

BRZINA MLAZA LINIJSKIH KUMULATIVNIH REZAČA

JET VELOCITY OF LINEAR SHAPED CHARGES

VJEČISLAV BOHANEK, MARIO DOBRILLOVIĆ, VINKO ŠKRLEC

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Hr-10000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: brzina mlaza, linijski kumulativni rezači

Key words: jet velocity, linear shaped charges

Sažetak

Kumulativni eksplozivni naboji kod kojih je jedna dimenzija, značajno veća od drugih nazivaju se linearnim (linijskim) kumulativnim rezačima (engl. linear shaped charge - LSC). Linearni kumulativni rezači koriste se u različitim granama industrije te se primjenjuju u sklopu pojedinih tehnologija za rezanje metala, primjerice kod rušenja čeličnih konstrukcija, odvajanja iskorištenih spremnika goriva raketa, razminiranja, probijanja otvora u preprekama u vatrogastvu i sli.

Prema postojeći modelima i teorijama učinkovitost linijskih kumulativnih rezača ovisi o kinetičkoj energiji mlaza koja je proporcionalna kvadratu ubrzane obloge.

Opisana istraživanja primijenila su originalnu metodu mjerenja brzina mlaza linijskih kumulativnih rezača. Mjerenja su provedena za dva različita materijala obloge, a rezultati su grafički prikazani, analizirani i uspoređeni. Izmjerene brzine mlaza za različite materijale uz jednak odnos mase obloge i mase eksploziva (M/C) sveden na jediničnu površinu obloge su različite, što modeli korišteni u radu ne mogu opisati.

1. Uvod

Eksplozivnim punjenjem (ili nabojem) uobičajeno se smatra određena količina eksplozivne tvari čijom se detonacijom obavlja određeni rad; prilikom miniranja u rudarstvu i naftnoj industriji, oblikovanju i zavarivanju metalnih elemenata, rezanja i rušenja raznih objekata itd. S obzirom na oblik, eksplozivne naboje moguće je podijeliti u tri skupine:

- koncentrirani eksplozivni naboji,
- linijski eksplozivni naboji i
- kumulativni eksplozivni naboji (Sućeska 2001).

Kumulativni eksplozivni naboji razlikuju se od ostalih naboja u mogućnosti usmjerenja energije oslobođene detonacijom, zbog čega su znatno učinkovitiji od ostalih. Energiju detonacije moguće je usmjeriti izradom kumulativnog prostora pravilnih dimenzija i oblika u eksplozivnom punjenju. Ukoliko se kumulativni prostor obloži tankim slojem materijala, u pravilu metala, dodatno se po-

Abstract

Shaped explosive charges with one dimension significantly larger than the other are called linear shaped charges. Linear shaped charges are used in various industries and are applied within specific technologies for metal cutting, such as demolition of steel structures, separating spent rocket fuel tanks, demining, cutting holes in the barriers for fire service, etc.

According to existing theories and models efficiency of linear shaped charges depends on the kinetic energy of the jet which is proportional to square of jet velocity.

The original method for measuring velocity of linear shaped charge jet is applied in the aforementioned research. Measurements were carried out for two different linear materials, and the results are graphically presented, analysed and compared. Measurement results show a discrepancy in the measured velocity of the jet for different materials with the same ratio between linear and explosive mass (M/C) per unit of surface, which is not described by presented models.

većava djelovanje kumulativnog naboja na ciljani objekt. Metalna obloga je izvor teških molekula i povećava djelovanje kumulativnih eksplozivnih naboja koje se zasniva na kinetičkoj energiji ubrzane metalne obloge. Dodatno povećanje djelovanja kumulativnih naboja postiže se odmicanjem kumulativnog naboja na određenu udaljenost od ciljanog materijala.

2. Podjela kumulativnih naboja

Eksplozivni kumulativni naboji se mogu podijeliti s obzirom na oblik, način usmjerenja energije detonacije i funkciju na:

- konusne kumulativne naboje ili perforatore i
- linijske (linearne) kumulativne naboje ili rezače.

Konusni naboji ili perforatori namijenjeni su za perforiranje ciljanog materijala, obloga kumulativnog prostora je konusnog oblika, a energija detonacije se usmjerava u točku.

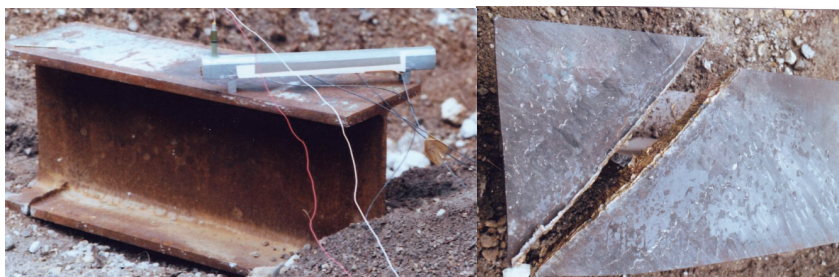
Linijski kumulativni rezači namijenjeni su za rezanje, obloga je izdužena u pravcu duže osi, a energija detonacije je usmjerena u pravac. Sposobnost djelovanja konusnog kumulativnog naboja definirana je dubinom perforacije u materijalu, a sposobnost djelovanja linijskog kumulativ-

nog naboja sa maksimalnom debljinom materijala koji rezač može presjeći. Slikama 1 i 2 prikazani su konusni i linijski kumulativni naboji te njihov učinak u ciljanom materijalu.



Slika 1. Konusni kumulativni naboj i perforacija nakon detonacije (www.appliedexplosives.com/images/stories/smallbook.pdf)

Figure 1. Shaped charge and perforation after detonation (www.appliedexplosives.com/images/stories/smallbook.pdf)



Slika 2. Linijski kumulativni rezač i rez nakon detonacije (Čačić 1998)

Figure 2. Linear shaped charge and cut after detonation (Čačić 1998)

3. Linijski kumulativni rezači

Kumulativni naboji kod kojih je jedna dimenzija, obično duljina, značajno veća od drugih nazivaju se linearni (linijski) kumulativni rezači. Linijski kumulativni rezači razvili su se iz konusnih kumulativnih perforatora. Upotreba linijskih kumulativnih rezača za civilne namjene započinja nakon 1950. godine.

Detonacijom eksplozivnog punjenja dolazi do usmjerenja energije detonacije prema kumulativnom prostoru, udarni val nailazi na oblogu te je deformira i ubrzava. Obloga je izvor teških molekula koje povećavaju kinetičku energiju procesa. Pravilnim izborom geometrijskih značajki, materijala obloge i odnosa između mase obloge i mase eksplozivnog punjenja postiže se najveća učinkovitost linijskih kumulativnih rezača. Ona se prikazuje kao maksimalna debljina prepreke koju linijski kumulativni rezač može prerezati, a proporcionalna je kinetičkoj energiji ubranog metala obloge. Rezanje ili učinak linijskog kumulativnog rezača sastoji se od dva mehanizma. Primarni mehanizam je penetracija mlaza linijskog kumulativnog rezača u ciljani materijal. Nailaskom mlaza na metu, tlak djelovanja mlaza na materijal je znatno veći od tlačne čvrstoće materijala. Materijal mete se bočno razmiče, a mlaz

penetrira i oblikuje rez u materijal mete. Materijal mete se pri tome plastično deformira, pruža otpor prodiranju te se smanjuju brzina i kinetička energija mlaza. Kada se kinetička energija mlaza u procesu penetracije smanji na određeni iznos (koji ovisi o materijalu mete), dolazi do zaustavljanja penetracije. Sekundarni mehanizam nastaje djelovanjem tlačnih udarnih valova i očituje se u nastanku pukotine u materijalu mete nakon djelovanja penetracije. Zbroj djelovanja ovih mehanizama daje ukupnu debljinu materijala koju linijski kumulativni rezač može prerezati. Ukoliko je debljina materijala dovoljno velika, prigušuje se djelovanje udarnih valova, a veličina pukotine nastale na taj način je zanemariva.

Linijski kumulativni rezači koriste se u različitim granama industrije te se primjenjuju u sklopu pojedinih tehnologija za rezanje metala i drugih materijala. Primjena linijskih kumulativnih rezača je prisutna u sljedećim područjima:

- rudarstva, naftnog rudarstva i građevinarstva,
- svemirske industrije,
- vojne namjene,
- razminiranja i
- vatrogastvo.

4. Brzina mlaza linijskih kumulativnih rezača

Brzine metala ubrzanog energijom eksploziva i brzinu obloge linijskih kumulativnih rezača moguće je izračunati prema postavkama različitih modela i teorija. Za proračun maksimalne brzine metala ubrzanog djelovanjem eksploziva najčešće se koristi Gurneyev model, a za proračun brzine primarnog i sekundarnog mlaza kumulativnih naboja Birkhoffov model i PER teorija.

4.1. Gurneyev model

R. W. Gurney je izveo matematičke izraze za proračun konačne brzine metalnih fragmenata odbačenih uslijed detonacije eksplozivnog punjenja. Gurneyeva metoda može se direktno i jednostavno primijeniti u mnogobrojnim slučajevima interakcije između eksploziva i metala (Walters & Zukas 1988).

Model se temelji na zakonima o očuvanju energije i količine gibanja te slijedećim pretpostavkama:

a) Količina energije koja se oslobodi detonacijom eksploziva po jedinici mase je konstantna. Energije se

konvertira u kinetičku energiju ubrzanog metala i plinovitih produkata detonacije.

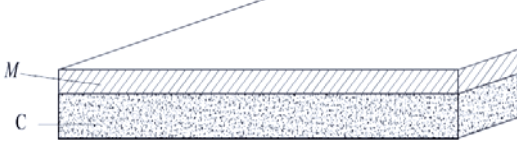
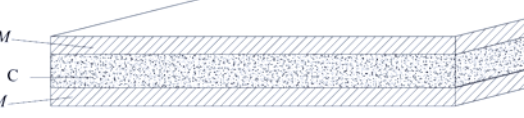

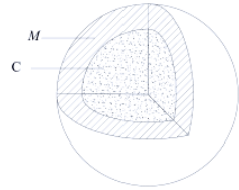
b) Plinoviti produkti imaju ujednačenu gustoću po cijelom volumenu i linearni jednodimenzionalni profil brzine u prostornom koordinatnom sustavu.

Gurneyeva energija E_g (J/kg) energije je pretvorena iz kemijske energije eksploziva u početnom stanju u kinetičku energiju konačnog stanja. Kinetička energija je podijeljena na kinetičke energije metala i kinetičku energiju plinova detonacije. Pretpostavka je da je brzina metala konstantna duž njegove debljine i da su brzine metala i plinova u svakoj točki okomite na os. Pretpostavke pojednostavnjuju stvaran proces i proračun. Na osnovu pretpostavki moguće je napisati jednadžbu bilance (očuvanja) energije za bilo koji tip jednostavne simetrične i asimetrične konfiguracije metala i eksploziva, čijim se integriranjem dobiva analitički izraz za konačnu brzinu ubrzanog metala. Konačna brzina metala v_m ovisna je o Gurneyevoj energiji eksploziva E_g i omjeru između ukupne mase metala M i ukupne mase eksploziva C .

U tablici 1. dane su Gurneyeve jednadžbe za pojedine simetrične i asimetrične konfiguracije metala i eksploziva.

Tablica 1. Gurneyeve jednažbe za pojedine simetrične i asimetrične konfiguracije metala i eksploziva (Walters & Zukas 1989).

Table 1. Gurney equation for some symmetric and asymmetric configurations of metal and explosives (Walters & Zukas 1989).

	$\frac{v_m}{\sqrt{2E_g}} = \left[\frac{1 + \left(1 + 2\frac{M}{C}\right)^3}{6\left(1 + \frac{M}{C}\right)} + \frac{M}{C} \right]^{-1/2}$
	$\frac{v_m}{\sqrt{2E_g}} = \left(2\frac{M}{C} + \frac{1}{3} \right)^{-1/2}$
	$\frac{v_m}{\sqrt{2E_g}} = \left(\frac{M}{C} + \frac{1}{2} \right)^{-1/2}$
	$\frac{v_m}{\sqrt{2E_g}} = \left(\frac{M}{C} + \frac{3}{5} \right)^{-1/2}$

4.2. Birkhoffov model

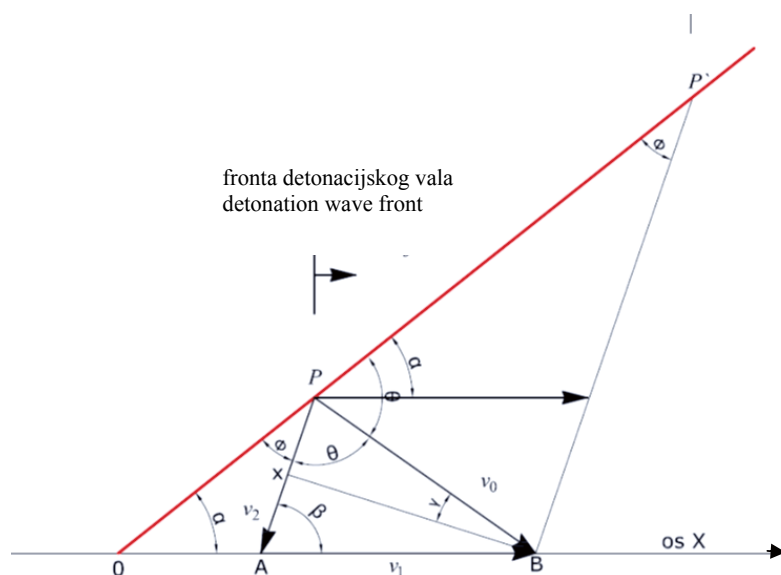
Prvi model koji opisuje načina djelovanja konusnih kumulativnih naboja objavljen je 1948. godine (Birkhoff et al. 1948). Proces je podijeljen u dvije faze: prva, stvaranje

tanke mlaze od dijela metalne obloge koji putuje longitudinalno velikom brzinom, i druga, razmicanje ciljanog materijala mete u stranu uslijed djelovanja ekstremno visoka tlaka mlaza na ciljani materijal. Interpretacija obje faze se bazira na klasičnom hidrodinamičkom pristupu za

idealne fluide, a može se primijeniti na rezače, jer se čvrstoća metala može zanemariti uslijed djelovanja izuzetno visokih tlakova detonacije eksploziva.

Materijal obloge se promatra kao neviskozan i nestišljiv fluid. **Pretpostavka je da elementi obloge trenutačno ubrzavaju do svoje konačne brzine i da mlaz ima konstantu duljinu jednaku duljini stranice konusa** (Walters & Zukas 1989).

Prilikom detonacije eksplozivnog punjenja detonacijski val nailazi na metalnu oblogu konusnog oblika. Pretpostavka je da tlak detonacije djeluje jednoliko na sve strane obloge uzrokujući pomicanje materijala obloge u smjeru centralne osi okomito na površinu obloge. Na slici 3 prikazani su geometrijski odnosi pri urušavanju metalne obloge.



Slika 3. Urušavanje obloge kumulativnih naboja prema Birkhoffovom modelu (Birkhoff et al. 1948)

Figure 3. The collapse of shaped charges liner according to Birkhoff model (Birkhoff et al. 1948)

Početni kut 2α koji zatvaraju dvije nasuprotne strane poprečnog presjeka konusne metalne obloge manji je od kuta 2β koji zatvara metalna obloga prilikom urušavanja zbog konačnog vremena potrebnog udarnom valu da prođe od vrha do baze konusa. Zbog simetričnosti konusa, jednolikog djelovanja udarnog vala na svim stranama konusa i identičnog procesa urušavanja elemenata konusa na slici 3 prikazana je samo gornja polovica poprečnog presjeka konusne obloge.

Promatra li se točka P materijala obloge koja se giba prema točki B , koja je stacionarna u prostoru, unutarnji sloj materijala obloge tvorit će primarni mlaz koji se giba velikom brzinom i prodire u materijal mete, dok će vanjski sloj materijala obloge tvoriti sekundarni mlaz, koji putuje manjim brzinama. Prema Birkhoffovom modelu jednadžbe za izračun brzine primarnog i sekundarnog mlaza su (Birkhoff et al 1948):

$$v_s = v_0 \frac{\cos[(\beta - \alpha)/2]}{\sin \beta} + \frac{\cos[(\beta - \alpha)/2]}{\tan \beta} + \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (1)$$

$$v_s = v_0 \frac{\cos[(\beta - \alpha)/2]}{\sin \beta} - \frac{\cos[(\beta - \alpha)/2]}{\tan \beta} - \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2)$$

gdje je:

v_p –brzina primarnog mlaza (m/s),

v_s –brzina sekundarnog mlaza (m/s),

v_0 –brzina ubrzane metalne obloge (može se izračunati prema Gurnyevoj jednadžbi) (m/s),

α – polovica kuta koji čine dvije nasuprotne strane metalne obloge prije urušavanja ($^\circ$) i

β – polovica kuta koji čine dvije nasuprotne strane metalne obloge pri urušavanju ($^\circ$).

4.3. PER teorija

PER teorija objavljena je 1952. godine i predstavlja nadogradnju Birkhoffove teorije. Teorija se naziva i nestacionarnom, jer za razliku od konstantne brzine urušavanja metalne obloge koju pretpostavlja Birkhoffov model, PER teorija pretpostavlja promjenljivu brzinu urušavanja obloge.

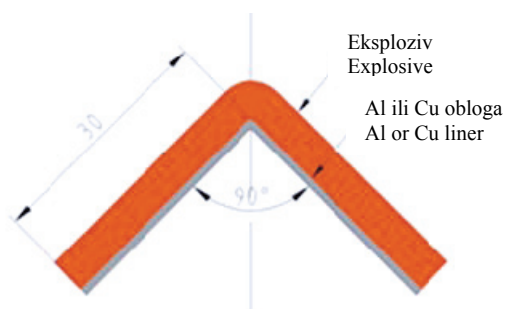
Brzina urušavanja obloge konusa opada kontinuirano od vrha prema bazi konusa. Razlike u brzini urušavanja obloge uzrokuju izduženje primarnog mlaza (Pugh et al. 1952).

Na temelju PER teorija razvijeni su brojni jednodimenzionalni i analitički kodovi koji omogućuju brzu i ekonomičnu analizu prilikom projektiranja kumulativnih naboja (Sućeska 1996).

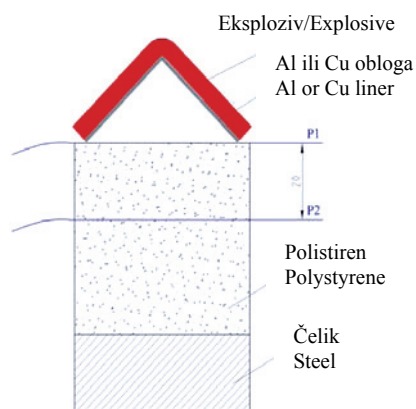
Prema PER teoriji proces urušavanja metalne obloge se može prikazati slikom 4.

su fizikalni procesi koji vrijede za rezač s kućištem istovjetni onima kod rezača bez kućišta. Pri istraživanju linijskih kumulativnih rezača ova ili slična izvedba linijskih kumulativnih rezača je često u upotrebi (Lim 2006, Nariman-Zadeh et al. 2001).

Za eksplozivno punjenje linijskih kumulativnih rezača izabran je plastični eksploziv koji se sastoji od pentrita (Pentaerythritol tetranitrate) i neeksplozivnog plastifikatora koji služi kao vezivni materijal. Deklarirana brzina detonacije eksploziva je 7200 m/s. Na osnovi izmjerene mase obloge i mase eksploziva ostvareni su različiti odnosi mase obloge i mase eksploziva (M/C) po jediničnom presjeku. Maksimalna masa eksploziva iznosila je 30 g. Masa eksploziva je limitirana na osnovi maksimalne mase eksploziva koja se na siguran način može otpucati u laboratorijskoj komori. Na slici 5 prikazan je poprečni presjek linijskog kumulativnog rezača.



Slika 5. Presjek linijskog kumulativnog rezača
Figure 5. Linear shaped charge cross section



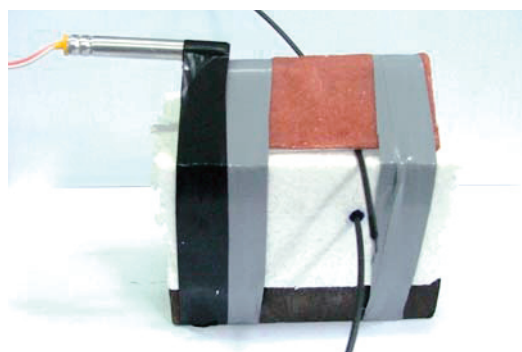
Slika 6. Mjerni postav
Figure 6. Measurement setup

5.2. Postav mjerenja

Mjerenja su provedena direktnom metodom pomoću elektroničkog sata i svjetlovoda. Metoda je modificirana metoda za mjerenje brzine detonacije eksploziva. Koristi se elektronički sat "Explomet - Fo", najveća brzina koju uređaj može mjeriti je 10 000 m/s, vremenski interval od 0,1 μ s do 10 s, uz točnost od $\pm 0,1 \mu$ s.

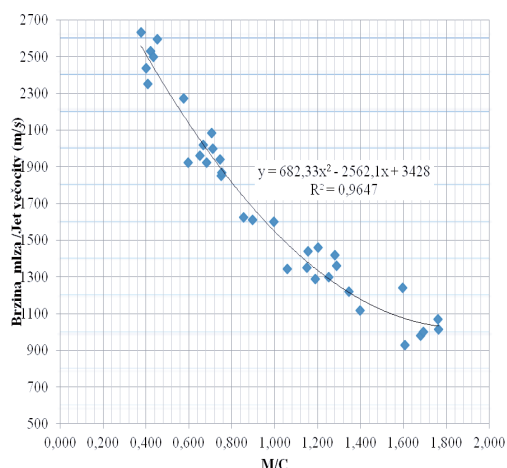
Meta je izrađena od polistirena (stiropora), koji ima malu gustoću i pruža minimalni otpor prodiranju mlaza. Svjetlovodi su postavljeni na određenoj udaljenosti unutar vertikalne osi polistirenske ploče. Detonacija eksploziva uzrokuje ubrzanje obloge linijskog kumulativnog rezača i stvaranje mlaza te on presijeca optičke kablove. U trenutku presijecanja svjetlovoda instrument registrira svjetlost nastalu detonacijom eksplozivnog punjenja. Na osnovi razmaka između svjetlovoda i zabilježenog vremena prolaza dobiva se brzina mlaza linijskih kumulativnih rezača. Udaljenost između svjetlovoda (P1 i P2) bila je konstantna i iznosila je 20 mm, a mijenjane su debljine obloge pojedinog materijala i mase eksplozivnog punjenja da bi se dobili različiti odnosi M/C . Postignuti odnosi M/C za aluminijsku oblogu iznosili su od 0,4 do 1,8, a za bakrenu oblogu od 0,7 do 1,9. Na taj način moguće je utvrditi ovisnost brzine mlaza o M/C odnosu za pojedini materijal obloge.

Mjerni postav prikazan je na slici 6.



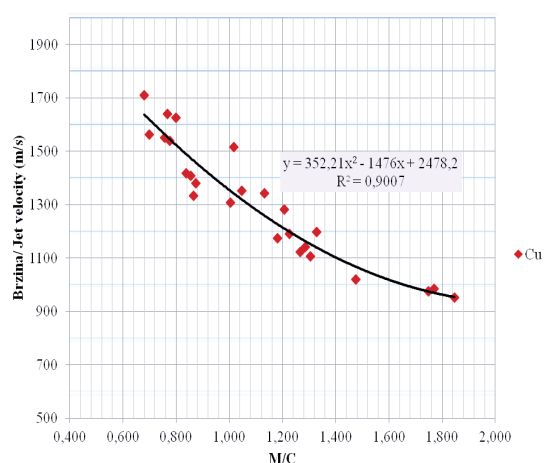
5.3. Rezultati ispitivanja

Rezultati mjerenja brzine mlaza za aluminijsku oblogu prikazani su slikom 7, za bakrenu oblogu slikom 8, a usporedni rezultati mjerenja za oba materijala slikom 9.



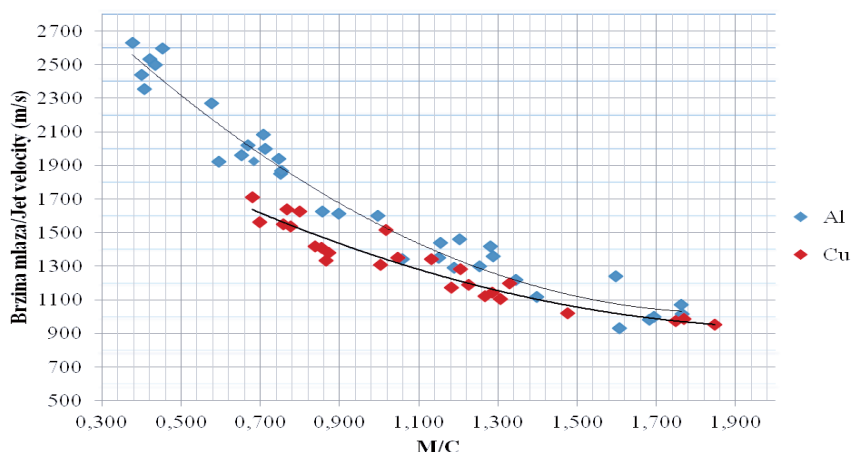
Slika 7. Brzina mlaza za Al oblogu

Figure 7. Jet velocity for Al liner



Slika 8. Brzina mlaza za Cu oblogu

Figure 8. Jet velocity for Cu liner



Slika 9. Usporedba brzina mlaza za Al i Cu oblogu

Figure 9. Compared jet velocities for Al and Cu liner

6. Analiza rezultata

Nakon izmjerenih vertikalnih brzina mlaza za Al i Cu obloge izrađeni su dijagrami koji prikazuju utjecaj odnosa M/C na brzinu mlaza za pojedini materijal obloge te usporedni dijagram rezultata mjerenja za Al i Cu oblogu. Na osnovi izmjerenih rezultata unesenih u dijagram izrađene su korelacijske krivulje za svaki materijal obloge posebno. U oba slučaja mjereni rezultati se najbolje podudaraju sa krivuljom polinoma drugog stupnja. Utjecaj odnosa M/C na brzinu Al obloge izražena je jednadžbom (5), a utjecaj M/C na brzinu Cu obloge jednadžbom (6):

$$y = 682,33x^2 - 2562,1x + 3428 \quad (5)$$

$$y = 352,21x^2 - 1476x + 2478,2 \quad (6)$$

gdje je :

y - brzina mlaza (m/s) i

x - M/C odnos za pojedini materijal

Za svaku krivulju određen je koeficijent determinacije (R^2) koji iznosi $R^2=0,96$ za Al oblogu i $R^2=0,90$ za Cu oblogu. U oba slučaja prisutna je jaka uzročna veza između odnosa M/C i izmjerene brzine mlaza. Nešto manja vrijednost faktora determinacije kod Cu obloge posljedica je većeg rasipanja mjenjenih rezultata. Bitno je napomenuti da jednadžbe vrijede samo za one vrijednosti odnosa M/C za koje je mjerenje provedeno. Razlog tome je jednadžba kvadratne funkcije čiji je graf parabola. Prema jednadžbama vrijednosti brzine bi počele ponovo rasti kad bi vrijednosti odnosa M/C bile veće od dva. To znači

da bi smanjivanjem mase eksplozivnog punjenja brzine obloge rasle, što fizikalno nije moguće.

Izmjerena brzina mlaza za Cu oblogu u pravilu je manja od brzine mlaza za Al oblogu. Razlike u brzinama rastu sa smanjenjem odnosa M/C .

Razlike izmjerenih brzina za aluminijske i bakarne obloge pri jednakim odnosima M/C predstavljaju odstupanje u odnosu na postavke navedenih teorija koje su pojednostavljene složenog procesa te ne uzimaju u obzir utjecaj svojstava ubranog metala, odnosno materijala. S druge strane, izmjerena brzina je prosječna brzina na segmentu 0-20 mm, a ne najveća vrijednost kojom se ulazi u proračune prema navedenim teorijama.

7. Zaključak

Prema rezultatima mjerenja brzina mlaza kumulativnih linijskih rezača može se uočiti potreba modificiranja postojećih modela s obzirom na specifičnosti procesa nastajanja mlaza linijskih kumulativnih rezača u odnosu na kumulativne perforatore. Pri tome je potrebno uzeti u obzir značajke materijala obloge i opis procesa nastajanja mlaza unutar dviju prostornih osi.

Korištena metoda mjerenja brzine kumulativnog mlaza prikladna je za mjerenje prosječne segmentne brzine mlaza linijskih kumulativnih rezača.

Za potvrđivanje postavki rezultatima mjerenja, potrebno je izmjeriti maksimalnu brzinu mlaza u zraku. S obzirom da kontinuirana metoda mjerenja brzina, koja daje distribuciju brzina i traženu maksimalnu brzinu, iziskuje poseban postav i osjetila za mjerenja na kratkim segmentima, rješenje se može naći u diskontinuiranoj metodi s laserskim zrakama. Na taj način moguće je smanjiti segmente mjerenja do nekoliko milimetara čime se može dobiti maksimalna brzina mlaza s zadovoljavajućom točnošću.

8. Literatura

- Birkhoff, G., MacDougall, D. P., Emerson M. Pugh, E. M., & Taylor S. G. (1948): Explosives with Lined Cavities, *Journal of Applied Physics*, 19, 563-582
- Čačić, L. (1998): Istraživanje i primjena kumulativnih eksplozivnih naboja pri miniranju u rudarstvu i graditeljstvu, Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 92
- Nariman-Zadeh, N., Darvizeh, A., Darvizeh, M. & Gharababaei, H. (2001): Modelling of explosive cutting process of plates using GMDH-type neural network and singular value decomposition, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, 128, 80-87.
- Pugh, E., Eichelberger, R. & Rostoker, N. (1952): Theory of jet formation by charges with lined conical Cavities, *Journal of Applied Physics*, 23, 532-536.

Lim, S. (2006): A preliminary investigation of the blade formation and cutting process of the linear shaped charges. Dissertation. University of Missouri – Rolla

Sučeska, M. (2001): Eksplozije i eksploziv - njihova mirnodopska primjena, Brodarski institut, 305 pp., Zagreb.

Sučeska, M. (1996): Izračunavanje parametara kumulativnog mlaza primjenom jednodimenzionalnog analitičkog modela. *Strojarstvo*, 38, 89-96

Walters, W.P. & Zukas, J.A. (1989): *Fundamentals of Shaped Charges*, New York: Wiley-Interscience. New York

<http://www.appliedexplosives.com/images/stories/smallbook.pdf>, 2012

JET VELOCITY OF LINEAR SHAPED CHARGES

Explosive charges are usually considered to be a certain mass of explosives whose detonation perform certain work. A cumulative charge is an explosive charge shaped to focus the effect of the explosive's energy. Cumulative explosive charges, according to form and purposes, can be divided into:

- shaped charges or perforator and
- linear shaped charge or cutter.

Shaped explosive charges with one dimension significantly larger than the other are called linear shaped charges. Linear shaped charges are used in various industries and are applied within specific technologies for metal cutting, such as demolition of steel structures, separating spent rocket tanks, demining, cutting holes in the barriers for fire service, etc.

According to existing theories and models efficiency of linear shaped charges depends on the kinetic energy of the jet which is proportional to square of jet velocity.

There are different equations for calculation of metal velocity accelerated by energy of explosive. For final velocity of different metal shapes accelerated by explosive energy Gurney model is used. Calculation of primary and secondary jet velocities are based on Birkhoff model and PER theory

The original method for measuring velocity of linear shaped charge jet is applied. Method is based on method for measuring detonation velocity of explosives. Measurements were carried out for two different liner materials, and the results are graphically presented, analysed and compared. Measurement results show a discrepancy in the measured velocity of the jet for different materials with the same ratio between liner and explosive mass (M/C) per unit of surface, which is not described by presented models.