

Neven Ninić*
Zlatan Kulenović**
Mario Oršulić***

ISSN (0469-6255)
(209-216)

O NOVOM RJEŠENJU PODVODNE PUŠKE S PROPULZIJOM U STRIJELI

ABOUT A NEW SOLUTION OF UNDERWATER SPEARGUN WITH PROPULSION IN SPEAR

UDK 797.2:372.853
Prethodno priopćenje
Preliminary communication

Sažetak

U članku se daje kratki pregled problematike pogona i gibanja strijele izbačene iz podvodne puške, te ukazuje na načelne slabosti postojećih rješenja podvodnih pušaka za veće daljine djelovanja. Na osnovi učinjene analize, a prema prijavljenom patentu, izvodi se i predlaže novo konstrukcijsko rješenje podvodne puške s propulzijom u strijeli. Pri tome je u jednom dijelu šupljine strijele voda kao propergol, pritisnuta slobodnim stapom od strane komprimiranog zraka, kao izvora radne sposobnosti smještenoga u drugom dijelu šupljine. Novo rješenje omogućava povećanje dometa strijele kao i mogućnost djelovanja puške na veće ciljeve pod vodom.

Ključne riječi: podvodna puška, propulzija u strijeli, komprimirani zrak, propergol, slobodni stap.

Summary

This article deals with a brief review of the problems of propulsion and moving of spear ejected from the underwater gun and also gives principal failures of existing solutions of underwater guns for extended ranges of operation. On the basis of performed analysis and following the reported patent a new constructional solution of underwater gun with spear propulsion has been constructed and proposed. In this way, water as a propulsion medium shall be provided in one part of spear tube hole. New solution shall enable extended range of spear and also possibility of gun functioning in larger areas under water.

*Prof. dr. sc. Neven Ninić
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje i Visoka pomorska škola u Splitu

**Dr. sc. Zlatan Kulenović, dipl. ing.

***Dr. sc. Marijo Oršulić, dipl. ing.
Visoka pomorska škola u Splitu

Key words: *underwater gun, propulsion in spear, compressed air, propellant, free piston, speargun*

1. Uvod Introduction

U pušci za podvodni ribolov izbacuje se strijela (harpun) početnom brzinom koja omogućuje svladavanje otpora gibanju do cilja i terminalno djelovanje na samom cilju. Na udaljenostima do 4.0 m za manje ciljeve nema posebnih teškoća da se strijeli preda potrebna početna kinetička energija - natezanjem para elastičnih traka ili nabijanjem "zračnog jastuka" u tijelu puške /1, 2/. No za postizanje većih dometa i za dovoljan učinak na većim ciljevima, potrebna početna kinetička energija strijele raste eksponencijalno dometu, pa se zahtijeva znatno veća početna kinetička energija. Ona se danas postiže dvokratnim natezanjem elastičnih traka (dva para) ili polužnim natezanjem jednog para, odnosno pojačanim nabijanjem zračnog jastuka. Ipak na ove je načine teško dostići učinkoviti domet veći od 5.0 m. /1/. Upotrebom komprimiranih plinova i eksplozivnih naboja postižu se dometi do 8.0 m, tj., nešto manje od praktične granice vidljivosti. No u svakom slučaju ostaje činjenica da je povećanje dometa velikom početnom brzinom energetski neracionalno, te da može uzrokovati prevelik učinak na bližem cilju i oštećenje strijele pri udaru u stijenu na manjim udaljenostima.

Radikalnim rješenjem problema povećanja učinkovitog dometa bez velike početne brzine i bez primjene eksplozivnih punjenja čini se ugradnja vlastitog pogona u strijeli. Uvjet za prihvatljivost takvog rješenje je da pogonski sustav bude krajnje kompaktan, da je jednostavan za rukovanje, da ima dovoljno visoku ukupnu korisnost i svakako da je njegova proizvodnja ekonomski opravdana. Kako bi

njegova proizvodnja ekonomski opravdana. Kako bi ove teške uvjete za "motor-propulzor" u strijeli olakšali, u zadatak mu ne treba staviti ubrzavanje strijele pri izbacivanju, već samo svladavanje otpora gibanja do cilja s približno konstantnom terminalnom brzinom. U ovom su radu analizirana potrebna svojstva i mogućnosti tehničke realizacije takvog idejnog rješenja.

2. Energetska analiza Energy Analysis

Do zakonitosti smanjivanja kinetičke energije strijele bez vlastitog pogona u ovisnosti o prijeđenom putu, dolazi se preko veze sa silom otpora pri gibanju strijele:

$$-dE_K = F_{os} dx \quad (1)$$

Izraz za otpor opstrujavanog tijela [3]:

$$F_{os} = \frac{C_s \cdot A_s \cdot \rho_v \cdot w_s^2}{2} \quad (2)$$

može se prikazati u obliku:

$$F_{os} = a \cdot E_K \quad (3)$$

gdje je C_s bezdimenzijski koeficijent otpora strijele, A_s njena poprečna efektivna površina presjeka, w_s brzina, m_s masa, ρ_v gustoća vode (mora), i $a = \frac{C_s \cdot A_s \cdot \rho_v}{m_s}$. Nakon uvrštenja izraza (3)

u (1) i integracije dobiva se zakon smanjivanja kinetičke energije s prijeđenim putom.

$$E_K(x) = E_{KO} \cdot \exp(-ax) \quad (4)$$

Ne raspoložujući s točnim podacima za koeficijent otpora C_s , procijenit ćemo ga na osnovi relacija za granični sloj uz bočnu površinu. Pretpostavit ćemo da pri gibanju strijele ne dolazi do odvajanja ovog sloja na njenom zadnjem dijelu. Za relativno veći promjer, kakav se očekuje za strijelu s vlastitim pogonom, ovo se može postići postepenim smanjivanjem promjera prema stražnjem kraju, a povoljan učinak ima i djelovanje mlaza, kada je vlastiti pogon reaktivni. U tom slučaju cjelokupni otpor potječe od smičnog naprezanja na bočnoj površini projektila.

Neka je takav projektil promjera 10.0 mm, duljine 1200 mm i brzine 20.0 m/s. Kako je ova analiza procjenskog karaktera, usvojiti ćemo još i da je granični sloj uz strijelu približno kao što bi bio uz

ravnu ploču. Kritična duljina, na kojoj ovaj sloj prelazi u turbulentni za $3 \cdot 10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$, je između 15 i 25 mm od vrha strijele, pa je cijeli sloj praktično turbulentan. Prema teoriji ovakvog graničnog sloja [4], srednje je smično naprezanje na površini strijele

$$\bar{\tau} = 1,25 \cdot 0,0235 \cdot \rho_v \cdot w_s^2 \cdot \left(\frac{w_s \cdot \delta}{v} \right)^{-0,25} \quad (5)$$

Za usvojene vrijednosti dobiva se:

$$\bar{\tau} = 500 \frac{N}{m^2}$$

i

$$F_{os} = \tau \cdot 0,01 \cdot \pi \cdot 1,2 = 18,8 \text{ N}$$

Koeficijent otpora iznosi:

$$C_s = \frac{2 \cdot F_{os}}{A_s \cdot \rho_v \cdot w_s^2} = 1,2$$

Ovaj koeficijent možemo uzeti konstantnim u relativno malom rasponu Re - značajki za slične oblike strijela.

Pretpostavivši za koeficijent otpora strijele $C_s = 1,2$, efektivnu površinu poprečnog presjeka $A_s = 79,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ i masu strijele $m_s = 0,350 \text{ kg}$ (promjer 10,0 mm., duljina 1200 mm) dobivamo:

$$E_K = E_{KO} \cdot \exp(-0,27 \cdot x) \quad (6)$$

Ovisnost kinetičke energije o prijeđenom putu za početnu brzinu 20,0 m/s ($E_{KO} = 70 \text{ J}$) prema (6) pokazuje da je njen pad na 31 J ($w_s = 13,3 \text{ m/s}$) na udaljenosti od 3,0 m, te na svega 8 J na 8,0 m. Nakon 3,0 m sila otpora u ovom primjeru iznosila bi oko 8,4 N. U nedostatku rezultata eksperimentalnih ispitivanja, ovakvim se vrijednostima pokazuju svojstva sadašnjih podvodnih pušaka. Da bi se za istu brzinu izbacivanja učinkoviti domet vlastitim pogonom strijele produžio sa 3,0 na 5,0 m, taj pogon bi morao svladavati otpornu silu od oko 8,4 N na putu od 2,0 m, odnosno održavati isto toliku odzivnu silu. Dakle propulzor bi trebao dati koristan rad od barem 20 J, u vremenu oko 0.15 s.

Da bi procijenili veličinu radne sposobnosti koja se mora nalaziti unutar strijele prilikom njena izbacivanja, treba osim gornjih 20 J uzeti u obzir još i unutarnje i vanjske gubitke, odnosno unutarnji i vanjski stupanj djelovanja pogona. Kao najjednostavniji i ručno obnovljivi (sportski) izvor pogonske radne sposobnosti nameće se zrak - trajno zatvoren u cilindru unutar strijele koji se komprimira svaki put prije izbacivanja. To može biti i svaki put svježi zrak, napumpiran iz atmosfere, no samo ona prva varijanta, ako je zatvoren i pretkomprimiran na neki početni tlak, omogućuje

ponovno nabijanje puške pod vodom i izbjegavanje gotovo praznog početnog hoda pri komprimiranju zraka niskog - atmosferskog - početnog tlaka. Maksimalni rad koji se može dobiti iz stlačenog zraka u apsolutnom termodinamičkom smislu je ravnotežni rad izotermne ekspanzije na dubini ronjenja. No u tehnički razumnom smislu, uzimamo ga ravnim tek radu ravnotežne adijabatske ekspanzije s temperaturom okolnog mora kao početnom i s okolnim tlakom na dubini ronjenja kao vanjskim.

Sam propulzor - da bi bio jednostavan i kompaktan, te da bi djelovao bez praktično bilo kakvog poremećaja okoline - treba biti reaktivni, dakle da se sastoji od sapnice i spremnika s propergolom u što izravnijoj sprezi s komprimiranim zrakom kao izvorom radne sposobnosti.

Kakav je odnos između minimalno potrebnih 20 J korisnog rada R_{kor} potrebnog za svladavanje otpora pri produženoj trajektoriji i radne sposobnosti R_{max} akumulirane u strijeli neposredno nakon izbacivanja iz puške? Pretpostavlja se:

$$R_{kor} = R_{max} \cdot \bar{\eta}_i \cdot \bar{\eta}_e \quad (7)$$

gdje su $\bar{\eta}_i$ i $\bar{\eta}_e$ srednja unutarnja i vanjska korisnost sustava motor-propulzor.

Unutarnja korisnost uzima u obzir gubitke trenja u spremniku zraka, sapnici i sustavu prijenosa rada od izvora radne sposobnosti do propergola. Vanjska uzima u obzir gubitke u okolnoj vodi, osim rada svladavanja otpora pri čistom gibanju strijele, koji se uzima za koristan. Govoreći sasvim točno, korisno svladavanje one sile otpora strijele kakva bi bila pri istoj brzini bez propulzora. Obje korisnosti, a naročito vanjska, mijenjaju se tijekom nestacionarnog rada propulzora. Trenutačna vrijednost unutarnje korisnosti iznosi:

$$\eta_i = \frac{\Delta E_{KN}}{\Delta R_{max}} = \frac{\rho_p \cdot \frac{w_m^2}{2} \cdot \Delta V_z}{(p - p_r) \cdot \Delta V_z}$$

odnosno:

$$\eta_i = \frac{\rho_p \cdot w_m^2}{2 \cdot (p - p_r)} \quad (8)$$

gdje je w_n (relativna) brzina mlaza na izlazu iz sapnice, p_r vanjski tlak ronjenja, p je trenutni tlak u zračnom spremniku, a ρ_p trenutna gustoća propergola, ΔV_z je povećanje volumena zraka pri ekspanziji u kratkom promatranom vremenskom intervalu, koji je jednak smanjenju volumena propergola, izbačenog kroz sapnicu.

Definirajmo sada i trenutni ukupni stupanj djelovanja kao omjer korisnog rada i odgovarajuće

ukupne utrošene radne sposobnosti u jedinici vremena:

$$\eta = \frac{\Delta R_{kor}}{\Delta R_{max}} = \frac{F_{rea} \cdot w_s}{(p - p_r) \cdot \Delta \dot{V}_z + \rho_p \cdot \Delta \dot{V}_z \cdot \frac{w_s^2}{2}}$$

gdje je F_{rea} odzivna (reaktivna) pogonska sila, w_s brzina strijele, a član $\rho_p \cdot \Delta \dot{V}_z \cdot \frac{w_s^2}{2}$ predstavlja kinetičku energiju odnosno radnu sposobnost, koju je u odnosu na okolno more imao propergol izbačen u jedinici vremena kroz sapnicu ($\Delta \dot{V}_z$).

Dalje je:

$$\eta = \frac{\rho_p \cdot w_m^2 \cdot A_m \cdot w_s}{\left[(p - p_r) + \rho_p \cdot \frac{w_s^2}{2} \right] \cdot w_m \cdot A_m} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{\rho_p \cdot w_m \cdot w_s}{p - p_r + \rho_p \cdot \frac{w_s^2}{2}}$$

Nazivnik izraza (9) predstavlja brzinu trošenja ukupne radne sposobnosti, koja se sastoji od radne sposobnosti zraka ($p - p_r$ uz $\Delta \dot{V}_z = 1$), i od kinetičke energije propergola stečene tijekom ubrzavanja strijele prilikom izbacivanja iz puške.

Izrazimo li ukupnu korisnost sustava motor-propulzor u funkciji od unutarnje korisnosti (8) dobiva se:

$$\eta = \frac{\rho_p \cdot w_m \cdot w_s}{\frac{\rho_p \cdot w_m^2}{2 \cdot \eta_i} + \frac{\rho_p \cdot w_s^2}{2}} = \frac{2 \cdot w_m \cdot w_s}{\frac{w_m^2}{\eta_i} + w_s^2}$$

Uvođenjem omjera brzine mlaza i brzine strijele φ dobiva se:

$$\eta = \eta_i \cdot \frac{2}{\varphi + \frac{\eta_i}{\varphi}} \quad (10)$$

Zavisnost (10) dana je na sl. 1., s unutarnjom korisnošću kao parametrom.

Uspoređujući sa (7) vidi se da vanjska korisnost η_e ovisi o omjeru brzina mlaza i strijele φ i o unutarnjoj korisnosti η_i pogona:

$$\eta_e = \frac{2}{\varphi + \frac{\eta_i}{\varphi}} \quad (11)$$

U graničnom slučaju za $\eta_i = 1$, $w = w_S$, slijedi da je $\eta_e = 1$, što je trebalo i očekivati. No za određenu vrijednost unutarnje korisnosti ($\eta_i < 1$) optimalna brzina mlaza nije jednaka brzini strijele, već je optimalan odnos brzina za maksimalnu vrijednost funkcije (10):

$$\varphi_{opt} = \sqrt{\eta_i} \quad (12)$$

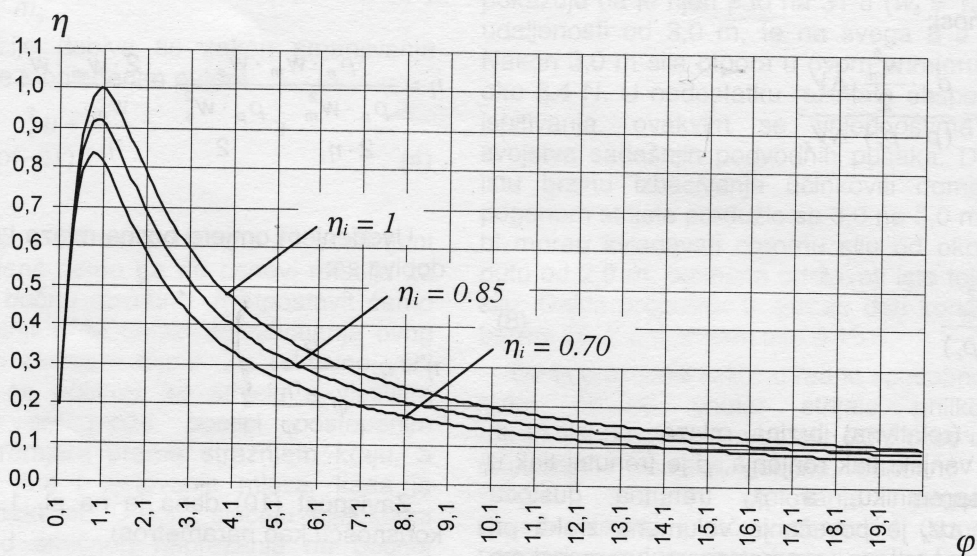
Fizička interpretacija (10) i (12) je u sljedećem: s brzinom mlaza nešto manjom od brzine strijele nastaju vanjski gubici u obliku disipacije energije slabim vrtložnim gibanjem u moru iza sapnice, ali smanjenje unutarnjih gubitaka, uzrokovano smanjenjem brzine mlaza, prevlaže nad pojavom vanjske disipacije.

Prelazeći na izvođenje zaključaka može se uzeti da je daleko najveći dio radne sposobnosti akumulirane u strijeli neposredno nakon izbacivanja u obliku zalihe adijabatskog rada komprimiranog zraka u njoj šupljini. Ako bi komprimirani zrak zauzimao oko 1/8 šupljine strijele (cca 10 cm) na početnom tlaku 150 bara - što su realne vrijednosti - imao bi radnu sposobnost oko 210 J, koliko iznosi izentropski adijabatski rad ekspanzije na cijeli volumen šupljine. Kinetički dio ukupne radne sposobnosti nakon izbacivanja iz puške brzinom od 20 m/s i s količinom vode kao propergola od cca 50 g iznosio bi svega oko 10 J. S druge strane, potrebni korisni rad koji se očekuje od ovakvog pogona je oko

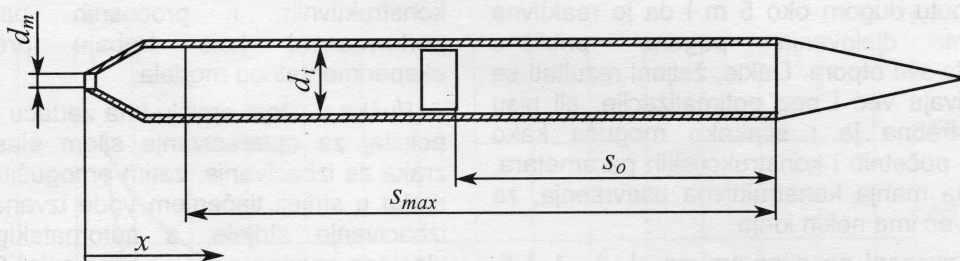
50 J, ako je 20 J bilo dovoljno samo za produženje trajektorije od 2 m pri brzini od 14 m/s. Time bi potrebni ukupni stupanj djelovanja pogona trebao biti oko $50/220 \approx 0.23$.

Grafička interpretacija izraza (7) dana na sl. 1. povezuje utrošak ukupne radne sposobnosti s korisnim radom izvršenim tijekom ekspanzije, neovisno o vrsti propergola. Iz dijagrama se vidi da za nađeni potreban prosječni ukupni stupanj djelovanja sustava, uz $\eta_i = 0.85$, omjer brzina mora biti $2 < \varphi < 15$. Prema tome zrak i uopće plin kao propergol ovdje ne dolaze u obzir, jer za $p = 50$ bara daju brzine mlaza reda 600 m/s i $\varphi = 30$. Upozoravamo da ovu okolnost nisu dovoljno uzimali u obzir predlagatelji nekih rješenja zaštićenih patentima /5,6,7/. Manje brzine mlaza daju gušći propergoli, a onaj koji se nameće je sama morska voda. (za $p = 50$ bara $w_S = 100$ m/s i $\varphi = 7$. Prilikom razrade patenta /8/ razmatrana je i mogućnost čvrstog tijela kao propergola s još većim stupnjem djelovanja, ali se odustalo zbog određene opasnosti pri njegovu izbacivanju unazad.

Na osnovu svega, slijedi da je optimalna kombinacija komprimirani zrak ili čak opruga kao izvor glavnog dijela radne sposobnosti i voda kao propergol. Prednost opruge nad zrakom je u tome, što je njen dobiveni adijabatski rad praktično jednak uloženom, dok je kod zraka manji, zbog pada temperature i do oko 150 K pri ekspanziji. Najjednostavnija potrebna radna sprega između zraka (alternativno: opruge) i vode dobiva se uvođenjem slobodnog stapa, koji cilindričnu šupljinu dijeli na zračni i vodeni dio. On istodobno omogućuje da se nabijanje radnom sposobnošću zraka obavi istodobno s punjenjem šupljine vodom, bez posebnog mehanizma.



Slika 1. Ukupna korisnost pogona strijele
Figure 1. Total efficiency of spear propulsion



Slika 2. Model strijele sa slobodnim stapom
Figure 2. Spear model with free piston

1. Model strijele i idejno rješenje podvodne puške Spear mode and design concept of underwater speargun

Na osnovi teorijskih razmatranja proizlazi novi koncept projekta strijele za podvodnu pušku. Strijela se ubrzava i izbacuje iz nepokretnog dijela puške na jedan od klasičnih načina elastičnim trakama, oprugama ili stlačeni zrakom. Takvim postupkom postiže se energija izbacivanja malo iznad razine potrebne terminalne energije. Za vlastiti pogon u slobodnom dijelu gibanja strijela ima sapnicu i spremnik morske vode kao propergola u dugoj cilindričnoj šupljini. Komprimirani zrak je u dijelu iste šupljine, a od vode ga razdvaja slobodni stap koji ostvaruje najjednostavniju mehaničku vezu s propergolom i omogućuje kompresiju tlačenjem vode. Reaktivna sila mlaza je u početku djelovanja pogona nešto veća, a pri kraju nešto manja od sile otpora.

Konstruktivni parametri bitni za modeliranje ovakve strijele i njihove oznake dani su na sl. 2. s_o i s_{max} su minimalna i maksimalna duljina šupljine ispunjena zrakom; izlazni presjek mlaznice (d_m) ima prije početka ubrzanja koordinatu $x = 0$. Maksimalno izduženje elastičnih traka iznosi D .

Uzima se da se strijela ubrzava elastičnom silom traka, sa stapom u krajnjem prednjem položaju i s maksimalnom (početnom) masom vode. Zbog djelovanja elastične sile preko izbacivača na otvor mlaznice, mlaznica je zatvorena sve dok sila tlaka vode ne odvoji izbacivač od mlaznice. Za vrijeme ubrzanja elastična sila svladava otpore gibanja strijele i izbacivača u vodi, te ubrzava oba tijela, zajedno s dijelom mase samih traka. Promjena brzine strijele u toj fazi određena je zakonom o promjeni količine gibanja tijela:

$$w_{s,n} = w_{s,n-1} + \left[(D-x) \cdot K - \rho_v \cdot \frac{w_{s,n-1}^2}{2} \cdot (c_s \cdot A_s + c_{iz} \cdot A_{iz}) \right] \cdot \frac{\Delta t}{m_{uk}} \quad (13)$$

gdje su n i $n-1$ oznake za uzastopne vremenske trenutke, a izraz u uglatim zagradama predstavlja razliku elastične sile traka i sila hidrauličnih otpora strijele i izbacivača.

Trenutak odvajanja izbacivača određen je jednakošću sile tlaka vode na otvor mlaznice sa silom ubrzanja i otpora same strijele. Kriterij odvajanja ψ predstavlja omjer sile tlaka na otvoru sapnice na izbacivač vanjske sile na isti presjek i na rub sapnice:

$$\psi = \frac{p_{max} \cdot A_m \cdot \Delta t}{F_{os} + (m_{uk} - m_{iz} - m_{el}) \cdot (w_{s,n} - w_{s,n-1})} \quad (14)$$

U trenutku odvajanja započinju istodobni procesi ekspanzije zraka, smanjivanja mase zbog istjecanja vode (unutarnja balistika), te promjena brzine pod djelovanjem reaktivne sile i sile otpora (vanjska balistika). Proces ekspanzije računa se kao ravnotežan adijabatski, a gubici trenja se uzimaju u obzir preko koeficijenta trenja stapa o stijenku cilindra i preko koeficijenta istjecanja mlaznice. U toj fazi gibanja brzina je određena izrazom:

$$w_{s,n} = w_{s,n-1} + \left\{ 2 \cdot A_m \cdot \mu^2 \cdot [p_{max} \cdot (1-\gamma) - p_r] - \rho_v \cdot w_{s,n-1}^2 \cdot c_s \cdot \frac{A_s}{2} \right\} \cdot \frac{\Delta t}{(m_k + m_v)} \quad (15)$$

gdje je $(m_k + m_v)$ promjenjiva ukupna masa strijele tijekom gibanja, a u vitičastim zagradama razlika reaktivne sile i sile otpora.

4. Prikaz promjene veličina vanjske i unutarnje balistike strijele Numerical evaluation of external and internal ballistic parameters

Rezultati proračuna dobiveni su za primjer strijele vanjskog promjera 10 mm, unutarnjeg 8 mm, duljine šupljine 0.95 m, ukupne početne mase 0.350 kg. Početna elastična sila izbacivanja je 400 N, početni tlak zraka 100 bara, promjer sapnice 2 mm. Promjene veličina grafički su prikazane na sl. 3., sl. 4 i sl. 5. gdje je na apscisama vrijeme, a na ordinatama brzina i prijeđeni put strijele (sl. 4.), sile na strijelu i izbacivač (sl. 5.), te temperatura i tlak zraka (sl. 6.).

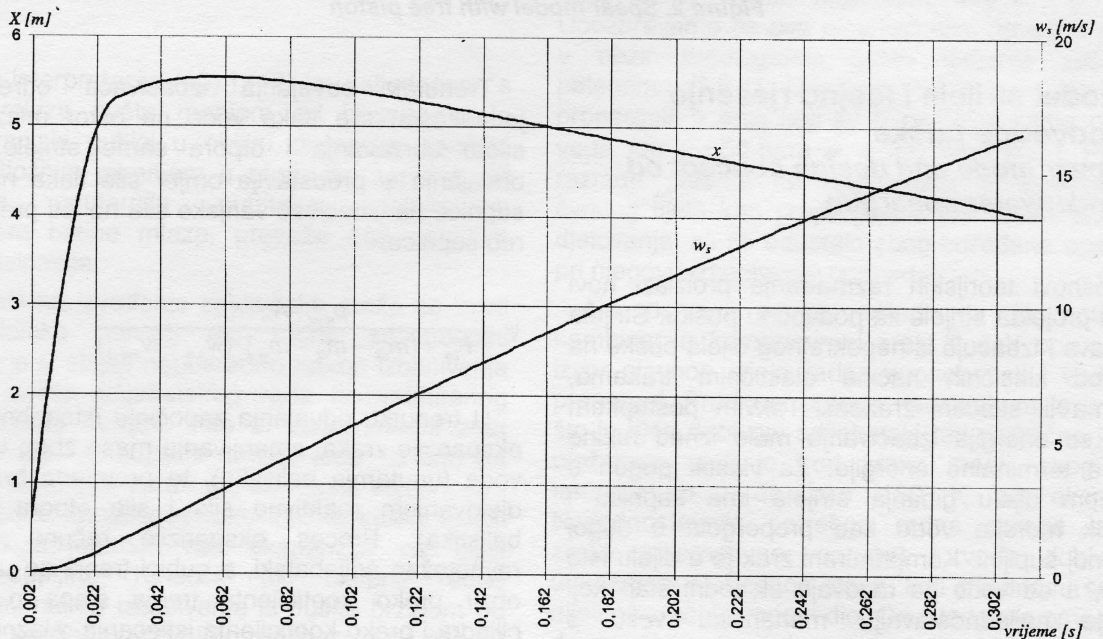
Parametri kao što su tlak zraka pri izbacivanju strijele, količina zraka, promjer sapnice i dimenzije strijele u ovom primjeru nisu optimalni. No iz

rezultata danih na dijagramima vidi se da je pogon djelovao na putu dugom oko 5 m i da je reaktivna sila tijekom djelovanja pogona približno prepolovljavala silu otpora. Dakle, željeni rezultati se približno dobivaju već i bez optimalizacije, ali nisu preobilni. Potrebna je i svakako moguća kako optimalizacija početnih i konstrukcijskih parametara, tako i dodatna manja konstruktivna usavršenja, za koja također već ima nekih ideja.

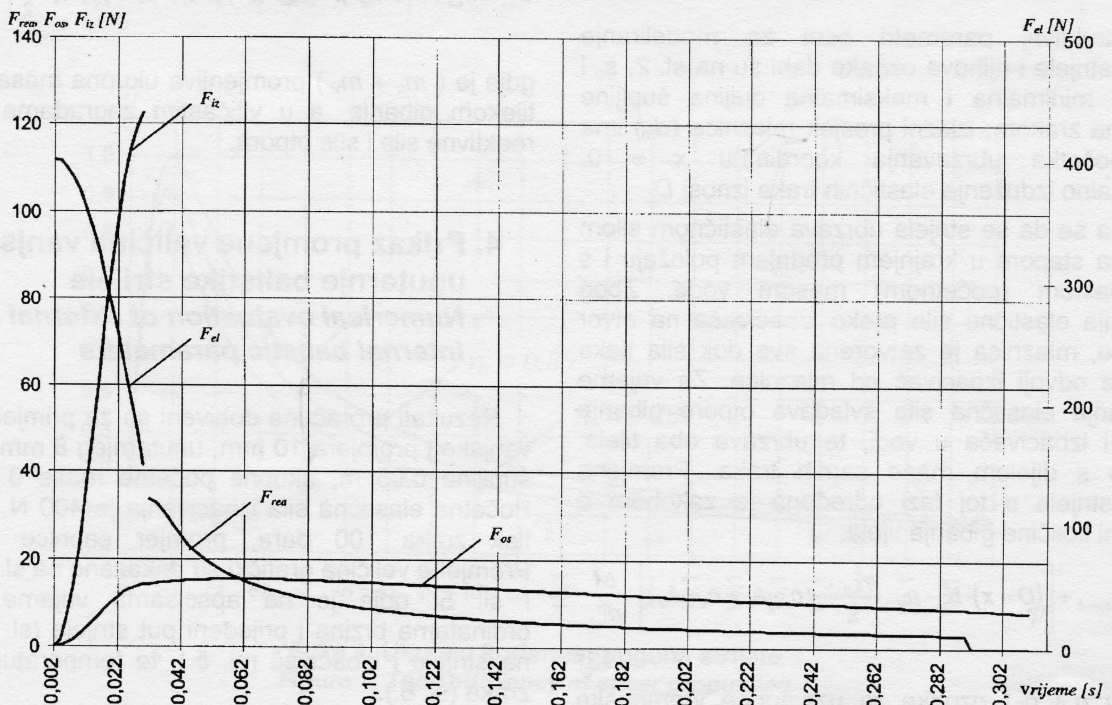
Rezultati prikazani na dijagramima sl. 3., 4. i 5. omogućili su provjeru fizičkog i matematičkog modela procesa, a izrađeni računski algoritam

omogućuje numeričko ispitivanje utjecaja konstruktivnih i procesnih parametara na performance, koje trebaju prethoditi izradi eksperimentalnog modela.

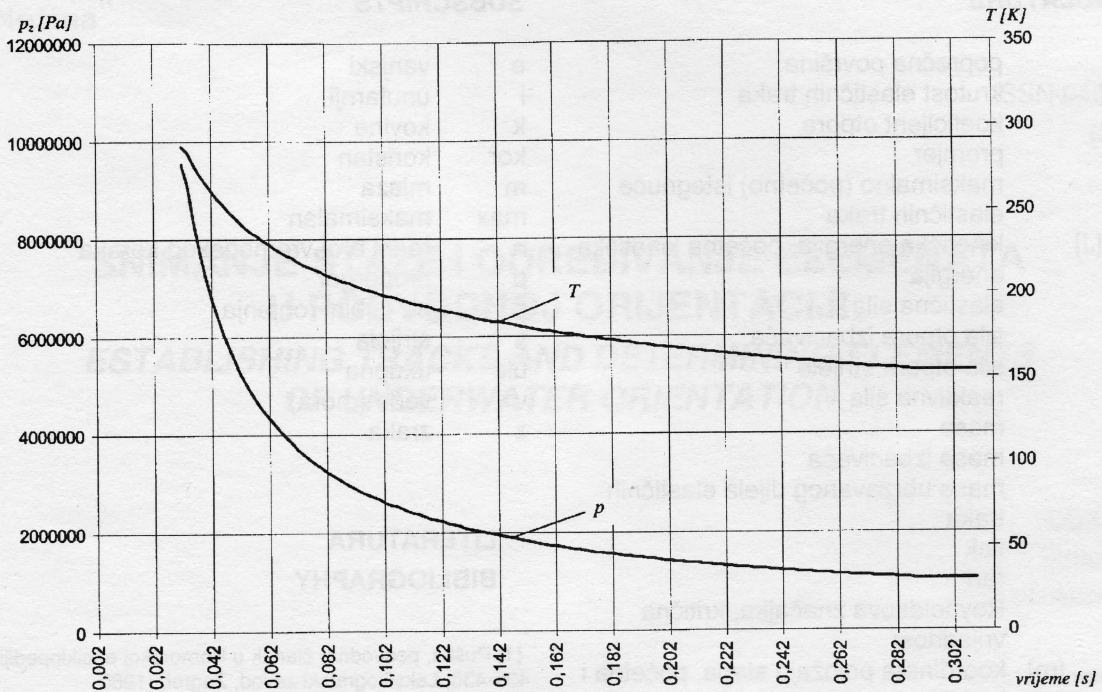
Puška u užem smislu ima zadaću primiti strijelu u položaj za opterećivanje silom elastičnih traka ili zraka za izbacivanje, zatim omogućiti komprimiranje zraka u strijeli tlačanjem vode izvana i da omogući izbacivanje strijele; s automatskim uključanjem vlastitog pogona nakon izbacivanja. Očigledno je da za to ima više izvedbenih rješenja, od kojih je jedno prikazano na sl. 7. prema /8/.



Slika 3. Brzina i put pri izbacivanju i gibanju strijele
Figure 3. Speed and path during louching and moving of spear

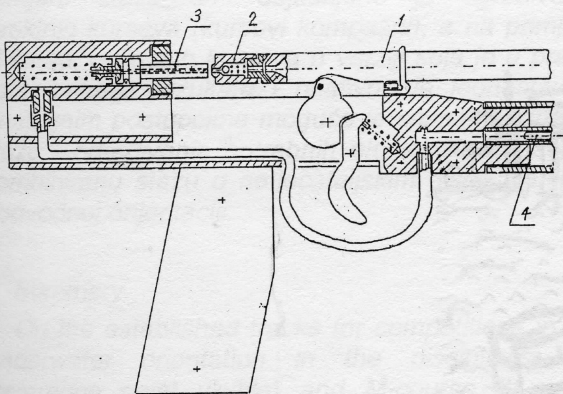


Slika 4. Sile pri izbacivanju i gibanju strijele
Figure 4. Forces during louching and moving of spear



Slika 5. Tlak i temperatura zraka pri gibanju strijele
Figure 5. Pressure and temperature of air during spear moving

Sama strijela sa sapnicom je 1, 2 je element (izbacivač) preko kojega djeluje elastična sila zategnutih traka. Nepovratni ventil u njemu dopušta punjenje strijele vodom, a sprječava pražnjenje dok traje izbacivanje. Element 3 dopušta tlačenje vode i ujedno vrši aksijalni pritisak radi brtvljenja, a 4 predstavlja dugi (plunđer) klip ručne pumpe za vodu. U druga tehnička rješenja i dopune dane u [8] ovdje se ne ulazi, kao ni u ostala moguća tehnička rješenja puške.



Slika 6. Tehničko rješenje nove koncepcije puške prema [8]

Figure 6. Technical solution of new speargun concept according to [8]

5. Zaključak Conclusion

Izvršena analiza pretvorbe energije prilikom gibanja podvodne strijele ukazala je na nužnost vlastitog pogona kao racionalnog rješenja, ali i na načelne slabosti upotrebe zraka ili produkata izgaranja kao propergola u patentima prijavljenim do 1998. Usvajajući vodu kao propergol i povezujući je s komprimiranim zrakom preko slobodnog stapa učinjen je bitan iskorak u odnosu na ranije prijavljena rješenja. Predložena tehnička izvedba strijele i puške u cjelini predstavlja osnovu za izradbu eksperimentalnog prototipa koji bi poslužio za provjeru teorije i kao moguća osnova za konstrukciju jednostavnog i ručno sabijanog podvodnog oružja povećanog dometa.

Izneseni pristup i rješenje problema povećanja dometa još ne dopuštaju zaključak o tržišnoj vrijednosti predloženoga tehničkog rješenja nove podvodne puške i to s obzirom na utjecaj veće cijene u odnosu na klasičnu laku pušku, veće težine i potrebe za dodatnom manipulacijom. S druge strane novi se tip puške može upotrijebiti na manjim daljinama gađanja za manju ribu i bez dodatnog nabijanja, a za ribu mase veće od 5 kg veća probojna moć nove strijele veće mase poželjna je na svim daljinama. Zbog svega toga nova puška bi se kupovala vjerojatno kao druga, uz laku klasičnu; ali odgovor na otvorena pitanja, kao i na procjenu tržišne vrijednosti serijskog proizvoda, može dati samo ispitivanje prototipa.

**OZNAKE
NOMENCLATURE**

A [m]	poprečna površina
K [N/m]	krutost elastičnih traka
C	koeficijent otpora
d [m]	promjer
D [m]	maksimalno (početno) istegnuće elastičnih traka
E, E _{KO} [J]	kinetička energija, početna kinetička energija
F _{el} [N]	elastična sila
F _{iz} [N]	sila otpora izbacivača
F _{os} [N]	sila otpora strijele
F _{rea} [N]	reaktivna sila
m [kg]	masa
m _{iz} [kg]	masa izbacivača
m _{el} [kg]	masa ubrzanog dijela elastičnih traka
p [N/m]	tlak
R [J]	rad
Re, Re _k	Reynoldsova značajka, kritična vrijednost
s, s _o , s _{max} [m]	koordinata položaja stapa, početna i krajnja
t, Δt [s]	vrijeme od početka izbacivanja, računski korak
x [m]	prijeđeni put strijele
w [m/s]	brzina
γ	koeficijent trenja stapa u šupljini
δ [m]	debljina brzinskog graničnog sloja na kraju strijele
η	korisnost
μ	ukupni koeficijent istjecanja iz sapnice
v [m ² /s]	kinematski koeficijent viskoznosti
ρ [kg/m ³]	gustoća
τ [N/m ²]	smično naprezanje
φ	omjer brzina mlaza i strijele

**INDEKSI
SUBSCRIPTS**

e	vanjski
i	unutarnji
k	kovine
kor	koristan
m	mlaza
max	maksimalan
n	redni broj vremenskog koraka
p	propergol
r	na dubini ronjenja
s	strijela
uk	ukupna
v	vođe (mora)
z	zraka

**LITERATURA
BIBLIOGRAPHY**

- [1] Puška, podvodna, članak u Pomorskoj enciklopediji sv. 6., str. 435-436, Leksikografski zavod, Zagreb, 1960.
- [2] Prospektni materijal tvrtke Mares
- [3] Inženjerski priručnik, IP-1-Temelji inženjerskih znanja, Školska knjiga, Zagreb, 1996.
- [4] F.M. White: Viscous fluid flow, Mc Graw Hill Book Comp., Singapore, 1987.
- [5] R.E. Enfield: Spear Guns, US Pat 2957468 (1960)
- [6] M.B. Andina: Pistolet a air comprime, specialement pour tir sous-marin. Brevet d invention no.1059744 (1952.)
- [7] A.T. Biehl: Underwater weapon, US Pat 3313207'(1967.)
- [8] N. Ninić: Podvodna puška sa slobodnim stapom u harpunu, Hrvatski zavod za patente, P 980422A (1998.) (International application No. PCT/HR99/00017)

Rukopis primljen: 5.10.2000.

