

Dr Zoran Ristić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

NEKE KARAKTERISTIKE PROTOČNIH OTVORA HIDRAULIČNE KOČNICE TRZANJA ARTILJERIJSKIH ORUĐA

UDC: 62-592.2.000.532.5 : 623.41/.42

Rezime:

U radu su prikazani tipični oblici protočnih otvora hidrauličnih kočnica artiljerijskih oruđa i njihove osnovne karakteristike. Izvršena je analiza koeficijenata protoka tečnosti i koeficijenta otpora proticanja tečnosti za različitu geometriju protočnih otvora na osnovu eksperimentalnih podataka. Data je metodologija određivanja koeficijenta otpora proticanja tečnosti i uticaj na veličinu sile otpora hidraulične kočnice trzanja.

Ključne reči: hidraulična kočnica, artiljerijska oruđa, protočni otvori, koeficijent otpora proticanja.

SOME CHARACTERISTICS OF THE ORIFICE AREAS IN HYDRAULIC RECOIL BRAKES ON ARTILLERY WEAPONS

Summary:

This work presents some common forms of the orifice area in hydraulic recoil brakes and their basic characteristics. The analysis of the fluid flow coefficient and the flow resistance coefficient is performed for various geometry surface areas on the basis of experimental data. The methodology of determining the flow resistance coefficient and its influence on the hydraulic braking force has been given.

Key words: hydraulic brake, artillery weapon, orifice area, flow resistance coefficient.

Uvod

Problem proticanja tečnosti kroz cevi, naročito poslednjih godina, inicirao je relativno veliki broj eksperimenata i teorijskih radova iz te oblasti. U većini ovih radova razmatraju se zakonitosti proticanja uglavnom idealne tečnosti, a manje viskoznih tečnosti, posebno ne na način koji odgovara realnom procesu u hidrauličnoj kočnici (HK) oruđa. Neki autori problem hidrauličnih kočnica oruđa tesno vezuju bilo za studiju proticanja kroz cevi, bilo kroz dijafragme. Sve zavisi od toga da li se otvor za proticanje teč-

nosti u klipu HK razmatra kao „cev“ ili samo kao „otvor“ u tankoj pregradi.

Bitna razlika između ovih otvora je u tome što kod cevi najveći značaj ima dužina i prečnik, a kod dijafragmi ulazni i izlazni oblik otvora. Treba naglasiti da su protočni otvori u hidrauličnim cilindrima na kočnicama oruđa, koji propuštaju tečnost s jedne strane klipa na drugu, vrlo slični dijafragmama. Uloga dijafragme HK sastoji se u stvaranju razlike pritiska između jedne i druge strane dijafragme, kao i da naglim smanjenjem preseka za proticanje u cilindru transformiše energiju pritiska u kinetičku energiju.

Hidraulično funkcionisanje dijafragme karakteriše se, pre svega, koeficijentom protoka ξ_p , a kada se radi o problemu HK, i koeficijentom otpora proticanja k . Oba koeficijenta određuju se na isti način, merenjem protoka Q (m^3/s) pod izvesnim pritiskom. Za viskozne tečnosti važi relacija [1]:

$$Q = \xi_p \mu a \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (1)$$

gde je:

μ – koeficijent kontrakcije,

a – presek protočnog otvora,

Δp – razlika pritiska između dve tačke s jedne i druge strane dijafragme,

ξ – koeficijent gubitaka (obuhvata unutrašnja trenja realne tečnosti),

ρ – gustina protočne tečnosti,

Ako se uzme da je $\xi_p = \xi_p$ onda se prema (1) za koeficijent protoka dobija:

$$\xi_p = \frac{Q}{a \sqrt{2\Delta p / \rho}} \quad (2)$$

Analogno, prema [2], za koeficijent otpora proticanja k dobija se ista relacija. Ovako definisani koeficijenti međusobno se razlikuju za veličine pada pritiska Δp merenog u prostoru iza dijafragme. U praktičnoj upotrebi postoji određeni broj dijafragmi koje su normalizovane, sa tačno određenim dimenzijama i hidrauličnim karakteristikama. U praksi HK mogu se naći slučajevi više varijanti osnovnih tipova dijafragmi, pri čemu se svaka od varijanti može kombinovati sa prstenastim oblikom protočnog otvora.

Neki rezultati eksperimenata ovih dijafragmi mogu da se primene i na pro-

točne otvore u HK, uz veću ili manju tačnost rezultata, s obzirom na to da su i metode merenja protoka u principu mnogobrojne i vrlo različite.

Cilj je da se iz dobijenih rezultata sa merenjem protoka dođe do zaključka koji će korektno moći da se primeni na određivanje hidrauličnih karakteristika nekog već usvojenog protočnog otvora u HK određenog tipa.

Eksperimentalna istraživanja

U široj literaturi [3 i 4] mogu se naći brojni podaci o eksperimentalnom određivanju koeficijenta protoka i otpora tečnosti kroz različite tipove dijafragmi. Rezultati su prikazani u funkciji Re-broja koji se može odnositi na otvore prečnika u dijafragmi ili na presek same cevi u kojoj je smeštena dijafragma. Dijafragme, geometrijski slične i postavljene u slične cevi, takođe se mogu izraziti u funkciji od Re-broja i odnosa prečnika dijafragme i cevi.

$$\xi_p = f \left(\text{Re}, \frac{d}{D} \right)$$

Od brojnih eksperimenata sa dijafragma, raznih autora (Johansen, Hodgson, Daugherty, Witte, Hansen, Jakob i dr.), ovde će biti navedeni neki važniji rezultati koji su karakteristični za HK. Pri tome, treba napomenuti da je za HK mnogo značajnije poznavanje i određivanje koeficijenta otpora proticanja k . Prema karakteru promene k u funkciji od Re-broja važno je da se odredi vrednost Re pri kojem k postaje konstantno. Budući da se pri određivanju k pad pritiska Δp meri u tačkama gde tečni mlaz potpu-

no ispunjava cilindar, to se između posmatranih preseka moraju uvažiti svi padovi pritiska prema Bernuli-Bordinoj jednačini. Tako se, za realne tečnosti na osnovu poznatih jednačina i jednačine kontinuiteta, u slučaju naglog proširenja preseka za pad pritiska dobija [2]:

$$\Delta p = \frac{1}{k^2} (1-m)^2 \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

gde je:

k – koeficijent otpora proticanja,

$k = f(\text{Re})$, $m = (d/D)^2$ i

w – brzina strujanja tečnosti.

Relacija (3) omogućava da se za definisane protočne otvore u HK određenog tipa, korišćenjem eksperimentalnih ili proračunskih rezultata, mogu sasvim tačno utvrditi vrednosti koeficijenta otpora (k). Ova činjenica iskorišćena je u daljem radu.

Očigledno je da bi koeficijent k trebalo da se razlikuje od koeficijenta protoka ξ_p za veličinu pada pritiska iza dijafragme koji se obično ne obuhvata merenjem protoka. Međutim, iz eksperimentalnih rezultata određivanja zavisnosti vidi se da ξ_p , $k = f(\text{Re})$ na dijafragmama sa različitim otvorima (Ruppel je ispitao 26 dijafragmi sa otvorima $m = 0,04 \div 0,6$, a Dumez sa tečnostima raznih viskoznosti i $\text{Re} < 1000$). Eksperimenti Shlaga i Wittea pokazali su da:

- ispred dijafragme razlika između pritiska dobijenog standardnim merenjem u blizini protočnog otvora i pritiska dobijenog u tački gde tečni mlaz potpuno ispunjava cev, može dostići 15% standardnog pritiska;

- iza dijafragme, pri čemu je merenje pritiska vršeno na odstojanju od 3D

do 5D, ova razlika pritiska može dostići 50% standardnog pritiska za odnos $d/D = 0,2$, odnosno 5% standardnog pritiska za odnos $d/D = 0,7$.

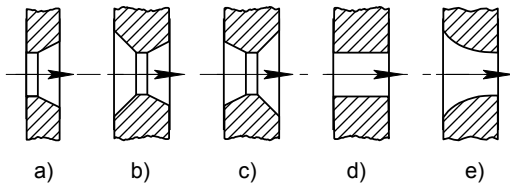
Kako je u HK protočni otvor mali u odnosu na cev, tj. hidraulični cilindar u kome se kreće klip ($m < 0,04 \div 0,09$), može se očekivati da će i razlike između koeficijenata k i ξ_p biti relativno male. Pri većim Re-brojevima oba koeficijenta su konstantna, a koeficijent k može se dobiti iz ξ_p , tako što se pri $d/D = (0,05 \text{ i } 0,1)$ koeficijent ξ_p poveća za 1%, odnosno 2% [2]. Takođe, utvrđeno je da pri velikim Re brojevima koeficijenti protoka i otpora teže da se izjednače sa koeficijentom kontrakcije tečnosti μ . Kod srednjih i malih Re brojeva oba koeficijenta teže da se izjednače, i oba se potpuno razlikuju od koeficijenta kontrakcije.

Za protivtrajuće uređaje uopšte, a za HK posebno, značajno je da se za razne oblike protočnog otvora utvrdi pri kojem najmanjem Re-broju koeficijent protoka postaje konstantan ($\xi_p = \text{const}$). U odnosu na klasičnu metodu, poboljšani model proračuna hidrauličnih parametara kočnice treba da omogući utvrđivanje vrednosti $k = f(\text{Re})$ za celi proces kretanja klipa pri trzanju.

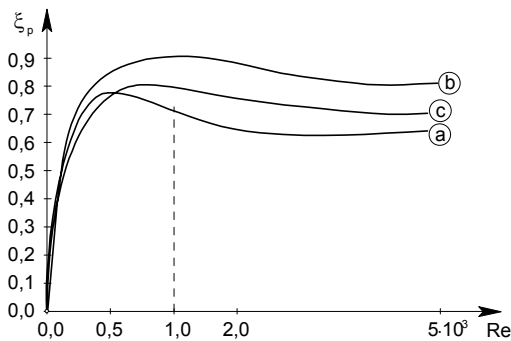
Od brojnih eksperimentalnih rezultata sa kružnim otvorima, čiji je odnos $d/D < 0,3$, a koji se navode u [2] i [5], na slici 1 predstavljeni su samo oni koji su tipični i najčešće korišćeni pri projektovanju HK na artiljerijskim sistemima.

Iz eksperimentalnih istraživanja, koja su uporedno predstavljena na slici 2, za navedene protočne otvore može se istaći sledeće:

- za protočni otvor u tankoj pregradi sa prednjom ravnom površinom (Johan-



Sl. 1 – Oblici protočnih otvora hidraulične kočnice



Sl. 2 – Koeffcijent protoka $\xi_p = f(Re)$

sen, Hodgson – slika 1a), koeffcijent protoka ξ_p postaje približno konstantan počev od $Re = 100$. Sa povećanjem Re brojeva ξ_p raste, ima maksimum i teži prema vrednosti $\xi_p \cong 0,62$;

– za konvergentno-divergentni protočni otvor (Witte – slika 1b), cilindrični deo skoro da ne postoji. Koeffcijent protoka ξ_p je konstantan, počev od $Re = 500$, i teži prema vrednosti $\xi_p \cong 0,92$;

– protočni otvor obrnut je u odnosu na prethodni (Hansen, slika 1c), ima vrlo kratak ulazni konus, a cilindrični deo skoro da i ne postoji. Maksimum se postiže kod $Re = 1000$, a konstantna vrednost za ξ_p je pri $Re = 5000$;

– protočni otvor cilindričnog tipa (slika 1d) daje promenljive vrednosti koeffcijenta ξ_p . Kod dužih otvora ξ_p postaje konstantan tek za vrednosti $Re \geq 1000$, a za kraće otvore mora se približno uzeti da je konstantan kod $Re \geq 2000$;

– protočni otvor u zaobljenoj dijafragmi (slika 1e) sa odnosom $m = 0,05$ daje približno konstantan koeffcijent ξ_p pri $Re \cong 1000$, a sa odnosom $m = 0,36$ pri $Re = 500$. Kod odnosa prečnika $m = 0,05$, ξ_p teži vrednosti $0,77$, a za $m = 0,36$ prema $0,9$.

Može se konstatovati da protočni otvor tipa Johansen ima najkonstantniji, a cilindrični protočni otvor najpromenljiviji koeffcijent protoka ξ_p i, prema tome, koeffcijent otpora k proticanja tečnosti. Ovu činjenicu treba imati u vidu, naročito pri projektovanju protočnih otvora kod pojedinih tipova HK, a time i ukupne veličine potrebne sile hidrauličnog otpora trzanju. Na kraju, treba podsetiti da prema podacima o HK, postojećim modelima u vezi sa istraživanjem koeffcijenta otpora proticanja, još uvek nisu pouzdano i tačno određene pripadajuće vrednosti koeffcijenta za celi proces trzanja.

Analiza koeffcijenta otpora proticanja tečnosti

U dostupnim izvorima obično se daju različite vrednosti koeffcijenta otpora proticanja tečnosti k , tabela 1. S druge strane, u postojećoj metodologiji proračuna HK (klasični metod), za koeffcijente otpora k uzimaju se konstantne vrednosti na celom putu trzanja, što nije korektno i tačno.

Tabela 1
Vrednost koeffcijenta otpora proticanja

Autori	Osnovno proticanje	Dopunsko proticanje
$k_1 = \frac{1+\xi}{\mu^2}$ (Toločkov)	$k_1 = 1,2 \div 1,6$	$k_2 = (3 \div 4) k_1$
$k_1 = \frac{1+\xi}{c^2 \mu_r^2} + \left(\frac{a}{A+a} \right)$ (Orlov)	$1,1 < k_1 < 4$	$k_2 = 3 \div 5$

Oznake veličina u tabeli 1 su:

ξ – koeficijent unutrašnjeg trenja tečnosti;

μ – koeficijent kontrakcije tečnosti za otvore sa oštrim ivicama;

$C \cong 0,9 \div 0,95$ – koeficijent gubitaka usled trenja tečnosti;

$\mu_r \cong 0,5 \varphi_r^2$ – koeficijent kontrakcije tečnosti za otvore sa zaobljenim ivicama;

$\varphi_r = 1 + 1,77 \frac{r}{\sqrt{a}}$ – geometrijska karakteristika otvora (r – radijus zaobljenja);

a, A – površina preseka kanala i cilindra kočnice.

Prema [6] obično se uzima da je $0,5 < C \mu_r \leq C$ i $0 < r \leq 0,235 \sqrt{a}$.

Postavlja se pitanje da li se ovi rezultati mogu primeniti na protočne otvore u HK? Sa gledišta hidrauličnog funkcionisanja i s obzirom na konstrukcione oblike, očigledno je da postoji više razloga koji sprečavaju prostu primenu rezultata opita sa dijafragmama na protočne otvore HK. Među njima su karakteristični sledeći:

– u HK od početka do kraja trzanja režim i brzina proticanja se više puta menjaju, a često i presek protočnog otvora;

– pokretanje tečnosti iz stanja mirovanja vrši se naglo, sa velikim brzinama strujanja, pri čemu je lako moguće da se izazove turbulencija strujanja;

– protočni otvori kočnica često su komplikovani (po obliku i dimenzijama), tako da u celini nemaju nikakve veze sa uobičajenim otvorima eksperimentalne hidromehanike. Kako je dijafragma obično predstavljena jednom tankom pregradom sa vrlo malom dužinom otvora, dotle su protočni otvori HK često dugački deset do dvadeset prečnika sa naglim promenama pravca i preseka;

– stvaranje emulzije u tečnosti usled oscilovanja lafeta oruđa pri opaljenju (mešanje sa vazдушnim mehurima) može da izazove vrtloženje tečnosti i formiranje turbulentnog režima i pri manjim Rebrojevima nego pri ispitivanju u stabilnim laboratorijskim uslovima.

Sve to pokazuje da se dobijeni eksperimentalni rezultati pri laboratorijskim ispitivanjima ne mogu dosledno primeniti na HK, osim kao polazna i gruba uprošćenja.

Ukoliko se oblik protočnog otvora HK više razlikuje od normalnih dijafragma, utoliko je nesigurnija vrednost koeficijenta otpora proticanja k koja bi se odredila prema sličnosti sa ovim dijafragmama. Način određivanja koeficijenta k zavisice od toga u kom stepenu je protočni otvor komplikovaniji od najprostijeg otvora, tj. dijafragme.

Koeficijent otpora k , čija je vrednost data u vrlo širokim granicama (tabela 1), ili je vezana za rezultate eksperimenta sa normiranim dijafragmama, predstavlja najslabiju stranu klasične metode za određivanje hidrauličnog pritiska u HK. Klasična metoda, razvijena na osnovu korigovanog Toričelijeveg zakona [2], daje relativno jednostavan oblik za hidraulični otpor kočnice, a time i jednostavnije rešenje jednačine kretanja trzajuće mase. Ova metoda, uz određene korekcije koje se pre svega odnose na „retuširanje“ (dodatna dorada) već izrađenih protočnih otvora, i danas se koristi pri projektovanju kočnica na oruđima sve dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati.

Autori klasične metode posmatraju koeficijent k kao korektivni koeficijent koji sadrži sve ono što izaziva razliku u proticanju između idealnih i viskoznih tečnosti. Njime se obuhvata korekcija pada pritiska zbog viskoznosti, vrtloga, oblika i dužine protoč-

nog otvora, i brzine proticanja. Imajući u vidu raznolikost protočnih otvora HK, zavisno od konstrukcionog rešenja, veličine koeficijenta k koje navode pojedini autori skoro da nemaju nikakvu praktičnu vrednost. Za HK razvrstane prema obliku i dužini protočnog otvora, različiti su i uslovi po kojima se određuju vrednosti parametara proticanja. Prema [2] kod HK sa vrlo kratkim protočnim otvorima koje obezbeđuju dugačko trzanje, veličina koeficijenta k usvaja se sa srednjom vrednošću koja je konstantna na celoj dužini trzanja, a određuje se prema dijagramu prikazanom na slici 2.

Kod HK, sa dužinama otvora za proticanje od 20 do 50 mm, koje ostvaruju promenljiva trzanja, brzina proticanja tečnosti brzo dostiže svoju maksimalnu vrednost. Pri takvoj brzini, koja zatim postepeno opada na preostalom – većem delu ukupne dužine trzanja, Re-broj je dovoljno veliki, pa se može uzeti da je koeficijent otpora konstantan, a hidraulični pritisak proporcionalan brzini proticanja w^2 . Pri tome se ne može zanemariti uticaj dužine protočnog kanala. Kod oruđa sa kratkim trzanjem (veliki uglovi elevacije cevi), brzina proticanja tečnosti na početnom delu puta trzanja raste, a u toku druge polovine opada. Proticanje je, prema tome, jako promenljivo, a time i vrednost koeficijenta k .

U slučaju HK sa više protočnih kanala raznih oblika, dužine i pravca, koje se u praksi ređe susreću, očigledno je da bi bilo izuzetno teško da se svi otpori obuhvate nekim zajedničkim koeficijentom koji bi se unapred odredio. Pad pritiska između ulaza u protočni kanal i krajnjeg izlaza može se tada izraziti jednim kompleksnim izrazom u kojem se nalaze hidraulične vrednosti za svaku pojedinačnu sekciju protočnog kanala [2, 5].

Za postavljanje tačnijeg modela hidrauličnog funkcionisanja HK, bez obzira na konstrukciona rešenja, treba uvažiti sledeće činjenice:

- hidraulični režim u kočnici vrlo je promenljiv u toku samo jednog trzanja, kao i od jednog do drugog opaljenja metka u funkciji temperature;

- koeficijent otpora proticanja k , koji obuhvata sve faktore promena realne slike procesa strujanja tečnosti, praktično je nemoguće tačno definisati i analizirati bez pouzdanih eksperimentalnih rezultata;

- pri trzanju tečnost protiče kroz protočne otvore u kočnici uvek kroz najmanje tri faze, od kojih su početna i završna u laminarnom režimu, a srednja u laminarnom ili turbulentnom režimu [6];

- faktori koji utiču na promenljivost funkcionisanja su: viskoznost tečnosti, specifična masa tečnosti, oblik i dimenzije protočnog otvora, oblik ulaza i izlaza protočnog otvora, kao i uslovi ispred i iza protočnog otvora.

Na osnovu navedenog ukupni pad pritiska u kočnici, u odnosu na klasični model Toričelijeve teoreme, korigovane eksperimentalnim koeficijentom k [7], može se korektnije definisati. Naime, on treba da se izrazi kao suma padova pritiska: u samom protočnom kanalu, zbog promene površine preseka, i zbog naglog ili koničnog suženja i proširenja otvora. U teorijskom smislu, na ovaj način je poznata Bernuli-Bordina relacija [8], proširena članom koji sadrži gubitke usled unutrašnjeg trenja tečnosti. Prema tome, pritisak u svakoj tački trzanja, u opštem slučaju, jeste suma laminarnog, turbulentnog i Bernuli-Bordinog člana. Koliko će članova kojim se definiše laminarni ili turbulentni režim strujanja tečnosti u kočnici biti konstitutivno za opštu jednačinu pritiska zavisi od konstrukcionih oblika i di-

menzija kanala kroz koje tečnost treba da prođe za vreme trzanja. U svakom slučaju, jednačina hidrauličnog pritiska u kočnici, izražena u funkciji brzine kretanja klipa je kompleksna, kao i ukupni hidraulični otpor kočnice u toku trzanja.

Ovakav prilaz u definisanju dinamičkog modela ponašanja hidraulične kočnice može poslužiti za njenu matematičku formalizaciju i poboljšanje klasične metode projektovanja HK oruđa.

Prema podacima u dostupnoj literaturi, ne postoji a priori egzaktni model za određivanje koeficijenta otpora proticanja tečnosti koji se može jednoznačno primeniti na HK. Pošto su prethodno utvrđeni parametri od kojih zavisi promenljivost koeficijenta otpora proticanja k , posebno je važno da se za određeni tip HK odredi zakonitost promene $k = f(x, t)$ na ukupnom putu trzanja. Ideja je da se u dijapazonu graničnih vrednosti k prema podacima iz literature (tabela 1) metodom simulacije na usvojenom modelu definiše zakon $k = f(x, t)$ koji obezbeđuje isti ili približno isti nivo promene sile hidrauličnog otpora kočnice utvrđene eksperimentalnim putem. Korektnost celog postupka potvrdiće ili demantovati stepen odstupanja veličina dobijen na osnovu uporedne analize proračunskih i eksperimentalnih rezultata.

Treba naglasiti da je potpuno i tačno definisanje koeficijenta k praktično nemoguće bez opsežnih eksperimentalnih istraživanja na konkretnim rešenjima HK artiljerijskih sistema u realnim uslovima. Ovakva ispitivanja zahtevaju složenu mernu opremu i znatna materijalna sredstva koja u našim uslovima sada nisu moguća. Radi toga posebno su vredna istraživanja izvršena u VTI [9] tokom sedamdesetih godina na određenom broju artiljerijskih sistema.

U dostupnoj literaturi iz ove oblasti u novije vreme takođe nisu poznati niti objavljeni rezultati eksperimentalnih istraživanja.

Neka saznanja o ovom problemu, prema [10], koja su publikovana u SAD, a namenjena za potrebe US Army Armament Research And Development Command – Dover, mogu korisno da posluže za praktično određivanje koeficijenta otpora k . Naime, metodologija određivanja koeficijenta k opisuje se kao pokušaj i greška iterativnog postupka proračuna. Na početku procesa usvaja se određena vrednost koeficijenta k i izračunava pritisak tečnosti (kriva pritiska) prema matematičkom modelu. Ako proračunska kriva pritiska nije podudarna ili približna testiranoj (eksperimentalnoj) krivi pritiska, koeficijent k se menja i kriva pritiska ponovo proračunava. Procedura se nastavlja sve dok se ne utvrdi prihvatljiva vrednost koeficijenta k . Ako HK ima promenljivu dužinu trzanja, k se utvrđuje najpre za kratko trzanje, a nakon toga se procedura ponavlja za duge trzajuće protočne otvore (kanale).

Zavisno od tipa HK, zatim od toga kako su protočni otvori definisani, kao i od vrste hidraulične tečnosti koja se koristi, koeficijent k je u granicama $0,5 \leq k < 1,0$. Međutim, ove vrednosti nisu univerzalne za postojeće slučajeve konvencionalnih trzajućih uređaja, pa se koeficijenti otpora k moraju definisati za svaki konkretni trzajući uređaj.

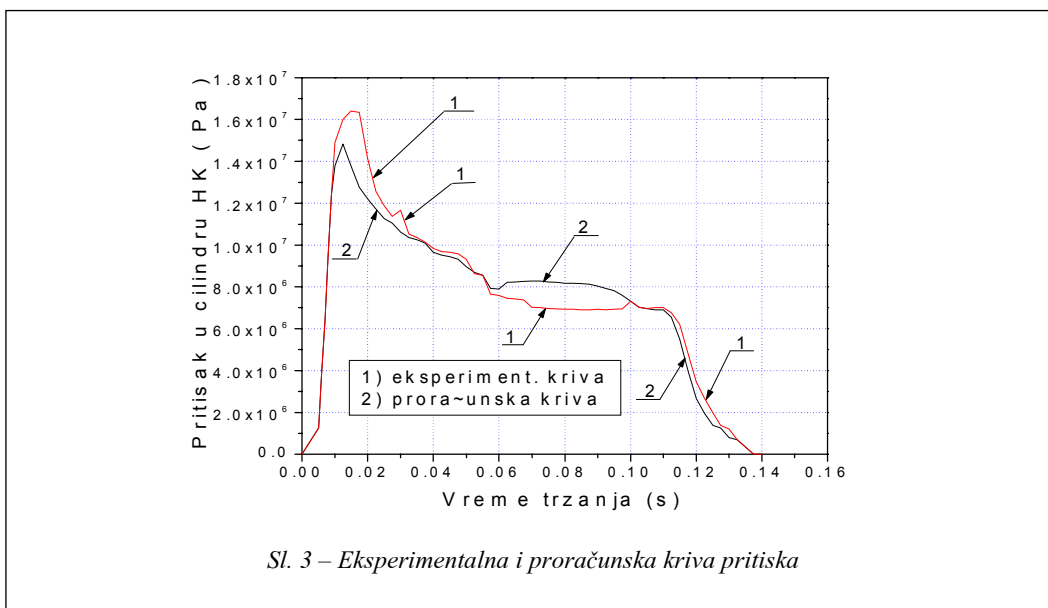
U procesu izbora potrebnog koeficijenta otpora k u obzir treba da se uzme veličina koeficijenta otpora za dugo trzanje (najveće dozvoljeno trzanje), vreme trzanja i pik (vrh) krive pritiska tečnosti. Realno je, i za praksu korektno, da pri

dugom trzanju dođe do slaganja oko 1% rezultata ili manje, za krive pritiska na celoj dužini trzanja, kako je prikazano na slici 3.

Prema polaznim podacima koji su generisani korišćenjem odgovarajućeg kompjuterskog modela [10], dobijeni su rezultati proračuna za sledeće artiljerij-

ske sisteme: M119 E5, M119 L, M123 L MOD i M123 HMD1. Karakteristične vrednosti proračunskih veličina prikazane su u tabeli 2.

Na osnovu sprovedene analize, konačno su za koeficijente otpora proticanja utvrđene tražene vrednosti (posebno označena kolona u tabeli 2).



Sl. 3 – Eksperimentalna i proračunska kriva pritiska

Tabela 2

Vrednosti proračunskih veličina artiljerijskih sistema

Veličine	M119 ES	M119 L	M123 LMOD	M123 HMD1
	Koeficijenti otpora proticanja			
k_L – kanali klipnjače	0,66	0,61	0,63	0,62
k_s – uski otvori (prorezi)	0,63	0,63	0,58	0,60
k_p – otvori na klipu	0,95	0,95	0,95	0,95
k_H – šupljine klipa	0,50	0,50	0,60	0,60
k_i – lavirintni otvori	0,95	0,95	0,95	0,95
p_m – maksimalni pritisak tečnosti	154,8 bara	89,6 bara	150,1 bara	239,4 bara
t_r – vreme trzanja	0,1320 s	0,151 s	0,1440 s	0,1265 s
x_λ – dužina trzanja	0,592 m	0,870 m	0,914 m	0,659 m
$\Delta\epsilon$ – poklapanje kriva pritiska relativna greška	1,05 %	-3,73%	2,98%	5,46%

Zaključak

Geometrijski oblici protočnih otvora i hidraulični gubici i otpori koji nastaju pri proticanju tečnosti u cilindru kočnice, dominantno utiču na dinamičko ponašanje HK trzanja artiljerijskih oruđa.

U radu su opisane važnije karakteristike tipičnih oblika protočnih otvora, i prikazana uporedna analiza sa raznim oblicima dijafragmi na osnovu eksperimentalnih rezultata.

Utvrđeno je da se dobijeni eksperimentalni podaci u slučaju dijafragmi ne mogu korektno i dosledno primeniti na protočne otvore u HK trzanja, već da se mogu uzeti samo kao polazno i grubo uprošćenje. Iz analize koeficijenata otpora proticanja tečnosti kroz protočne otvore u cilindru kočnice sledi da on nije konstantan, kako se uzima u klasičnom modelu proračuna HK. Za tačno definiisanje koeficijenta otpora neophodna su

eksperimentalna merenja na konkretnim rešenjima HK u realnim uslovima. S obzirom na to, u radu su opisana iskustva koja mogu korisno da posluže za praktično određivanje vrednosti koeficijenta otpora proticanja tečnosti (k).

Literatura:

- [1] Ristić, Z.: Prilog numeričkoj analizi hidrauličnog sistema za kočenje kretanja cevi oruđa (doktorska disertacija) VTA, Beograd, 1999.
- [2] Stanislavljević, B.: Projektovanje artiljerijskih sistema, (knjiga 2) – Teorija hidroelastičnih sistema, VTI, Beograd, 1960.
- [3] Pečarnik, N.: Tehnička mehanika fluida, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [4] Ašković, R. i dr.: Hidraulika: Teorijske osnove ispitivanja i merenja, OMO, Beograd, 1985.
- [5] Rivals, A.: Cours de matériels d'Artillerie, Tom III, Paris, 1954.
- [6] Perme, B.: Mehanika fluida, VTA, Beograd, 1998.
- [7] Jovanović, R.: Eksperimentalno određivanje koeficijenata proticanja u hidrauličnim kočnicama oruđa, NTP br.10, VTI Beograd, 1971.
- [8] Jašin, M.: Rasčot parametrov gidrodemferov s diskretno izmeniščimsja oknami, Mašinstroenie, Moskva, 1981.
- [9] VTI Beograd: Elaborat br. 35–418, Izbor optimalne metode proračuna HES oruđa, Beograd, 1974.
- [10] Arora, J.; Hauge, E.: A Guide to Design of Artillery Recoil System, US AADCOM, Dover, 1977.