	500	500	500	200	100	50	20	Brzina na 10 m od usta cevi V_{10} (m/s)	Napomena	
Merno mesto	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Odstojanje MM, X (m)	.0265	.0575	.0925	.1375	.1825	.2375	.2785	.3295	.377			
Red. broj opaljenja	Merene veličine	t (m/s)									10	11
		V (m/s)										
		p_{max} (MPa)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	0.200	0.496	0.526	0.648	0.740	0.826	0.928	0.990	1.065	1.134	682.2	Municija PPU iz 1985. god.
		0.0	98.3	286.9	489.1	523.2	539.2	661.3	675.4	693.4		
		285.5	312.4	190.0	165.2	121.7	76.6	53.5	24.7	14.3		
2.	0.236	0.532	0.566	0.674	0.772	0.857	0.953	1.017	1.092	1.160	693.8	- „ -.
		0.0	93.40	324.0	459.2	526.5	570.4	641.6	678.2	702.3		
		289.0	333.1	210.8	163.2	122.0	65.0	45.95	25.46	17.0		
3.	0.262	0.406	0.546	0.660	0.752	0.84	0.940	1.005	1.082	1.150	680.8	- „ -.
		0.0	109.1	307.0	489.1	511.4	559.0	632.1	663.4	689.3		
		305.3	325.5	201.3	163.6	124.6	83.4	54.25	28.0	19.47		
4.	0.272	0.482	0.556	0.672	0.766	0.850	0.946	1.009	1.084	1.152	685.7	- „ -.
		0.0	109.1	301.7	478.7	535.7	571.5	646.4	679.3	696.3		
		314.4	328.8	175.2	172.3	120.9	77.8	54.0	26.9	17.6		
5.	0.224	0.514	0.584	0.668	0.765	0.849	0.947	1.011	1.086	1.154	683.6	- „ -.
		0.0	95.68	291.6	464	534.0	563.8	638.6	674.8	692.8		
		296.9	329.5	196.2	162.6	121.2	86.2	55.6	26.46	19.16		
6.	0.228	0.488	0.54	0.656	0.752	0.835	0.9314	0.995	1.070	1.138	683.8	- „ -.
		0.0	99.36	301.7	471.3	541.4	570.3	643.4	675.3	693.8		
		285.6	331.6	195.9	163.8	120.9	75.5	55.6	26.0	19.2		
7.	0.288	0.54	0.568	0.686	0.780	0.864	0.959	1.022	1.097	1.166	682.2	- „ -.
		0.0	110.7	296.6	478.0	533.2	578.8	648.4	677.4	691.7		
		287.0	327.5	194.5	161.0	120.7	74.7	55.07	25.9	19.8		
8.	0.311	0.58	0.624	0.734	0.826	0.912	1.0019	1.0725	1.1475	1.215	690.9	- „ -.
		0.0	60.3	318.2	489.1	523.2	568.3	642.6	679.4	701.3		
		307.5	340.6	201.1	166.1	128.0	82.4	56.7	27.1	21.16		
9.	0.258	0.526	0.566	0.678	0.768	0.854	0.950	0.956	1.031	1.099	690.4	- „ -.
		0.0	100.6	312.5	500.0	523.2	574.1	644.6	678.3	699.8		
		314.5	343.9	196.5	174.1	124.4	85.5	58.0	26.56	21.3		
10.	0.318	0.480	0.574	0.690	0.778	0.864	0.960	1.023	1.098	1.166	686.6	- „ -.
		0.0	121.0	301.7	511.4	523.2	558.3	650.8	680.0	698.5		
		313.4	338.0	192.9	167.7	126.8	84.6	58.0	26.2	21.0		
11.	0.200	0.490	0.516	0.626	0.722	0.803	0.896	0.958	1.032	1.099	693.5	- „ -.
		0.0	98.1	318.2	468.7	555.5	591.4	661.3	689.2	708.9		
		289.3	343.9	190.2	165.3	122.3	84.4	53.5	28.76	15.0		
12.	0.382	0.652	0.678	0.824	0.918	0.998	1.091	1.153	1.227	1.295	689.9	- „ -.
		0.0	104.7	239.7	475	557.8	591.4	661.3	684.5	703.7		
		286.4	325.5	179.7	175.5	125.1	77.8	54.0	28.25	18.1		
13.	0.200	0.534	0.564	0.674	0.768	0.850	0.945	1.008	1.083	1.151	686.6	- „ -.
		0.0	85.2	318.2	478.7	548.8	578.9	650.9	680.0	698.5		
		284.3	336.4	190.7	169.1	123.8	84.3	51.9	26.3	19.0		
14.	0.322	0.56	0.596	0.702	0.794	0.876	0.972	1.035	1.110	1.1776	692.8	- „ -.
		0.0	113.1	330.2	489.1	548.8	573.0	650.0	680.0	702.6		
		286.5	345.0	190.6	167.6	127.4	83.4	50.35	26.4	19.1		
15.	0.260	0.510	0.546	0.654	0.744	0.824	0.918	0.980	1.055	1.122	698.4	- „ -.
		0.0	102.0	324.0	500.0	562.5	585.1	661.3	680.0	708.9		
		303.7	356.6	197.4	167.7	129.7	87.5	51.7	26.5	20.0		

Nastavak tabele 3

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16.	0.324	0.562	0.608	0.714	0.804	0.882	0.975	1.037	1.111	1.178	697.8	- „ -.
		0.0	109.1	330.2	500.0	576.9	591.4	661.3	689.2	708.9		
		309.3	361.3	197.4	171.4	129.3	79.8	53.6	26.06	20.3		
17.	0.262	0.522	0.568	0.676	0.770	0.850	0.945	1.008	1.083	1.151	689.9	- „ -.
		0.0	101.3	324.0	478.7	562.5	578.9	650.8	680.0	698.5		
		294.8	344.4	191.7	164.3	128.9	80.7	53.5	27.1	22.6		
18.	0.272	0.534	0.582	0.692	0.784	0.866	0.964	1.028	1.104	1.1725	685.9	- „ -.
		0.0	100.0	318.2	489.1	548.8	561.2	640.6	671.0	693.4		
		291.5	347.8	194.8	165.4	127.7	84.2	53.6	26.0	22.6		
19.	0.264	0.534	0.582	0.690	0.780	0.862	0.960	1.024	1.100	1.168	688.5	- „ -.
		0.0	97.5	324.0	500.0	548.8	561.2	640.6	671.0	698.5		
		295.7	351.6	194.1	165.3	127.0	87.0	53.6	25.96	22.9		
20.	0.228	0.502	0.544	0.658	0.753	0.833	0.928	0.991	1.066	1.1335	691.6	- „ -.
		0.0	98.1	307.0	473.8	557.8	579.0	650.8	680.0	703.7		
		297.3	344.6	200.6	172.9	132.1	88.0	53.9	26.0	24.1		
21.	0.268	0.544	0.564	0.680	0.772	0.856	0.953	1.016	1.091	1.159	687.6	- „ -.
		0.0	104.7	301.7	489.1	535.7	567.0	650.8	680.0	698.5		
		277.1	335.6	199.9	154.5	115.3	80.5	48.0	29.2	19.15		
22.	0.314	0.562	0.598	0.710	0.800	0.884	0.980	1.043	1.1176	1.185	691.4	- „ -.
		0.0	109.1	312.5	500.0	535.7	572.3	650.8	683.6	704.7		
		293.0	355.6	207.2	158.2	116.3	77.3	49.1	27.57	21.0		
23.	0.316	0.566	0.602	0.714	0.808	0.890	0.985	1.048	1.123	1.1913	684.3	- „ -.
		0.0	108.4	312.5	478.7	548.8	578.9	650.8	680.0	698.5		
		277.8	342.7	203.3	164.1	121.7	80.3	51.0	27.5	21.9		
24.	0.282	0.524	0.564	0.668	0.766	0.848	0.943	1.005	1.079	1.1463	696.7	- „ -.
		0.0	110.0	336.5	459.2	548.8	578.9	661.3	689.2	705.8		
		302.4	358.3	206.3	164.0	123.0	77.0	51.1	27.5	22.25		
25.	0.258	0.610	0.632	0.746	0.840	0.920	1.014	1.0756	1.150	1.218	690.7	- „ -.
		0.0	83.0	307.0	478.7	562.5	585.0	665.5	685.5	698.5		
		286.1	344.7	206.6	164.7	125.8	86.8	53.5	28.0	23.98		
26.	0.294	0.542	0.572	0.682	0.774	0.858	0.954	1.016	1.091	1.159	686.6	- „ -.
		0.0	111.5	318.2	489.1	535.7	572.9	661.3	680.0	698.5		
		290.3	350.8	207.3	165.3	125.5	78.5	53.6	27.2	23.5		
27.	0.168	0.522	0.582	0.688	0.780	0.862	0.9573	1.0176	1.0915	1.159	697.9	- „ -.
		0.0	87.6	330.2	489.1	548.8	577.1	662.7	690.7	703.7		
		300.1	359.3	210.7	168.5	127.7	83.6	55.25	27.26	23.6		
28.	0.236	0.532	0.566	0.676	0.768	0.848	0.943	1.0046	1.079	1.1465	694.3	- „ -.
		0.0	94.0	318.2	489.1	562.5	578.9	665.6	685.5	703.7		
		295.0	348.6	206.1	164.9	129.7	91.5	45.0	27.1	22.75		
29.	0.288	0.556	0.586	0.694	0.786	0.868	0.9653	1.0279	1.1023	1.1696	696.4	- „ -.
		0.0	104.0	324.0	489.1	548.8	565.2	655.0	685.5	705.8		
		293.1	348.2	204.4	165.5	126.7	89.2	56.8	28.0	25.1		
30.	0.2	0.560	0.590	0.698	0.788	0.868	0.9615	1.0236	1.0976	1.1647	698.4	- „ -.
		0.0	105.4	324.0	500.0	562.5	588.2	660.2	689.2	707.8		
		300.3	357.0	206.4	165.8	126.5	90.0	58.4	27.4	25.1		
Prosečna srednja vrednost	0.268	0.532	0.5751	0.6877	0.7806	0.8632	0.9591	1.0199	1.0922	1.1627	689.97	V ₀ =699.5 x1.03574= 724.5
		0.0	100.8	312.0	484.8	544.4	573.6	652.1	680.5	700.3		
		294.77	342.3	198.0	177.0	124.7	82.12	53.27	26.91	20.73		
Prosečno srednje odstupanje		0.0593	.03278	.0367	.0356	.0350	.0345	.0365	.0365	.0377	5.27	
		0.0	11.446	18.289	13.015	15.625	11.505	9.063	6.098	5.827		
		10.631	11.917	11.828	12.03	3.9369	5.561	3.253	1.0078	2.758		
Merna nesigurnost za P=95%		0.0108	.00598	.0067	.0065	.0064	.0063	.0067	.0067	.0068	0.962	
		0.0	2.09	3.3392	2.376	2.853	2.100	1.654	1.113	1.064		
		1.94	2.1758	2.1596	2.197	0.7188	1.0154	.0104	.184	.5036		

Pored planiranih eksperimenata za verifikaciju teorijskog i numeričkog modela, realizovan je i eksperiment merenja V_{10} iz „bušene” i „nebušene” cevi AP 7.62 mm kojima se raspolagalo (tabela 3).

Tabela 3. Rezultati merenja V_{10} iz „nebušene” cevi AP 7.62 mm

Red. br. op.	V_{10} (m/s)	Red. br. op.	V_{10} (m/s)	Red. br. op.	V_{10} (m/s)	
1	715.6	8	720	15	718.9	
2	712	9	712.4	16	714.4	
3	712.3	10	714.8	17	718.8	
4	712.8	11	718.4	18	714.5	
5	720.8	12	712.7	19	719.7	
6	719.2	13	713	20	719.2	
7	711.5	14	709.9	Sr.vr.op	715.545	
					Svedena V_{10} na V_0	725.189

Početna brzina projektila se dobija iz jednačine kretanja projektila na osnovu planimetrisanja ukupne površine ispod krive pritiska u funkciji puta ili vremena:

$$V_0^2 = \frac{2S}{\varphi m} \int_0^{x_u} p dx \quad \text{ili} \quad V_0 = \sqrt{\frac{S}{\varphi m} \int_0^{t_u} p dt} \quad (3)$$

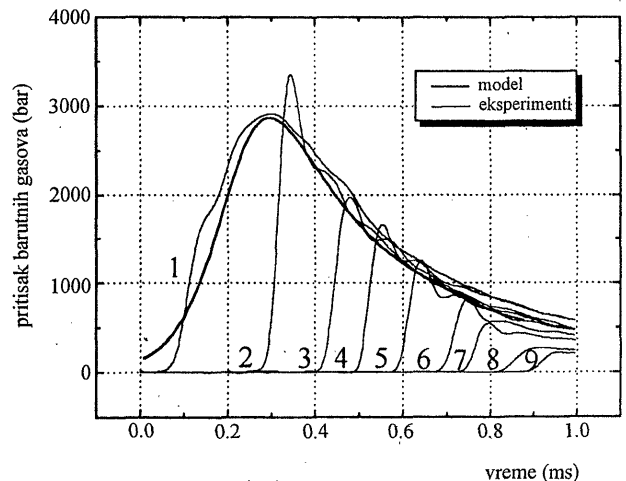
Na osnovu pada brzine projektila V_{10} i povećanja zapremine iza projektila za nosače mernih pretvarača pritiska ($\Delta W = 1.6866\%$), dolazi se do korektivnog koeficijenta od $\Delta V_{10} = 3.574\%$ kojim se koriguje srednja izmerena početna brzina projektila svedena na usta cevi (tabela 2).

Analiza eksperimentalno dobijenih rezultata

Rezultati u tabeli 3 daju maksimalne vrednosti pritiska na svakom mernom pretvaraču, srednju brzinu između dva pretvarača i vreme ostvarivanja tih veličina. Iz tabele se mogu videti: prosečne srednje vrednosti, maksimalne i minimalne vrednosti izmerenih veličina, raspon između maksimalnih i minimalnih vrednosti kao i prosečno srednje odstupanje i merna nesigurnost za svako merno mesto. Analizom sveukupnosti rezultata uočava se da je merna nesigurnost za brzinu $V_{10} = 0.962$ m/s i to za 30 opaljenja. Nameće se logični zaključak da se povećanjem broja merenja smanjuje merna nesigurnost. Maksimalna merna nesigurnost za brzine projektila u cevi oružja je $V_{10} = 3.34$ m/s i to na mernom mestu 3. Maksimalna merna nesigurnost kod merenja pritiska iznosi 2.17 MPa, što se smatra veoma prihvatljivim s obzirom da se pojavljuje u području ostvarivanja maksimalnog pritiska barutnih gasova. Proizvođač mernih pretvarača pritiska za takve situacije daje mogućnost pojave „over shoot” premašenja – nadvišenja stvarne vrednosti s obzirom da je vreme porasta pritiska barutnih gasova na mernom mestu 2 vrlo malo, i za vernu reprodukciju zahteva merni pretvarač veoma velike gornje granične učestalosti. Korišćeni merni pretvarači nemaju dovoljno visoku graničnu učestalost (imaju 140 kHz [8,9]) pa dolazi do oscilovanja samog pretvarača, koji se ponaša kao sistem drugog reda sa malim faktorom prigušenja.

Prosečne srednje vrednosti svih opaljenja i svih mernih mesta za odabrano oružje su obrađene na računaru HEWLETT PACKARD i daju se dijagramski na sl.2, a koriste se za uporednu analizu eksperimentalnih rezultata sa proračunskim [6 i 18].

Redni brojevi mernih mesta označeni su na dijagramu sl.2. Analiza srednjih vrednosti pokazuje da se merni pretvarači pritiska jedan za drugim uključuju u registrovanje



Slika 2. Dijagrami $p(t)$ modela i srednjih vrednosti eksperimenata za sva merna mesta na AP 7,62 mm

pritiska upravo kako su duž cevi i postavljeni. Bitno je uočiti, da za isti vremenski trenutak kada registruje pritisak 9 mernih pretvarača u komori iza projektila, svaki od mernih pretvarača daje svoj lokalni pritisak koji se međusobno razlikuju. Ovo ukazuje na to da je pritisak barutnih gasova u komori funkcija vremena i puta projektila.

Pošto su merna mesta međusobno blizu, može se na osnovu eksperimentalnih rezultata doneti siguran sud o promeni pritiska i brzine projektila duž cevi za neko fiksno vreme. Očigledno je da je pritisak od dna cevi ka ustima cevi jedna rastuća pa opadajuća funkcija. Brzina projektila u cevi je rastuća funkcija, s tim što je u prvoj polovini cevi mnogo veći gradijent priraštaja brzine u odnosu na drugu polovinu cevi. Karakter promene brzine projektila u cevi logično prati priliv barutnih gasova, tj. zakon razvoja pritiska barutnih gasova.

Početak krive pritiska na mernom mestu 1 je početak procesa opaljenja. Od početka krive do vrha protekne vreme (skinuto sa dijagrama) ≈ 0.2 ms. Vreme između prvog i poslednjeg mernog mesta je (prema tabeli) ≈ 0.7 ms. Merno mesto 9 je na 3-4 cm od usta cevi, pa se može smatrati da projektil napušta usta cevi kada se na mernom mestu 9 postigne maksimum, ili nešto kasnije. U svakom slučaju, s obzirom na ostale podatke, to vreme ne može biti duže od 0.05 ms. Na taj način se dobija orijentaciono vreme procesa opaljenja u cevi oružja automatske puške 7.62 mm ≈ 0.95 ms.

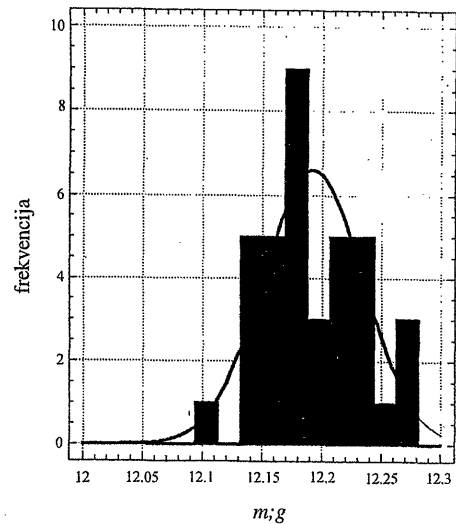
Kako krive predstavljaju vremensku promenu pritiska na određenom mestu u cevi, to se sukcesivnim vertikalnim presecanjima krivih dobijaju pritisci na datim mernim mestima u fiksnom vremenu i oni se mogu uporediti sa proračunskim podacima.

Na sl.2 su prikazane krive pritiska svih mernih mesta i kriva modela na mernom mestu 1. Merno mesto 1 registruje pritisak u čahuri metka, tj. počinje da registruje pritisak odmah nakon opaljenja kapsle. S obzirom da u eksperimentalnoj cevi vladaju drugačiji uslovi opaljenja od uslova za bojeve cevi, izvršena je korekcija matematičkog modela i programa prema uslovima za eksperimentalnu cev i sa takvim programom su izvršeni proračuni [6 i 18].

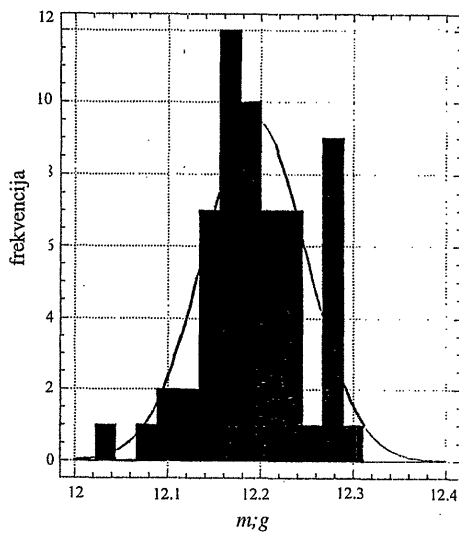
Srednja eksperimentalna vrednost maksimalnog pritiska barutnih gasova (294.77 MPa) praktično je poklopljena sa modelom (295.1 MPa) za $N=20$ a i ceo tok eksperimentalne i proračunske krive se dobro poklapaju čime se potvrđuje ispravnost postavljene teorije. Izuzetak je početak krive na mernom mestu 2, koji je posledica reagovanja mernog lanca

i ne može se uzeti u obzir kao tačno izmereni podatak. Rezultati eksperimenta potvrđuju karakter razvoja pritiska u cevi oružja kao funkcije vremena i položaja u cevi.

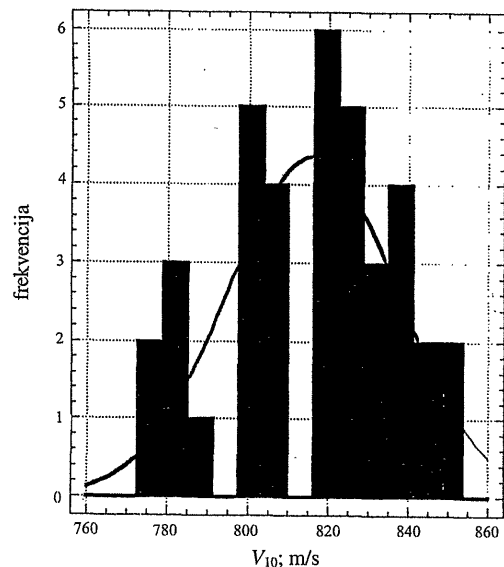
Bez obzira koliko je tačno i brižljivo vršeno uzastopno merenje jedne konstantne veličine, rezultati merenja se ne podudaraju od metka do metka što je posledica odstupanja karakteristika baruta i drugih podataka od propisanih a pretpostavlja se da sadrže i veću ili manju slučajnu grešku. Na tok merenja i rezultate svakog inženjerskog eksperimenta utiče ceo niz nekontrolisanih spoljnih faktora (temperatura, pritisak, vlažnost, osvetljenje, doba dana, dan u nedelji, čovek itd.). Pošto su svi uticaju slučajnog karaktera, oni onda podjednako utiču na rezultate eksperimenata. Analizom sveukupnosti rezultata uočava se da se neki ređe a neki češće pojavljuju, a to se može grafički prikazati linijom raspodele rezultata za svako merno mesto i oružje. Zbog obimnosti rezultata, ovde se daju samo histogrami frekvencija za mase metaka, slike 3, 4 i 5, za maksimalne pritiske barutnih gasova, sl.6, i brzine projektila na 10 m od usta cevi, sl.7, za jedno oružje, inače su slični i za ostala oružja.



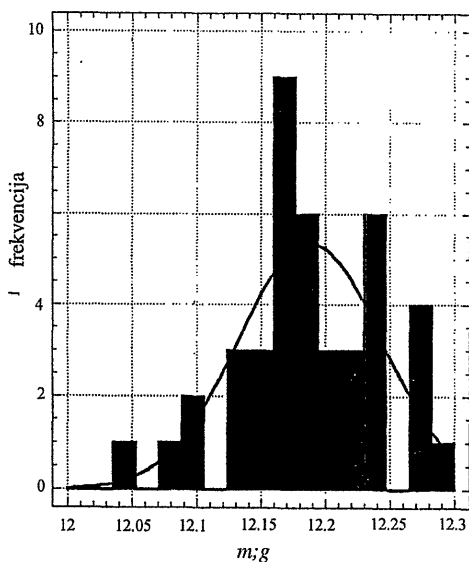
Slika 5. Histogram frekvencija za 37 izmerenih masa metaka kod AP 5.56 mm



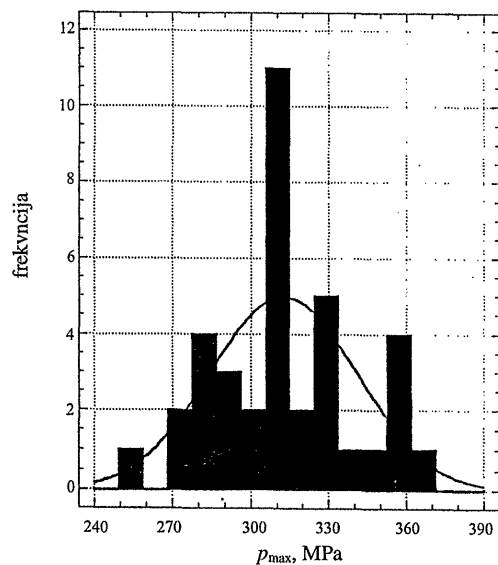
Slika 3. Histogram frekvencija za 60 izmerenih masa metaka kod AP 5.56 mm



Slika 6. Histogram frekvencija za 37 izmerenih V_{10} kod AP 5.56 mm



Slika 4. Histogram frekvencija za 42 izmerene mase metaka kod AP 5.56 mm



Slika 7. Histogram frekvencija za 37 izmerenih p_{max} kod AP 5.56 mm

Histogrami grafički prikazuju samo jedan od ulaznih parametara koji ima uticaja na veoma bitne izlazne karakteristike, a ukazuju na neminovno prisustvo slučajnih grešaka pri merenju. Između svih rezultata nalazi se jedna srednja vrednost koja se najčešće javlja. Ta se vrednost, na neki način, može smatrati kao „najtačniji” rezultat koji se u statistici naziva istinita vrednost, srednja vrednost populacije ili centralna tendencija, jedne sveukupnosti rezultata.

Svaki pojedinačni rezultat odstupa od istinite vrednosti za veličinu devijacije. Prisustvo slučajne greške se može utvrditi samo sa više uzastopnih merenja iste veličine kod merenja, a u eksperimentu samo ako se obavi više merenja rezultata pri istom nivou kontrolisanih faktora. Izmerene fizičke veličine pokoravaju se zakonu normalne, tj. Gausove raspodele na kojoj je, inače, zasnovana teorija planiranog eksperimenta [10].

Zaključak

U radu su dati rezultati eksperimentalne metode koji oslikavaju fizičku sliku procesa opaljenja. Rezultati eksperimenata potvrđuju karakter razvoja pritiska barutnih gasova i brzine projektila u cevi oružja kao i osnovnu pretpostavku matematičkog modela da je pritisak barutnih gasova funkcija vremena i puta projektila.

Za realizaciju eksperimenata projektovan je i izrađen univerzalni eksperimentalni uređaj za istraživanje procesa opaljenja u cevi. Uređaj i razvijena metodologija merenja omogućavaju realizaciju eksperimenata za merenje pritiska, brzina i vremena u cevi oružja za vreme opaljenja, kao i provođenje potpunog faktorskog plana eksperimenta 2^n sa regresionom analizom. Odabrani su reprezentativni uzorci oružja na kojima je mereno više karakteristika na maksimalno mogućem broju mernih mesta. Osvojen je postupak za sinhronizaciju rada mernog lanca tokom eksperimentisanja. Dobijeni rezultati eksperimentisanja omogućuju znatno bolje razumevanje fizičke slike procesa koji se odvija u cevi oružja za vreme opaljenja. Kompletni merni lanac obezbeđuje veoma tačno određivanje pritiska barutnih gasova u cevi. Eksperimentalni uređaj može da nađe široku primenu pri razvoju novih i modifikacijama postojećih sistema.

Poređenjem eksperimentalnih i proračunskih rezultata za pritisak barutnih gasova ustanovljena je njihova dobra saglasnost za slučaj celog procesa opaljenja, čime se potvrđuje korektnost matematičkog modela. Teorijsko-numerički model može da se koristi kao simulator opaljenja.

Činjenica da ne postoji apsolutno tačno izmereni rezultat ukazuje na to, da i sam postupak merenja nije deterministička već stohastička pojava koja zatheva visoku frek-

venciju uzorkovanja i specifičnu laboraciju baruta da se dobije što tačnije izmeren rezultat.

Literatura

- [1] JARAMAZ, S. *Prilog proučavanju prostiranja plamena kroz granularnu sredinu*. doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [2] TANČIĆ, LJ. *Određivanje pritiska forsiranja kod streljačkog oružja*. magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1987.
- [3] CVETKOVIĆ, M. *Primena nestacionarne gasodinamike na unutrašnjebalistički problem oružja malih kalibara*. doktorska disertacija, VVTS KoV JNA, Zagreb, 1984.
- [4] CVETKOVIĆ, M., MALINOV, J., TANČIĆ, LJ. *Eksperimentalno istraživanje karakteristika dvofaznog strujanja u oružju*. XIX kongres teorijske i primenjene mehanike. Ohrid, SFRJ, 1990.
- [5] TANČIĆ, LJ., MALINOV, J. *Određivanje pritiska barutnih plinova i brzine projektila u cijevi oružja*. 35. skup JUREMA, Zagreb, 1990.
- [6] TANČIĆ, LJ. *Numeričko rešenje nestacionarnog modela unutrašnje balistike oružja malih kalibara*. doktorska disertacija, Vojnotehnička akademija, Beograd, 1997.
- [7] BANOVIĆ, B. *Mjerenja na konstrukcijama i oruđima*. TŠC KoV JNA, Zagreb, 1975.
- [8] ...Piezo-Instrumentation Kistler, Operating Instructions high-pressure quartz transducers, Type 6201B, 6203I, 6211, 6221, Kistler Instrumente AG, CH-8408 Winterthur, Switzerland, 1983.
- [9] ...Piezo-Messtechnik Kistler, Quarzkristall-Hochdruckaufnehmer, Operating-and service-instructions for Type 6201B, 6203, 6211, 6221, Kistler Instrumente AG, CH-8408 Winterthur, Switzerland, 1978.
- [10] PANTELIĆ, I. *Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta*. Radnički univerzitet „Radivoj Čirpanov”, Novi Sad, 1976.
- [11] BOROJEVIĆ, S. *Metodologija eksperimentalno naučnog rada*. Radnički univerzitet „Radivoj Čirpanov”, Novi Sad, 1978.
- [12] BREZINŠČAK, M. *Mjerenje i računanje u tehničarima*. Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [13] HADŽIVUKOVIĆ, S. *Planiranje eksperimenata*. NIGP - Privredni pregled, Beograd, 1977.
- [14] PEROVIĆ, G. *Račun izravnjanja i teorija grešaka merenja*. Građevinski fakultet Beograd, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
- [15] ... Standard Narodne odbrane (SNO 4056/92), Municija i baruti: „Balistička ispitivanja kod streljačkog oružja”, Beograd, 1992.
- [16] ...Standard Narodne odbrane (SNO 4290/85), Maksimalni pritisci barutnih gasova „Merenje krešernim sistemom”, Beograd, 1985.
- [17] ...Standard Narodne odbrane (SNO 4294/85), Merenje brzine projektila na putanji pomoću pretvarača za detekciju prolaska, Beograd, 1985.
- [18] CVETKOVIĆ, M., TANČIĆ, LJ. *A comparisons analysis experimental and calculations results for two-phase flow in the small arms*. II International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Chair of Fluid Mechanics, Beograd, 1966.