

**PRIJEDLOG METODE PROCJENE MASE EKSPLOZIVA
PRILIKOM FORENZIČKE ANALIZE EKSPLOZIJE**

Saša Mićin

*Ekvator d.o.o. Banja Luka,
e-mail smicin@teol.net; tel. 00 387 65 837192*

Apstrakt: Definisane mjesta eksplozije, određivanje vrste i količine eksplozivne materije predstavljaju veoma značajne elemente u toku forenzičke analize eksplozije. Na osnovu ispoljenih efekata eksplozije u vidu oštećenja i rušenja različitih objekata koji se nalaze unutar zone dejstva udarnog talasa, moguće je izvršiti procjenu mjesta eksplozije i količinu eksplozivne materije. Najčešći izvori informacija ovakvog tipa su lomljenje staklenih površina i oštećenje objekata izrađenih od čvrstih materijala. U ovom radu je prikazan jednostavan matematički model proračuna količine eksploziva koji se zasniva na efektu lomljenja staklenih površina na različitim udaljenostima od centra eksplozije. Korišteni su Kingery-Bulmash – ov i Swisdak – ov izraz koji definišu zavisnost parametara udarnog talasa (maksimum inicijalnog rušeceg nadpritiska, maksimum reflektujućeg rušeceg nadpritiska, impuls inicijalnog rušeceg talasa, impuls reflektujućeg rušeceg talasa, brzinu i vrijeme kretanja udarnog talasa, vrijeme trajanja pozitivne faze pritiska) od udaljenosti od centra površinske eksplozije za eksplozivnu materiju TNT.

Ključne riječi : eksplozija, forenzička analiza

UVOD

Sa stanovišta kriminalističke forenzike, nekontrolisane, namjerne i incidentne eksplozije predstavljaju objekat forenzičke analize pri čemu se mogu razlikovati namjerne i incidentne eksplozije.¹

Forenzička analiza eksplozije ima za cilj obezbjeđivanje potrebnih informacija za sprovođenje istrage koje se odnose na motiv, priliku i sredstva, a u svrhu identifikacije počinioca, kao i obezbjeđenja potrebnih dokaza.

Osnovne informacije koje su vezane za motiv, priliku i sredstva su meta, žrtve i konstrukcija eksplozivne naprave.¹

Veoma bitan element konstrukcije eksplozivne naprave predstavlja vrsta, količina i geometrijski oblik upotrebene eksplozivne materije.

Kada se govori o namjernim eksplozijama, informacije u vezi sa vrstom i količinom eksplozivne materije daju mogućnost otkrivanja mjesta proizvodnje, kao i eventualnog počinioca, dok kod incidentnih eksplozija pružaju informacije u vezi sa uzrokom eksplozije i eventualno potrebne zaštitne mjere.²

U dostupnoj literaturi, prezentovani su podaci forenzičke analize eksplozije pretežno kvalitativnog karaktera^{3,4} pri čemu se težište analize odnosi na obradu prikupljenih ostataka neeksplozivne materije i mogućih ostataka eksplozivne naprave.^{3,5,6} U širem smislu riječi, eksplozija podrazumijeva veoma brz fizički, hemijski ili nuklearni proces promjene stanja nekog sistema, praćen prelazom njegove potencijalne energije u kinetičku energiju elementarnih čestica, odnosno, mehanički rad.⁷ Na osnovu mehanizma odvijanja eksplozivnog procesa, razlikujemo dva osnovna oblika eksplozije - sagorijevanje (deflagracija) i detonacija. Proces eksplozivnog razlaganja primarnih i sekundarnih eksplozivnih materija se odigrava putem mehanizma detonacije.

U procesu detonacije, eksplozivne materije potpuno ili pretežno prelaze u gasovite materije koje se u trenutku završetka procesa detonacije nalaze pod visokom temperaturom i pritiscima, odnosno, posjeduju veliku količinu unutrašnje energije na osnovu koje vrše odgovarajući rad nad okolinom. Usljed naglog širenja gasovitih produkata detonacije, dolazi do nastajanja

¹ nekontrolisane namjerne eksplozije predstavljaju nedozvoljenu upotrebu eksplozivnih materija za izazivanje eksplozija kao što su teroristički napadi, nedozvoljena upotreba eksplozivnih materija i sl.

² A. Beveridge, *Forensic Investigation of Explosions*, 2nd ed., Boca Raton, 2012.

³ M.M. van der Voort, M.M. et al., *Forensic analysis of explosions: Inverse calculation of the charge mass*, *Forensic Science international*, br. 252/2015, Amsterdam, str. 11–21.

⁴ J.T. Thurman, *Practical Bomb Scene Investigation*, 2nd ed., Boca Raton, 2011.

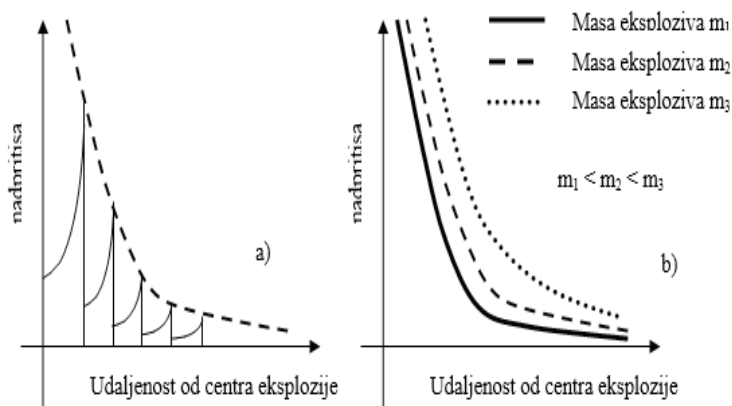
⁵ <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/181869.pdf> (10.05.2018.)

⁶ F.K. Gilbert, J.G. Kenneth, *Explosive Shocks in Air*, 2nd ed. New York, 1985.

⁷ U. Nyström, K. Gylltoft, *Numerical studies of the combined effects of blast and fragment loading*, *Int. J. Impact Eng.* br.36/2009, Amsterdam, str. 995–1005.

udarnog talasa koji se kreće u svim pravcima od centra eksplozije prema okolini i predstavlja prenos energije eksplozije na određeno rastojanje u vidu energije udarnog talasa i kinetičke energije gasovitih produkata detonacije.⁸

U osnovne parametre udarnog talasa nastalog eksplozijom, a koji zavise od vrste i količine eksplozivne materije, svrstavaju se maksimum nadpritiska inicijalnog udarnog talasa, maksimum nadpritiska reflektujućeg udarnog talasa, impuls inicijalnog udarnog talasa, impuls reflektujućeg udarnog talasa, brzina i vrijeme kretanja udarnog talasa i vrijeme trajanja pozitivne faze pritiska.



Slika broj 1. Zavisnost vrijednosti nadpritiska u odnosu a) na udaljenost od centra eksplozije b) na različite mase istog eksploziva

Slika 1. prikazuje zavisnost veličine nadpritiska udarnog talasa u odnosu na udaljenost od centra eksplozije (1a) i zavisnost nadpritiska u odnosu na različite mase istog eksploziva (1b).

U toku dosadašnjih istraživanja, prezentovano je više matematičkih izraza za određivanje vrijednosti nadpritiska udarnog talasa u zavisnosti od udaljenosti od centra eksplozije na osnovu teorijskih i eksperimentalnih podataka (tabela 1).

Tabela broj 1. Matematički izrazi za izračunavanje vrijednosti nadpritiska na frontu udarnog talasa

Аутор	израз	Реф.
Sadovski	$\Delta p = k_1 \frac{q^{\frac{1}{3}}}{r} + k_2 \frac{q^{\frac{2}{3}}}{r^2} + k_3 \frac{q}{r^3}$	8
Mays, Smith	$q_s = \frac{5 p_s^2}{2(p_s + 7 p_0)}$	9
Brode	$p_s = \frac{6,7}{Z^3} + 1[\text{bar}], p_s > 10 \text{ bar}$	10
	$p_s = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0,019[\text{bar}], 0,1 < p_s < 10 \text{ bar}$	11
Newmark, Hansen	$p_s = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \sqrt{\frac{W}{R^3}} [\text{bar}]$	11
Mills	$p_s = \frac{1772}{Z^3} + \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} - 0,019 [\text{kPa}]$	12
Kingery-Bulmash	$U = K_0 + K_1 \times \log Z$	13
	$Y = 10^{(C_0 + C_1 \times U + C_2 \times U^2 + \dots + C_N \times U^N)}$	14
Swisdak	$Y = e^{(A + B \times \ln Z + C \times (\ln Z)^2 + \dots + G \times (\ln Z)^6)}$	14
DooJin Jeon et al.	modifikacija Kingery-Bulmash – ove jednačine	15

Širenje udarnog talasa u okolinu uzrokuje rušeće dejstvo eksplozije pri čemu nadpritisak na frontu udarnog talasa predstavlja najvažniju karakteristiku i nalazi se u korelaciji sa količinom i vrstom eksploziva.⁸

Efekti dejstva udarnog talasa u najvećoj mjeri zavise od veličine nadpritisaka na frontu udarnog talasa. Na veličinu vrijednosti nadpritisaka osim udaljenosti od centra eksplozije, mase i vrste eksploziva veoma značajnu ulogu ima i položaj centra eksplozije u odnosu na objekte koji se nalaze u zoni dejstva udarnog talasa.¹⁷

U zavisnosti od mjesta eksplozije, kao i odnosa mjesta eksplozije prema objektima na koje se ispoljava uticaj udarnog talasa, može se izvršiti podjela tipova eksplozije na eksplozije bez ograničenja i eksplozije sa ograničenjem (tabela 2). Prikaz podjele tipova eksplozije sa karakterističnim eksplozivnim opterećenjem⁹ je prikazano u tabeli 2.







Ograničenje eksplozije ⁵	Kategorija	Karakteristike udarnog talasa (eksplozivnog opterećenja)	Napomena
Eksplozija bez ograničenja (prepreka)	Eksplozija u slobodnom vazduhu	Nereflektovan	Udarni talas se prostire od centra detonacije do objekta bez posrednog pojačavanja njenog talasa 
	Eksplozija u vazduhu	Reflektovan	Inicijalni udarni talas je pojačan sa talasom refleksije. Centar eksplozije se nalazi na udaljenosti od objekata koja iznosi 2 – 3 puta visine dvospratnih objekata (20-30 m). Visina tačke mahove trojne grane se nalazi iznad visine objekta 
	Površinska eksplozija	Reflektovan	Centar eksplozije je na površini. Inicijalni Udarni talas je pojačan reflektovanim talasom od površine 
Eksplozija sa ograničenjima (preprekama)	Eksplozija sa punim otvorom	Unutrašnji udarni talas Rasipanje udarnog talasa	
	Eksplozija sa djelomičnim ograničenjem	Unutrašnji udarni talas Rasipanje udarnog talasa Unutrašnji gas	
	Eksplozija sa punim ograničenjem	Unutrašnji udarni talas Unutrašnji gas	

Tabela broj 2. Podjela tipova eksplozije u odnosu na mjesto eksplozije i odnosa prema objektima na koje se ispoljava uticaj udarnog talasa¹⁰

⁸ Zona do izjednačavanja atmosferskog pritiska i nadpritisaka
⁹ Karakteristika eksplozivnog opterećenja u zavisnosti od mjesta eksplozije i uticaja na objekte u zoni uticaja eksplozije podrazumijeva rušeći efekat različitih vrsta udarnog talasa određenih prema načinu nastanka
¹⁰ United States Department of Defense (U.S DoD), *Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions; Report to Army Armament Research and Development Command vol. 4.*, Arlington County, 2008.

Između ostalih, rušeće dejstvo udarnog talasa se ispoljava u vidu oštećenja ili rušenja različitih objekata koji se nalaze u zoni uticaja udarnog talasa.

Jedan od najčešćih efekata dejstva udarnog talasa predstavlja lom staklenih površina kao što su prozori, staklena vrata, staklene fasade i sl.^{11, 12, 13} Takođe, informacije o veličini kratera, prečniku vatrene lopte te nastalim čvrstim fragmentima eksplozivne naprave mogu pružiti odgovarajuće informacije.

Na osnovu informacija u vezi sa efektima rušećeg dejstva udarnog talasa, razvijen je softverski alat¹⁴ pomoću koga je moguće izvršiti procjenu količine eksplozivne materije.³

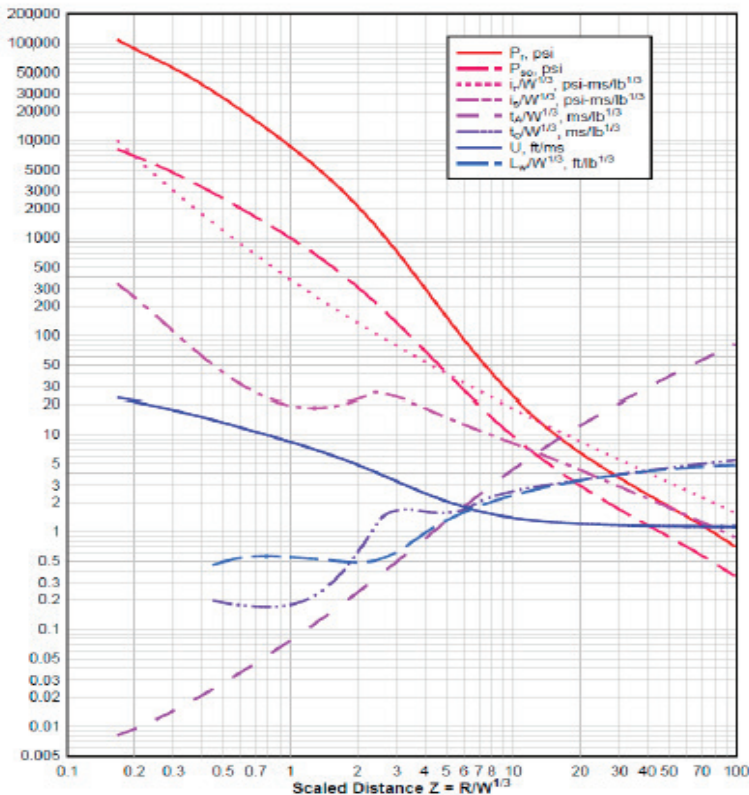
U dostupnoj literaturi, na osnovu empirijskih istraživanja, prikazane su grafički sa logaritamskom podjelom krive zavisnosti najvažnijih parametara udarnog talasa od odnosa udaljenosti od centra eksplozije (R) i mase eksploziva (W), pri čemu se za svaku vrijednost odnosa udaljenosti od centra eksplozije i mase eksploziva ($Z=R/W^{1/3}$) može odrediti vrijednost traženog parametra.¹⁹ Na slici 2. su prikazane krive zavisnosti parametara udarnog talasa nastalog površinskom eksplozijom TNT – a.

¹¹ S. O. Christensen, Ø.J.S. Hjort, Back Calculation of an explosive event using SDOF and CFD objavljeno u: *Abstracts books Military Aspects of Blast and Shock Symposium 22*, MABS, Bourges, 2012.

¹² J. Weerheijm, R.M.M. Van Wees, P.C.A.M. de Bruyn, J.W. Karelse, The fireworks disaster in enschede Part 1: Overview and reconstruction, *Science and Technology of Energetic Materials*, br. 63(6)/2002, Tokyo, str. 330-337

¹³ J. Weerheijm, R.M.M. Van Wees, P.C.A.M. de Bruyn, J.W. Karelse, The fireworks disaster in enschede Part 2: Safety & pyrotechnics, *Science and Technology of Energetic Materials*, br. 63(6)/2002, Tokyo, str. 338-344

¹⁴ TNO-IEA (TNO Inverse Explosion Analysis) – TNO inverzna analiza eksplozije



Slika broj 2. Krive zavisnosti različitih parametara udarnog talasa od odnosa udaljenosti od centra eksplozije (R) i mase eksploziva (W)¹⁹

Predložena metoda procjene mase eksploziva se zasniva na proračunu vrijednosti nadpritiska udarnog talasa pomoću izmjerenih vrijednosti udaljenosti između centra eksplozije i slomljenih staklenih površina te centra eksplozije i neoštećenih staklenih površina.

Predložena metoda procjene mase eksploziva se zasniva na proračunu vrijednosti nadpritiska udarnog talasa pomoću izmjerenih vrijednosti udaljenosti između centra eksplozije i slomljenih staklenih površina te centra eksplozije i neoštećenih staklenih površina.

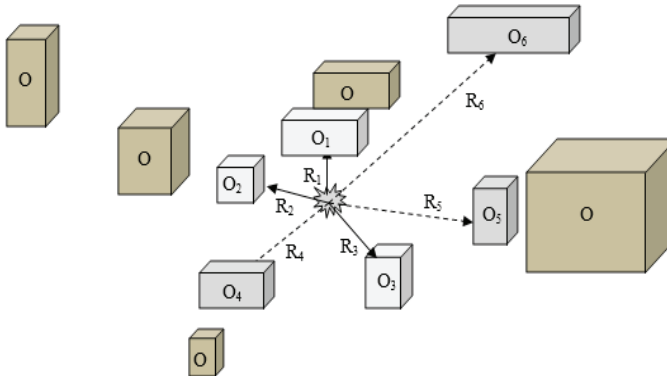
Metoda sadrži matematički algoritam proračuna količine eksploziva koji se zasniva na korištenju izmjerenih podataka udaljenosti, matematičkih izraza za izračunavanje vrijednosti nadpritiska u zavisnosti od udaljenosti od centra eksplozije definisanih korištenjem empirijskih i eksperimentalnih podataka i grafičkih prikaza krivih zavisnosti za različite parametre udarnog talasa, a koji

se odnose na kategoriju površinskih eksplozija, pri čemu su korišteni dostupni literaturni podaci.

METODA PROCJENE MASE EKSPLOZIVA

Imajući u vidu karakteristike udarnog talasa u zavisnosti od tipa eksplozije predložena metoda procjene mase eksploziva se odnosi na kategoriju površinskih eksplozija. Ovo podrazumjeva određeni model mjesta eksplozije i međusobnog odnosa centra eksplozije i objekata u zoni dejstva eksplozije.

Na slici 3. je grafički prikazan pretpostavljeni model mjesta površinske eksplozije u odnosu na okolne objekte na kojima su vidljivi rušeci efekti udarnog talasa, a koji je korišten za izradu predložene metode procjene mase eksploziva.



Slika broj 3. Grafički prikaz modela mjesta centra eksplozije u odnosu na okolne objekte, na kojima su prikazani objekti sa vidljivim rušecim efektima udarnog talasa u vidu lomljenja staklenih površina (O_1, O_2, O_3), objekte na kojima nije došlo do loma staklenih površina (O_4, O_5, O_6), objekte koji nemaju optičku vidljivost od centra eksplozije (O), udaljenosti slomljenih staklenih površina od centra eksplozije (R_1, R_2, R_3) i udaljenosti neoštećenih staklenih površina od centra eksplozije (R_4, R_5, R_6)

Vrijednosti $R_1, R_2,$ i R_3 predstavljaju udaljenost od centra eksplozije do pozicije gdje se nalazi lomljena staklena površina i izražava se u metrima (m), a vrijednosti $R_4, R_5,$ i R_6 udaljenost od centra eksplozije do pozicije gdje se nalaze neoštećena staklena površina i izražava se u metrima (m).

Važna karakteristika izmjerenih vrijednosti udaljenosti oštećenih i neoštećenih staklenih površina od centra eksplozije je optička vidljivost, odnosno, nepostojanje prepreka te definisanje najmanje jedne staklene površine na kojoj je došlo do loma i najmanje jedne površine na kojoj nije došlo do loma staklene površine.

Potrebno je pretpostaviti da se prilikom korištenja prikazanog matematičkog algoritma u svrhu forenzičke analize eksplozije koriste vrijednosti udaljenosti za lomljene staklene površine čiji je lom nastao kao posljedica nadpritiska udarnog talasa, kao i da uočene staklene površine (slomljene i neoštećene) posjeduju što veću sličnost fizičkih karakteristika (površina, debljina staklene površine i sl). Broj odgovarajućih ulaznih vrijednosti koji se koriste zavisno je od slučaja do slučaja.¹⁵ Za prikaz metode procjene mase eksploziva, pretpostavljeno je korištenje tri staklene površine na kojima je došlo do loma i tri staklene površine koje su neoštećene.

Korištene ulazne vrijednosti prikazane su u tabeli 3.

Tabela broj 3. Pregled ulaznih vrijednosti

Objekat	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆
Udaljenost objekta (staklene površine) od centra eksplozije (R _N)	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Pretpostavljena masa eksploziva (W _M)	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	
Lom staklene površine	+	+	+	-	-	-

Određivanje vrijednosti nadpritiska za ulazne vrijednosti udaljenosti i pretpostavljene vrijednosti količine eksploziva

Izračunavanje vrijednosti nadpritiska udarnog talasa se vrši pomoću izmjerenih vrijednosti udaljenosti staklenih površina (R_N, slomljenih i neoštećenih, tabela 3), krivih zavisnosti različitih parametara udarnog talasa od odnosa udaljenosti od centra eksplozije (R) i mase eksploziva (W), (slika 2) i pretpostavljenih vrijednosti mase eksploziva (W_M, tabela 3) korištenjem izraza:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (1)$$

¹⁵ Imajući u vidu mogućnosti različitih pozicija centra eksplozije i objekata, za svaki pojedinačan slučaj se vrši odabir staklenih površina (oštećenih i neoštećenih)

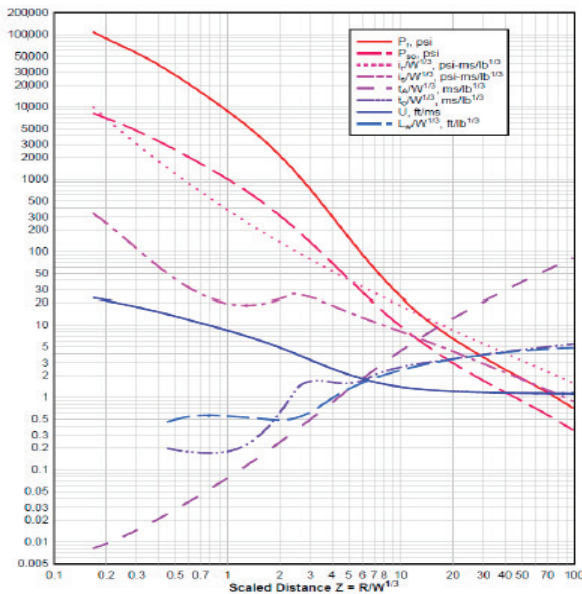
Izračunate vrijednosti Z za izmjerene vrijednosti udaljenosti od centra eksplozije (R) i pretpostavljene mase eksploziva (W) su prikazane u tabeli 4.

Tabela broj 4. Vrijednosti broja Z za vrijednosti udaljenosti od centra eksplozije R i pretpostavljene mase eksploziva W

	R_1	R_2	R_N
W_1	$Z_{R_1 W_1}$	$Z_{R_2 W_1}$		$Z_{R_N W_1}$
W_2	$Z_{R_1 W_2}$	$Z_{R_2 W_2}$		$Z_{R_N W_2}$
⋮	⋮	⋮		
⋮	⋮	⋮		
W_M	$Z_{R_1 W_M}$	$Z_{R_2 W_M}$	$Z_{R_N W_M}$

Određivanje vrijednosti nadpritiska udarnog talasa P_Z u zavisnosti od vrijednosti broja Z moguće je vršiti na dva načina.

Prvi način predstavlja direktno očitavanje vrijednosti nadpritiska pomoću krive zavisnosti za izračunate vrijednosti Z (tabela 4) koji je prikazan na slici 5



Slika broj 5. Prikaz određivanja vrijednosti nadpritiska P_Z u zavisnosti od izračunate vrijednosti Z pomoću krivih zavisnosti različitih parametara udarnog talasa od odnosa udaljenosti od centra eksplozije (R) i mase eksploziva (W)

x

Drugi način određivanja vrijednosti nadpritiska udarnog talasa u zavisnosti od vrijednosti broja Z može se vršiti pomoću matematičkog proračuna korištenjem izraza prikazanih u tabeli 1. Za matematički algoritam prikazan u ovom radu korišten je Swisdak – ov izraz:¹⁵

$$\ddot{U} = e^{(A+B \times \ln 3 + C \times (\ln 3)^2 + \dots + F \times (\ln 3)^6)} \quad (2)$$

Vrijednosti nadpritiska udarnog talasa u zavisnosti od vrijednosti broja Z , odnosno, udaljenosti od centra eksplozije i pretpostavljene mase eksploziva prikazane su u tabeli 5.

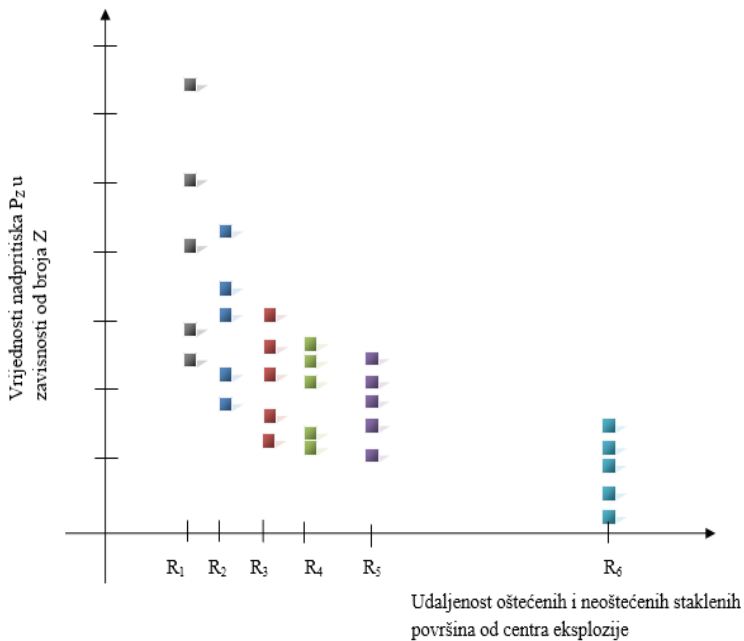
Tabela broj 5. Vrijednosti nadpritiska udarnog talasa P_Z u zavisnosti od broja Z

Vrijednosti broja Z u zavisnosti od R i W	$Z_{R_1W_1}$	$Z_{R_2W_1}$	$Z_{R_1W_2}$	$Z_{R_NW_M}$
Vrijednost nadpritiska za vrijednost broja Z	$P_{R_1W_1}$	$P_{R_2W_1}$	$P_{R_1W_2}$	$P_{R_NW_M}$

Određivanje oblasti traženog nadpritiska

Vrijednosti određenih nadpritisaka (tabela 5) predstavljaju vrijednosti nadpritiska udarnog talasa na određenoj udaljenosti R nastalog usljed detonacije pretpostavljene mase eksploziva W pri čemu se rušeci efekat uočava (lom staklene površine), odnosno, nije uočen (ne dolazi do loma staklene površine).

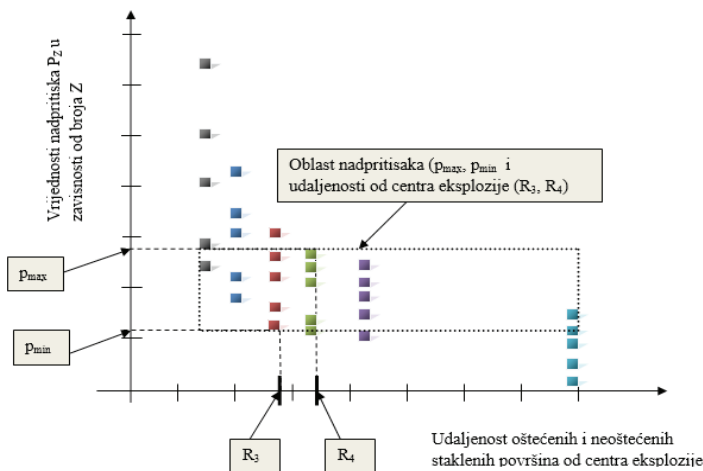
Izračunate vrijednosti nadpritiska na utvrđenim udaljenostima za različite pretpostavljene mase eksploziva grafički su prikazane na slici 6.



Slika broj 6. Grafički prikaz određenih vrijednosti nadpritiska udarnog talasa u zavisnosti od udaljenosti staklene površine od centra eksplozije za pretpostavljene vrijednosti mase eksploziva (tabela 5)

Može se pretpostaviti da su vrijednosti izračunatih nadpritiska za različite pretpostavljene mase eksploziva i za udaljenosti od centra eksplozije R_3 i manje prouzrokovale lomljenje staklenih površina (na osnovu terenskog uvida). Vrijednosti nadpritiska za udaljenosti od centra eksplozije R_4 i veće nisu prouzrokovale lom staklenih površina.

Tražena vrijednost nadpritiska se nalazi u oblasti između najmanje vrijednosti nadpritiska (za najmanju pretpostavljenu masu eksploziva $W1$) za udaljenost $R3$ i manje i najveće vrijednosti nadpritiska (za najveću pretpostavljenu masu eksploziva $W5$) za udaljenost $R4$ i veće (slika 7).



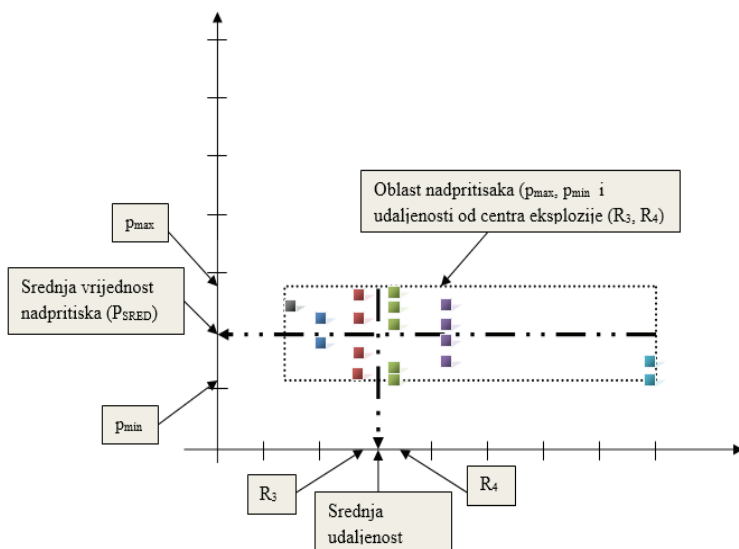
Slika broj 7. Grafički prikaz određivanja tražene oblasti nadpritisaka udarnog talasa

Računanjem srednje vrijednosti nadpritisaka koji se nalaze u navedenoj oblasti, kao i srednje vrijednosti zadnje udaljenosti pri kojoj dolazi do loma staklenih površina (R3) i vrijednosti prve udaljenosti pri kojoj ne dolazi do loma staklenih površina (R4) izmjerenih od centra eksplozije dobijaju se tražene srednje vrijednosti nadpritisaka (P_{SRED}) i udaljenosti (R_{SRED}). Vrijednosti nadpritisaka koje se koriste za izračunavanje srednje vrijednosti su tabelarno prikazane u tabeli 6 i grafički na slici 7.

Udaljenost od centra eksplozije	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Pretpostavljena masa eksploziva	Vrijednost nadpritisaka					
W ₁	P _{W1R1}	P _{W1R2}	P _{W1R3}	P _{W1R4}	P _{W1R5}	P _{W1R6}
W ₂	P _{W2R1}	P _{W2R2}	P _{W2R3}	P _{W2R4}	P _{W2R5}	P _{W2R6}
W ₃	P _{W3R1}	P _{W3R2}	P _{W3R3}	P _{W3R4}	P _{W3R5}	P _{W3R6}
W ₄	P _{W4R1}	P _{W4R2}	P _{W4R3}	P _{W4R4}	P _{W4R5}	P _{W4R6}
W ₅	P _{W5R1}	P _{W5R2}	P _{W5R3}	P _{W5R4}	P _{W5R5}	P _{W5R6}
Lom staklenih površina	+	+	+	-	-	-

Tabela broj 6. Pregled vrijednosti nadpritiska koje se koriste za izračunavanje srednje vrijednosti¹⁶

Udaljenost od centra eksplozije	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
Pretpostavljena masa eksploziva	Vrijednost nadpritiska					
W_1	P_{W1R1}	P_{W1R2}	P_{W1R3}	P_{W1R4}	P_{W1R5}	P_{W1R6}
W_2	P_{W2R1}	P_{W2R2}	P_{W2R3}	P_{W2R4}	P_{W2R5}	P_{W2R6}
W_3	P_{W3R1}	P_{W3R2}	P_{W3R3}	P_{W4R4}	P_{W3R5}	P_{W3R6}
W_4	P_{W4R1}	P_{W4R2}	P_{W4R3}	P_{W4R4}	P_{W4R5}	P_{W4R6}
W_5	P_{W5R1}	P_{W5R2}	P_{W5R3}	P_{W5R4}	P_{W5R5}	P_{W5R6}
Lom staklenih površina	+	+	+	-	-	-

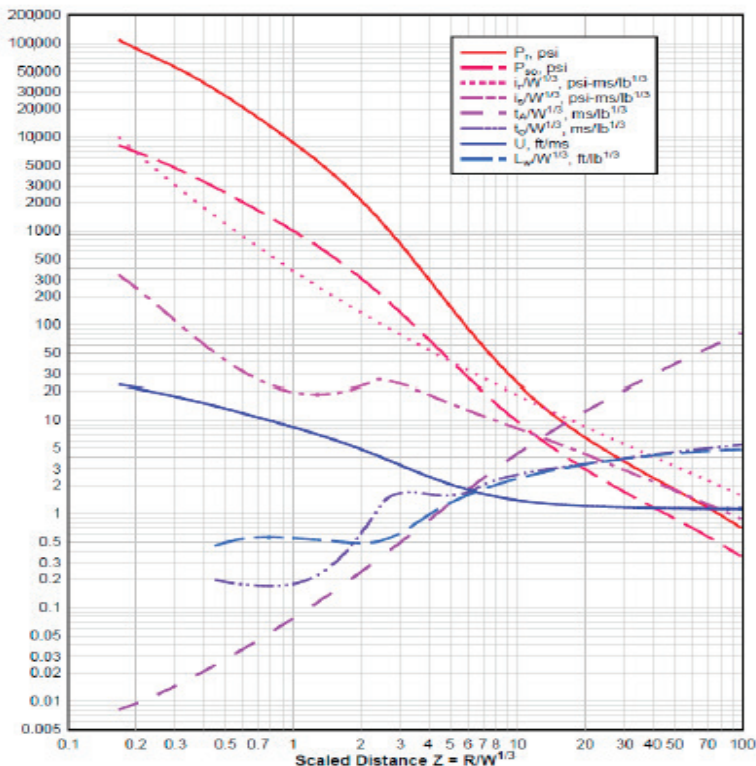


Slika broj 7. Grafički prikaz vrijednosti nadpritiska koje se koriste za izračunavanje srednje vrijednosti

Izračunavanje mase eksploziva za određenu srednju vrijednost nadpritiska

¹⁶ Zatamnjena polja pokazuju vrijednosti nadpritiska koji se koriste prilikom izračunavanja srednje vrijednosti

Korištenjem određene srednje vrijednosti nadpritiska (P_{SRED}) i krive zavisnosti parametara udarnog talasa vrši se određivanje vrijednost broja Z_{SRED} (slika 8).



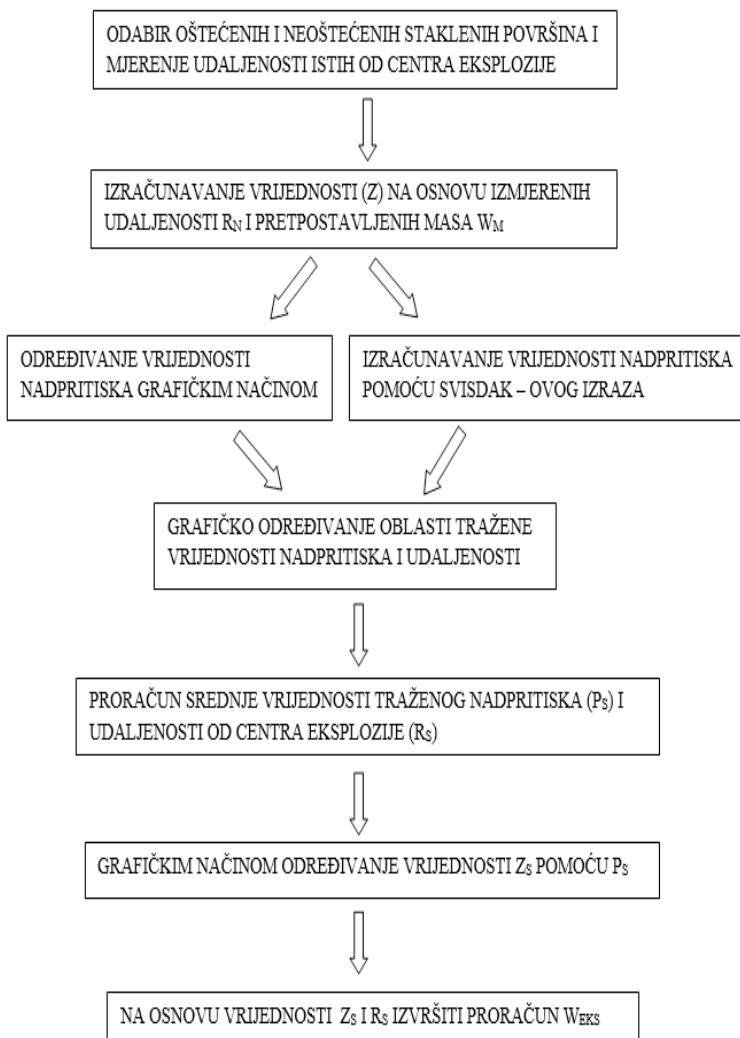
Slika broj 8. Prikaz određivanja vrijednosti Z_{SRED} u zavisnosti od izračunate vrijednosti P_{SRED} pomoću krivih zavisnosti različitih parametara udarnog talasa od odnosa udaljenosti od centra eksplozije (R) i mase eksploziva (W)

Na osnovu određenog broja Z_{SRED} i srednje vrijednosti udaljenosti od centra eksplozije R_{SRED} , vrši se izračunavanje mase eksploziva W_{EKS} pomoću izvedenog izraza iz jednačine (1):

$$H_{EKC} = \left(\frac{P}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \tag{3}$$

Vrijednost W_{EKS} predstavlja masu eksploziva TNT – a ili količinu nepoznatog eksploziva koja je ekvivalentna izračunatoj masi eksploziva TNT – a.

Na slici 9. je prikazan algoritam predložene metode procjene mase eksploziva.¹⁷



Slika broj 9. Algoritam metode za procjenu mase eksploziva

¹⁷ odabir vršiti na način da je lom staklenih površina prouzrokovan usled rušecjeg dejstva udarnog talasa, optička vidljivost između centra eksplozije i odabranih staklenih površina, slične karakteristike staklenih površina (debljina stakla, vrsta stakla, jednake ili približno jednake veličine staklenih površina), prema mogućnostima na mjestu događaja odabir staklenih površina vršiti na način da su udaljenosti pojedinih staklenih površina međusobno što je moguće manje

Prilikom izrade modela procjene mase eksploziva korišten je softverski alat Excel 2007 pomoću kojeg je vršena provjera uticaja pretpostavljene mase eksploziva na rezultate proračuna W_{EKS} .¹⁸

ZAKLJUČAK

Određivanje vrste i količine eksplozivne materije predstavlja veoma značajan element forenzičke analize eksplozije. Količina i vrsta eksplozivne materije u značajnoj mjeri uslovljavaju karakteristike udarnog talasa nastalog detonacijom. Među najvažnije karakteristike se svrstava nadpritisak udarnog talasa na frontu rasprostiranja, a koji za posljedicu ima rušeće dejstvo koje se ispoljava na objektima koji se nalaze unutar zone dejstva udarnog talasa. Na osnovu ispoljenih efekata eksplozije u vidu oštećenja i rušenja različitih objekata koji se nalaze unutar zone dejstva udarnog talasa, moguće je izvršiti procjenu mjesta eksplozije i količinu eksplozivne materije. Najčešći izvori informacija ovakvog tipa su lomljenje staklenih površina i oštećenje objekata izrađenih od čvrstih materijala.

Moguća primjena predložene metode se odnosi na eksplozije površinskog tipa pri čemu se, kao ulazni podaci, koriste izmjerene udaljenosti od centra eksplozije do oštećenih i neoštećenih staklenih površina. Važne karakteristike ovih ulaznih podataka predstavljaju optička vidljivost između tačaka mjerenja, korištenje vrijednosti udaljenosti za oštećene staklene površine čije oštećenje je nastalo isključivo usljed djelovanja nadpritisaka udarnog talasa te korištenje podataka za staklene površine istih ili sličnih mehaničkih karakteristika.

Dobijene vrijednosti mase eksploziva korištenjem prikazane metode predstavljaju procjenu mase eksploziva, uzimajući u obzir da u realnim situacijama nije moguće u maksimalnoj mjeri ispuniti potrebne uslove, odnosno, dio korištenih ulaznih podataka čine pretpostavljene mase eksploziva.

Prednosti korištenja predložene metode procjene mase eksploziva se ogledaju u jednostavnosti, relativno brzom dobijanju tražene informacije, odgovarajućim nivoom tačnosti i time što ne postoji potreba za visoko specijalizovanim softverom.

Prilikom forenzičke analize eksplozije, rezultati dobijeni korištenjem predložene metode, a u korelaciji sa ostalim podacima koji se koriste, mogu obezbijediti potreban nivo traženih informacija.

¹⁸ Razlika rezultata na osnovu dvije serije pretpostavljenih masa eksploziva (prva serija 0, 5, 1, 3, 5, 10 kg i druga serija 20, 40, 120, 360, 500 kg) i identičnih vrijednosti udaljenosti od centra eksplozije iznosila je 17%

LITERATURA:

1. Beveridge, A., *Forensic Investigation of Explosions*, 2nd ed, Boca Raton, 2012.
2. Brode, H. L., Numerical solutions of spherical blast waves, *J. Appl. Phys*, br. 26/1955, College Park, Maryland, str. 766–775.
3. Christensen, S. O. ; Hjort, Ø.J.S., *Back Calculation of an explosive event using SDOF and CFD objavljeno u Abstracts books Military Aspects of Blast and Shock Symposium 22*, MABS, Bourges, 2012.
4. Doo Jin Jeon et all. (2017). Modified Equation of Shock Wave Parameters, *Computation*, br. 5,(41)/2017, Basel, str. 1-14
5. Gilbert, F. K.; Kenneth, J. G., *Explosive Shocks in Air*, 2nd ed, New York, 1985.
6. Jeremić, P., *Eksplorzije i eksplozivni*. Beograd, 2007.
7. Kingery, C. N.; Bulmash, G., *Air Blast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst*; Ballistic Research Laboratories: Aberdeen, Maryland, 1984.
8. Mays, G. C., Smith P.D., *Blast Effects on Buildings*, 2nd ed., London, 2009.
9. Mills, C.A., The design of concrete structure to resist explosions and weapon effects, In Proceedings of the 1st International Conference on Concrete for Hazard Protections, Edinburgh, UK, 1987, str. 61–73.
10. Nyström, U.; Gylltoft, K., Numerical studies of the combined effects of blast and fragment loading, *Int. J. Impact Eng.* br.36/2009, Amsterdam, str. 995–1005.
11. National Institute of Justice, US Department of Justice, A guide for explosion and bombing scene investigation Research Report. Preuzeto 10. 5. 2018. sa sajta <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/181869.pdf>.
12. Newmark, N. M.; Hansen, R.J., *Design of blast resistant structures. In Shock and Vibration Handbook*, New York, 1961.
13. Sadovskii, M. A., *The Mechanical action of air Blast Waves Experimental data, in Physics of Explosions*, Moscow, 1952.
14. Swisdak, M. M., Jr. *Simplified Kingery Airblast Calculations*, Indian Head, 1994.
15. Thurman, J. T., *Practical Bomb Scene Investigation*, 2nd ed, Boca Raton, 2011.
16. United States Department of Defense (U.S DoD). (2008). *Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions; Report to Army Armament Research and Development Command vol. 4*, Arlington County, 2008.
17. Van der Voort, M.M. et all, Forensic analysis of explosions: Inverse

- calculation of the charge mass, *Forensic Science international*, br. 252/2015, Amsterdam, str. 11–21.
18. Weerheijm, J., Van Wees, R.M.M, de Bruyn, P.C.A.M., Karelse, J.W., The fireworks disaster in enschede Part 1: Overview and reconstruction, *Science and Technology of Energetic Materials*, br. 63(6)/2002, Tokyo, str. 330-337
 19. Weerheijm, J., Van Wees, R.M.M., de Bruyn, P.C.A.M., Karelse, J.W., The fireworks disaster in enschede Part 2: Safety & pyrotechnics, *Science and Technology of Energetic Materials*, **br. 63(6)/2002, Tokyo, str. 338-344**

PROPOSAL FOR METHODS OF ESTIMATES OF MASS OF EXPLOSIVES IN A FORENSIC ANALYSIS EXPLOSION

Sasa Micin

Ekvator d.o.o. Banja Luka,

e-mail smicin@teol.net; tel. 00 387 65 837192

Abstract: Defining the site of the explosion, the determination of the type and quantity of the explosive substance are very important elements in the course of the explosion of forensic analysis. On the basis of expressed explosion effects in the form of damage and demolition of various buildings that are located within the zone under shock waves it is possible to estimate the amount of explosions and explosive materials. The most common sources of information of this type are breaking the glass surface and damage to buildings made of solid materials. This paper presents a simple mathematical model for calculating the quantity of explosives which is based on the effect of broken glass surfaces at different distances from the center of the explosion. Were used Kingery-Bulmash - s and Swisdak - s expression that defines dependence of the parameters of the shock wave (the maximum initial blast overpressure, the maximum of the reflective blast overpressure, the impulse of the initial blast overpressure, the impulse of the reflective blast overpressure, the velocity and arrival time of the shock wave, the duration of the positive phase pressure) of distance from the surface explosion of an explosive substance TNT.

Keywords: Explosion, Forensic analysis