

## Efikasnost projektila od osiromašenog uranijuma

Mr Božidar G. Žakula, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Za ocenu efikasnosti protivoklopnih kinetičkih projektila od osiromašenog uranijuma (OU) primenjen je metod komparacije sa vrednostima parametara veličina stanja i kretanja, u trenutku udara projektila izrađenih od konkurentnih materijala. Postavljen je matematički model upravnog udara u metu koja miruje. Numeričkim putem su izračunati parametri projektila izrađenih od čelika, volfram-karbida, volframa i legure uranijuma i molibdena, i mete od čelika, materijala za koje su zakoni udarne stišljivosti uzeti iz [1]. Parametri su izraženi u funkciji udarne brzine, u intervalu od 500 m/s do 2000 m/s. Rezultati analize doprinose rešavanju problema opravdanosti upotrebe OU za izradu protivoklopnih kinetičkih projektila.

*Ključne reči:* osiromašeni uranijum, municija, projektil, efikasnost, udar, udarni talas.

### Korišćene oznake i simboli

$u_{01}$	– brzina projektila pre udara,
$u_{02}$	– brzina mete pre udara,
$u_0 = u_{01}$	– udarna brzina projektila,
$p_{01}$	– početni pritisak u projektilu,
$p_{02}$	– početni pritisak u meti,
$\rho_{01}$	– gustina materijala projektila pre udara,
$\rho_{02}$	– gustina materijala mete pre udara,
$U_1$	– brzina udarnog talasa u projektilu,
$U_2$	– brzina udarnog talasa u meti,
$u_k$	– brzina pomeranja kontaktne površine projektil-meta
$u_1$	– masena brzina iza fronta UT u projektilu,
$u_2$	– masena brzina iza fronta UT u meti,
$p_k$	– pritisak na kontaktnoj površini projektil-meta,
$p_1$	– pritisak iza fronta UT u projektilu,
$p_2$	– pritisak iza fronta UT u meti,
$\rho_1$	– gustina materijala iza fronta UT u projektilu,
$\rho_2$	– gustina materijala iza fronta UT u meti,
$v = 1/\rho$	– specifična zapremina,
$a_1, \lambda_1, A_1, m_1$	– koeficijenti i eksponent jednačina udarnih stišljivosti materijala projektila
$a_2, \lambda_2, A_2, m_2$	– koeficijenti i eksponent jednačina udarnih stišljivosti materijala mete
UT	– udarni talas,
OU	– osiromašeni uranijum.

### Uvod

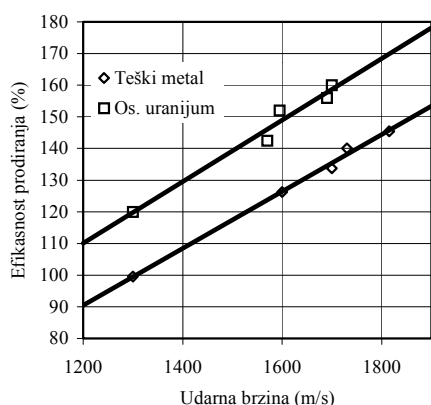
KRAJEM 50-ih godina XX veka, osnovni materijal koji se koristio za izradu jezgara protivoklopnih kinetičkih projektila bio je volfram-karbid (W-karbid - tvrdi metal). Komparativna eksperimentalna istraživanja su pokazala značajne prednosti W-karbida u odnosu na visokolegirani čelik (gustina  $\sim 7,8 \text{ g/cm}^3$ ), materijal koji mu je prethodio. S

gustinom reda  $13 \text{ g/cm}^3$  projektili od W-karbida raspolagali su superiornim penetracionim karakteristikama protiv postojećih vrsta oklopa. Međutim, nakon uvođenja dvoslojnih i troslojnih (sendvič) oklopa, 60-ih godina, uočena je pojava povećanog loma ovih projektila [2]. Aktualizovano je istraživanje novih materijala za izradu projektila sposobnih za probijanje bilo kog oblika i konfiguracije oklopa. U Velikoj Britaniji je razvijena W-legura velike gustine ( $17 \text{ g/cm}^3$ ), sa 93% W i 7% veziva (bindera). U SAD su vršena paralelna ispitivanja i razvijena je W-legura sa 97,5% W i 2,5% bindera gustine  $18,5 \text{ g/cm}^3$ . Od ovog materijala izrađivano je jezgro tenkovskog projektila 105 mm XM 735. Za ovaj period se vezuje početak interesovanja vojske SAD za primenu OU u sistemima klasičnog naoružanja. Nakon dobijanja zadovoljavajućih rezultata probojnosti projektila od OU, istraživanje i razvoj novih legura na bazi volframa u SAD praktično se gasi, a završavanje municije s jezgrom od teškog metala vrši se kupovinom iz Velike Britanije [3]. OU je posedovao atraktivna svojstva (veliku gustinu, nisku cenu i praktično neiscrpne količine u obliku nuklearnog otpada) za izradu penetratora kinetičkih projektila i ugradnju u oklope tenkova.

Inače, do tada se OU primenjivao kao katalizator u rudnicima za ekstrakciju ruda, materijal za obloge nuklearnih bojevih glava (reflektor neutrona) radi povećanja snage nuklearnog i termonuklearnog oružja, kao kontrateg za dinamičko uravnotežavanje žiroskopa, nekih tipova raketa i aviona i sl.

Koliko se daleko otišlo u favorizovanju OU kao osnovnog materijala za izradu penetratora, dobro ilustruje uporedni dijagram, sl.1, koji je preuzet iz [4]. Na dijagramu se vidi da je u razmatranom dijapazonu udarnih brzina od 1200 m/s do 1900 m/s efikasnost projektila od OU za 20% veća od onih izrađenih od teškog metala na bazi volframa. Kao osnova za poređenje efikasnosti izabrana je probojnost projektila izrađenih od teškog metala na bazi volframa, pri udarnoj brzini od 1300 m/s.

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



Slika 1. Uporedni dijagram efikasnosti prodiranja u oklop projektila izrađenih od teškog metala na bazi volframa i osiromašenog uranijuma

Predmet ovog rada je, između ostalog, testiranje objektivnosti ovog dijagrama. Osim toga, utvrđuju se stvarni razlozi i opravdanost upotrebe OU za izradu protivoklopnih kinetičkih projektila.

Primenjen je metod komparacije vrednosti parametara projektila od OU sa vrednostima parametara veličina stanja i kretanja, u trenutku udara, projektila izrađenih od konkurentnih materijala. Izveden je matematički model upravnog udara u metu koja miruje. Numeričkim putem su izračunati navedeni parametri projektila izrađenih od čelika, volfram karbida, volframa i legure uranijuma i molibdena, i mete od čelika, materijala za koje su zakoni udarne stišljivosti uzeti iz [1]. Parametri su izraženi u funkciji udarne brzine, u intervalu od 500 m/s do 2000 m/s.

S obzirom na ograničen aspekt tretiranja u ovom radu, za nas aktuelnog problema municije sa OU, više podataka o sistemima naoružanja, iskustvima neposrednih aktera, posledicama primene, preduzetim merama i drugim pitanjima u vezi ove problematike, može se pronaći u literaturi [6 do 10]. U [10] je izveden veoma ilustrativan prikaz uticaja gustine materijala i vitkosti projektila na njegove penetracione karakteristike. Naime, dokazano je na osnovu eksperimenatalnih rezultata, da je probojna moć projektila upravno srazmerna gustini materijala projektila i njegovoj vitkosti.

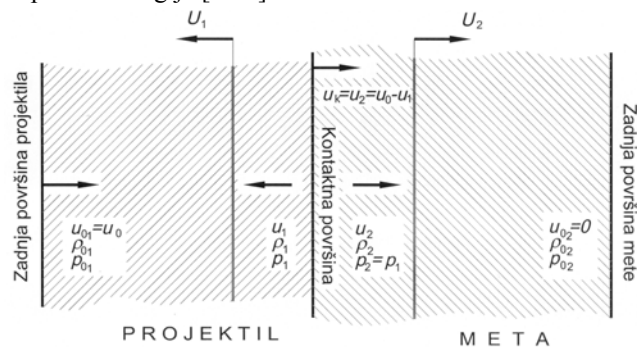
Ograničavajući faktor gustine projektila je činjenica da u prirodi ne egzistira metal gustine veće od  $22,60 \text{ g/cm}^3$  (osmijum), a u pogledu vitkosti ograničavajući faktor je čvrstoća projektila u fazi lansiranja. Ova činjenica je očigledna s obzirom na realizaciju izuzetno velike gustine udarne energije u slučaju projektila manje površine poprečnog preseka. U ovom radu analiziran je i uticaj atomske i kristalne strukture materijala (opisan jednačinama udarne stišljivosti), na penetracione karakteristike projektila.

### Parametri stanja i kretanja pri sudaru čvrstih tela

Za proces prodiranja i probijanja veoma bitnu ulogu igraju početni parametri na kontaktnoj površini projektila i mete. Parametri stanja na granici dva tela, koja se sudaraju, određeni su klasičnim metodama teorije udarnih talasa. U trenutku udara, ne manifestuju se sile koje deluju unutar tela. Model je nezavisan od agregatnog stanja tela u sudaru, pošto u momentu sudara fazno stanje sredine ne utiče na karakter zakona očuvanja. Kao takav model je primenljiv i u slučaju dejstva produkata detonacije na gasovitu, tečnu ili čvrstu sredinu.

Za iznalaženje veze između parametara sredine ispred i

iza fronta udarnog talasa koriste se zakoni o održanju mase, impulsa i energije [1 i 5].



Slika 2. Proračunska šema matematičkog modela udara projektila u metu

Označeni su indeksima "1" i "2" redom parametri projektila i mete pri sudaru. Razmotren je zadatak o upravnom udaru brzinom  $u_0$  u koordinatnom sistemu u kome je meta nepomična, čiji je šematski prikaz dat na sl.1. Tada, u trenutku udara, zbog pojave reflektovanog udarnog talasa u materijalu projektila, na graničnoj površini važi odnos:

$$u_k = u_2 = u_0 - u_1 \quad (1)$$

gde su:  $u_k$  - brzina pomeranja kontaktne (granične) površine,  $u_2$ ,  $u_1$  - masene brzine materije iza fronta udarnih talasa u meti i projektilu redom.

U materijalu mete, kontaktna površina se tretira kao površina klipa koja se za vreme  $t$  pomeri na rastojanje  $(u_2 - u_0)t$ , dok front udarnog talasa pređe put  $(U_2 - u_0)t$ .

Masa udarno sabijenog materijala mete je  $\rho_2(U_2 - u_2)At$ , dok je ista masa pre sabijanja bila jednaka:  $\rho_02(U_2 - u_0)At$ . Izjednačavanjem vrednosti ovih masa, saglasno zakonu o održanju mase, posle skraćivanja proizvoda jedinične površine  $A$  i vremena  $t$  dobija se:

$$\rho_02(U_2 - u_0) = \rho_2(U_2 - u_2) \quad (2)$$

Promena količine kretanja mase  $\rho_02(U_2 - u_0)At$  iznosi:

$$(\rho_2 - \rho_02)At = \rho_02(U_2 - u_0)At(u_2 - u_0),$$

odnosno

$$(\rho_2 - \rho_02) = \rho_02(U_2 - u_0)(u_2 - u_0) \quad (3)$$

Ako se izraz (2) napiše u obliku:

$$\frac{(U_2 - u_0)}{v_02} = \frac{(U_2 - u_2)}{v_2} \quad (4)$$

gde je  $v=1/\rho$  specifična zapremina.

Množenjem leve i desne strane jednačine (4) sa  $v_2 v_02$ , i rešavanjem po  $U_2$ , a zatim oduzimanjem  $u_02$  od leve i desne strane dobija se:

$$\frac{U_2 - u_02}{v_02} = \frac{u_2 - u_02}{v_02 - v_2} \quad (5)$$

Iz (3) se dobija:

$$\frac{U_2 - u_02}{v_02} = \frac{\rho_2 - \rho_02}{(u_2 - u_02)} \quad (6)$$

Leve strane jednačina (5 i 6) su identične. Izjednačavanjem desnih strana dobija se:

$$u_2 - u_{02} = \sqrt{(p_2 - p_{02})(v_{02} - v_2)} \quad (7)$$

Identičan postupak za projektil daje:

$$u_{01} - u_2 = \sqrt{(p_1 - p_{01})(v_{01} - v_1)} \quad (8)$$

Sabiranjem levih i desnih strana jednačina (7 i 8) dobija se:

$$\begin{aligned} u_{01} - u_{02} &= \\ &= \sqrt{(p_1 - p_{01})(v_{01} - v_1)} + \sqrt{(p_2 - p_{02})(v_{02} - v_2)} \end{aligned} \quad (9)$$

S obzirom da je  $u_{01}=u_0$  udarna brzina projektila, da je meta u stanju mirovanja ( $u_{02} = 0$ ), da se početni pritisci u projektilu i meti  $p_{01}$  i  $p_{02}$  mogu zanemariti u odnosu na pritiske iza fronta udarnog talasa, i da se na kontaktnoj površini uspostavlja jedinstven pritisak  $p_1 = p_2 = p_k$ , jednačina (9) glasi:

$$\sqrt{p_x(v_{01} - v_1)} + \sqrt{p_x(v_{02} - v_2)} = u_0 \quad (10)$$

Jednačina (10) sadrži tri nepoznate:  $p_x$ ,  $v_1=1/\rho_1$  i  $v_2=1/\rho_2$ .

Za određivanje ovih nepoznatih neophodno je znati jednačine stanja materijala udarača (projektila) i mete ili zakone njihove udarne stišljivosti. Zadatak se najjednostavnije rešava korišćenjem nekog od sledećih zakona udarne stišljivosti sredina:

$$U = a + \lambda u \quad (11)$$

$$p = A \left[ \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^m - 1 \right] \quad (12)$$

S obzirom da su jednačine udarne stišljivosti tabelarno date sa pritiskom kao nezavisno promenljivom veličinom, neophodno je navedene jednačine udarne stišljivosti tipa  $U(u)$  (11) i  $p(\rho)$  (12) izraziti u obliku  $u(p)$ :

$$u = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + 4\lambda \frac{p}{\rho_0}}}{2\lambda} \quad (13)$$

Jednačina (13) dobijena je zamenom vrednosti  $U = \frac{p}{\rho_0 \cdot u}$  u jednačinu (11) i rešavanjem po  $u$  tako dobijene kvadratne jednačine:

$$\lambda u^2 + au - \frac{p}{\rho_0} = 0$$

Zamenom  $\rho = \frac{1}{v}$  u jednačini (12), rešavanjem po  $p$  i zamenom u izvedenu relaciju (7) bez indeksa, dobija se:

$$u = \sqrt{\frac{p}{\rho_0} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{p}{A} \right)^{-1/m} \right]} \quad (14)$$

Saglasno jednačini (1), brzina kontaktne površine projektila i mete je jednaka masenoj brzini materijala mete, odnosno razlici udarne brzine i masene brzine u projektilu.

$$u_k = u_2 = u_0 - u_1$$

Odatle sledi da je:

$$u_0 = u_1 + u_2 \quad (15)$$

tj. udarna brzina jednaka je zbiru masenih brzina materijala projektila i mete.

Zamenom u jednačinu (15) redom izraza (13 i 14) dobija se:

$$u_0 = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 + 4\lambda_1 \frac{p_k}{\rho_{01}}}}{2\lambda_1} + \frac{-a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4\lambda_2 \frac{p_k}{\rho_{02}}}}{2\lambda_2} \quad (16)$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{p_k}{\rho_{01}} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{p_k}{A_1} \right)^{-1/m_1} \right]} + \sqrt{\frac{p_k}{\rho_{02}} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{p_k}{A_2} \right)^{-1/m_2} \right]} \quad (17)$$

Iz svake od nelinearnih jednačina (16 i 17), za zadatu udarnu brzinu  $u_0$ , početne gustine materijala projektila i mete  $\rho_{01}$  i  $\rho_{02}$  i koeficijente jednačine udarne stišljivosti materijala projektila i mete ( $a$ ,  $\lambda$ , odnosno  $A$  i  $m$ ) može da se implicitno izračuna vrednost kontaktnog pritiska  $p_k$ .

### Numerički proračun parametara stanja i kretanja

Zavisnosti unutrašnje energije  $e$ , gustine  $\rho$  i temperature  $T$ , od pritiska  $p_k$  izražene su u obliku polinoma trećeg stepena sa stepenom korelacije  $R > 0,999$ :

$$A_i = \sum_{j=0}^3 a_{ij} p_k^j, \quad i=1,2$$

Koeficijenti su dobijeni fitovanjem tabelarnih podataka polinomom trećeg stepena, korišćenjem metode najmanjih kvadrata iz programa Microsoft EXCEL (Chart-Add Trendline). Podaci za materijale projektila i mete, analizirane u ovom radu, uzeti su iz tabela monografije [1]. Nije se raspolagalo podacima za teški metal (leguru volframa) i leguru OU i titanijuma, koje se najčešće koriste za izradu kinetičkih projektila, međutim može se pokazati da jednačine udarne stišljivosti osnovne komponente (udeo veći od 90%) ne odstupaju znatno od jednačine udarne stišljivosti njihovih legura.

**Tabela 1.** Gustina i jednačine udarne stišljivosti volframa u intervalu od 0 do 2,7 Mbar

Parametar	Volfram [1], str.543
Početna gustina $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	19,224
Ud. adijabata $U=U(u)$ (cm/μs)	$U=0,4029+1,237u$
Unutrašnja energija $e=e(p_k)$ (J/g)	$e=-90,119 p_k^3+489,02p_k^2+78,642p_k+29,00$
Gustina $\rho=\rho(p_k)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho=0,305p_k^3-1,6853p_k^2+5,8529p_k+19,224$
Temperatura $T=T(p_k)$ (K)	$T=11,97p_k^3+767,13p_k^2-29,367p_k+293,00$

**Tabela 2.** Gustina i jednačine udarne stišljivosti volfram-karbida u intervalu od 0 do 2,0 Mbar

Parametar	Volfram karbid [1], str. 550
Početna gustina $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	15,020
Ud. adijabata $U=U(u)$ (cm/μs)	$U=0,4920 + 1,339u$

Unutrašnja energija $e=e(p_k)$ (J/g)	$e=-100,32p_k^3+556,84p_k^2+84,235p_k+32,00$
Gustina $\rho=\rho(p_k)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho=0,2101p_k^3-1,1589p_k^2+3,9503p_k+15,020$
Temperatura $T=T(p_k)$ (K)	$T=-1,9994p_k^3+466,07p_k^2+20,673p_k+293,00$

**Tabela 3.** Gustina i jednačine udarne stišljivosti osiromašenog uranijuma u intervalu od 0 do 3,5 Mbar

Parametar	Osiromašeni uranijum (Legura 97/3 UMO) [1], str.534
Početna gustina $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	18,450
Ud. adijabata $U=U(u)$ (cm/ $\mu$ s)	$U=0,2565+1,531u$
Unutrašnja energija $e=e(p_k)$ (J/g)	$e=-134,58p_k^3+603,67p_k^2+270,66p_k+25,00$
Gustina $\rho=\rho(p_k)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho=1,4889p_k^3-6,4052p_k^2+12,003p_k+18,45$
Temperatura $T=T(p_k)$ (K)	$T=-362,29p_k^3+2603,2p_k^2+197,55p_k+293,00$

**Tabela 4.** Gustina i jednačine udarne stišljivosti čelika u intervalu od 0 do 1,9 Mbar

Parametar	Čelik 304 CrNiMn [1], str. 551
Početna gustina $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	7.896
Ud. adijabata $U=U(u)$ (cm/ $\mu$ s)	$U=0,4569+1,490u$
Unutrašnja energija $e=e(p_k)$ (J/g)	$e=-288,71p_k^3+1356,90p_k^2+469,38p_k+99,00$
Gustina $\rho=\rho(p_k)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho=0,4231p_k^3-1,9169p_k^2+4,0726p_k+7,896$
Temperatura $T=T(p_k)$ (K)	$T=-121,75p_k^3+1195,3p_k^2+168,43p_k+293,00$

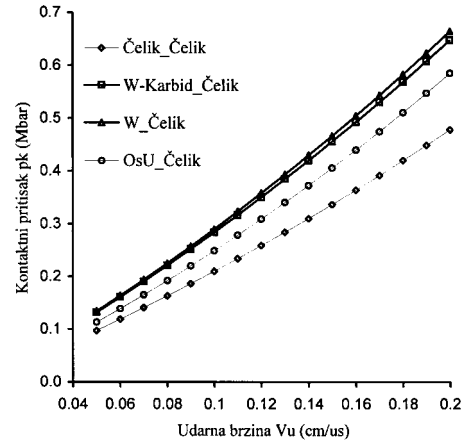
Za rešavanje nelinearne jednačine (16) razvijen je računarski program **PRITISAK**, pisan u jeziku FORTRAN 77, koji koristi matematički podprogram NEQNF iz biblioteke IMSL.

Za svaku vrstu projektila formira se ulazna datoteka u Microsoft Word-u, **Pritisaku.doc**. Na primer, za projektil od OU i metu od čelika ona ima sledeći oblik:

18.450,0.2565,1.531  $\rho_{01}$ (g/cm<sup>3</sup>),  $a_1$ (cm/us),  $\lambda_1(-)$   
 7.896,0.4569,1.490  $\rho_{02}$ (g/cm<sup>3</sup>),  $a_2$ (cm/us),  $\lambda_2(-)$   
 -134.58,603.67,270.66,25.  $e_{j1}$ (J/gMbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$   
 -288.71,1356.9,469.38,99.  $e_{j2}$ (J/gMbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$   
 1.4889,-6.4052,12.003,18.45  $r_{j1}$ (g/cm<sup>3</sup>Mbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$   
 0.4231,-1.9169,4.0726,7.896  $r_{j2}$ (g/cm<sup>3</sup>Mbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$   
 -362.29,2603.2,197.55, 293.  $t_{j1}$ (K/Mbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$   
 -121.75,1195.3,168.43, 293.  $t_{j2}$ (K/Mbar<sup>j</sup>),  $j=3,2,1,0$

Variranjem udarnih brzina u intervalu od 0,05 do 0,2 cm/ $\mu$ s sa korakom 0,01 cm/ $\mu$ s, izračunate su vrednosti parametara kontaktnog pritiska (Mbar), masenih brzina (cm/ $\mu$ s), unutrašnjih energija (J/g), gustina (g/cm<sup>3</sup>) i temperatura (K) u materijalu projektila i mete.

Karakteristični rezultati proračuna prikazani su dijagramom na sl.2, na kome je prikazana zavisnost vrednosti kontaktnog pritiska od udarne brzine projektila.



**Slika 3.** Grafički prikaz rezultata numeričkog proračuna kontaktnog pritiska

Promena pritiska je kontinualna i raspored krivih je identičan za većinu parametara u meti. To je ilustrovano u tabeli 5, u koju su unete vrednosti najznačajnijih parametara pri udarnoj brzini projektila  $u_0 = 0,1$  cm/ $\mu$ s.

**Tabela 5.** Vrednost parametara u čeličnoj meti pri udarnoj brzini projektila  $u_0 = 1000$  m/s

Projektil	$p_k$ (Mbar)	$u_2$ (cm/ $\mu$ s)	$T_2$ (K)	$e_2$ (J/g)	$\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )
Volfram	0.289880	0.066102	439.3	342.0	8.926
W-Karbid	0.283866	0.064934	434.3	335.0	8.907
Os.Uran	0.248727	0.057981	407.0	295.2	8.797
Čelik	0.209797	0.050000	379.8	254.5	8.670

Udar projektila izrađenog od volframa generiše u meti najveći pritisak, masenu brzinu, porast unutrašnje energije, temperature i gustine, što nedvosmisleno znači da ostvaruje najveće razaranje mete.

Na osnovu vrednosti parametara navedenih u tabeli 6, uočava se da je za materijale projektila redosled kao u ogledalu u odnosu na materijal mete, s tim što se kod projektila od OU, zbog povećane stišljivosti, uočava najveći porast temperature i gustine. Povećanje temperature projektila od OU pogoduje pojavi samopaljenja parčadi koja nastaju pri lomu na tvrdj meti ili pri raspadu projektila posle probijanja mete. Poznato je da je OU veoma piroforan materijal.

**Tabela 6.** Vrednost parametara u projektilu pri udaru u čeličnu metu brzinom  $u_0 = 1000$  m/s

Projektil	$p_k$ (Mbar)	$u_1$ (cm/ $\mu$ s)	$T_1$ (K)	$e_1$ (J/g)	$\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )
Volfram	0.289880	0.033898	349.2	91.4	20.786
W-karbid	0.283866	0.035066	335.9	99.2	16.053
OsUran	0.248727	0.042019	497.6	127.5	21.062
Čelik	0.209797	0.050000	379.8	254.5	8.670

Dominantan nivo efikasnosti projektila izrađenih od volframa potvrđen je najnižim vrednostima parametara u materijalu projektila pri udaru, što govori o najmanjem opterećenju projektila u trenutku sudara.

## Zaključak

U procesu udara i prodiranja projektila u metu, trenutak udara i početni parametri stanja i kretanja materijala projektila i mete, podležu zakonima hidrodinamike i pri

brzinama udara manjim od 100 m/s. Ovi početni parametri su od suštinskog značaja za taj proces, i na osnovu njihove komparacije se može dati ocena pogodnosti materijala za izradu projektila u odnosu na efikasnost.

Na osnovu dobijenih rezultata može da se zaključi da su projektili izrađeni od volframa, a samim tim i od legura na bazi volframa, pokazali bolje karakteristike efikasnosti, u odnosu na projektele izrađene od OU (veći pritisak i brzina tečenja generisani u čeličnoj meti i niži nivo ovih parametara u projektilu). Već je napomenuta osetljivost na lom projektila od volfram-karbida pri prodoru u sendvič-oklope.

Dijagram na sl.1 imao bi osnova samo ukoliko bi se na ordinati nalazio odnos efikasnost-cena, s obzirom na nižu cenu OU u zemljama koje raspolažu tehnologijom obogaćivanja uranijuma, gde se OU pojavljuje kao nuklearni otpad.

Pri udaru projektila izrađenog od OU dolazi do njegovog vrlo izraženog zagrevanja (zbog veće stišljivosti). S obzirom da OU spada u grupu veoma pirofornih materijala, postoji velika verovatnoća, da pri sudaru sa čvrstom metom dođe do paljenja fragmenata projektila. Formirani aerosol izaziva kontaminaciju posade pogođenog vozila, ljudi u blizini i okolnog vazdušnog prostora i tla. Nesagoreli delovi ogoljenog penetratora (bez zaštitne košuljice) brzo oksidišu, i uranijumovi oksidi prodiru u tlo vršeći njegovu dugotrajnu

kontaminaciju.

## Literatura

- [1] Monografija *High Velocity Impact Phenomena*, Edited by Ray Kinslow, Academic Press New York and London, 1970. pp.467-468.
- [2] ROSTKER,B. Environmental Exposure Report - Depleted Uranium in the Gulf -<http://www.gulfink.osd.mil/du>, 1996.
- [3] PENGELLEY,R. Tank Ammunition Development - less spectacular, but smarter. *International Defence Review*, 1994, no.4, p.43.
- [4] HEIDEMAN,G.J., NICHOLS,O.M. Tungsten Case Penetrators for Armor Piercing Projectiles. *National Defence*, April 1982., p.32.
- [5] Monografija *Fizika vzryva*, Izdanje vtoroe, pererabotannoe, Pod redakciej K.P. Stanjukoviča, Izdatelstvo "Nauka", Glavnaja redakcija fiziko-matematičeskoj literatury, Moskva, 1975. pp. 291-298.
- [6] - <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/gau-8.htm>
- [7] - <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/pgu-14.htm>
- [8] - <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/du.htm>
- [9] FOSS,C.F. Russia's rounds revealed. *Jane's Defence Weekly*, 9. October 1993., p.26.
- [10] ŽAKULA,B. Municija sa osiromašenim uranijumom. *Hemijska industrija*, tematski broj 2, Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije, Beograd, 2001.

Rad primljen: 10.5.2002.god.

