

VPLYV TVARU NÁLOŽE A TYP VÝBUŠNEJ LÁTKY NA ŠÍRENIE TLAKOVEJ VLNÝ

INFLUENCE OF EXPLOSIVES CHARGE SHAPES AND EXPLOSIVE TYPE ON BLAST WAVE PROPAGATION

Lucia FIGULI¹, Zuzana ZVAKOVÁ², Štefan JANGL³, Vladimír KAVICKÝ⁴

SUMMARY:

The purpose of the paper is to investigate the influence of geometry of charges on the propagation of blast waves. Various shapes charges (cylinder, sphere, irregular shape) such as various type of explosives were used in the field tests. The main type of explosive, homemade ANFO (Ammonium nitrate + fuel oil), was used as the most common used explosives in improvised explosive devices used in terrorist attacks. Characteristics of homemade and industrially made ANFO explosives are different. There were comparing charges of various type of industrially produced types of explosives and homemade explosive in the field tests. The blast wave propagation were investigated and compared.

KEYWORDS: blast wave propagation, field test, blast wave, blast pressure, ammonium nitrate and fuel oil explosives, critical infrastructure

ÚVOD

Hrozba terorizmu v civilnom sektore sa za posledné dva roky opätovne zvýšila. Aj keď sa teroristi viac zameriavajú na útoky s použitím chladných a palných zbraní, zostávajú NVS (nástražný výbušný systém) stále výraznou hrozbou pre svet. Predkladaný článok je zameraný na analýzu tvaru NVS náloží použitých pri bombových atakoch a vplyv rôznych tvarov náloží a ich druhu na šírenie sa tlakovej vlny vznikajúcej pri výbuchu. Vplyv tlakovej vlny na objekty, či už existujúce alebo novo navrhované má veľkú dôležitosť v moderných konštrukciách či už pozemného alebo podzemného staviteľstva [1]. Odozva konštrukcií zaťažených tlakovou vlnou je veľmi významná pri ochrane objektov kritickej infraštruktúry a iných strategických objektov. Dopravná infraštruktúra je často volená ako potenciálny cieľ teroristických aktivít a to hlavne z dôvodu veľkého počtu ľudí (masovosti), ktorí sú predvídateľne koncentrovaní (časom a priestorom) na

určitom mieste. Každá organizovaná teroristická = protispoločenská akcia má potenciál spôsobiť rozsiahle straty na životoch, zdraví a majetku, ale aj vyvolať negatívny psychologický efekt na spoločnosť. Jedným z najdeštruktívnejších dôsledkov pôsobenia teroristických skupín je použitie výbušných prostriedkov a systémov. Ich následky sú často fatálne a preto je nutné poznať mechanizmus ich šírenia a spôsoby, ako pred nimi ochrániť nielen ľudí, ale aj objekty dopravnej infraštruktúry.

Vojenské brizantné trhavy na báze TNT, pentrit, hexogén sú využívané hlavne v priestoroch, kde sú súčasné konflikty (Irak, Sýria, Afganistan, Ukrajina a pod) [2]. Tam je potrebné vnímať bezpečnostné opatrenia na úrovni vojenského konfliktu a riešiť ich pomocou vojenských noriem STANAG a MIL. V civilnom sektore a v civilizovaných krajinách je, prijatá legislatíva a sú nastavené kontrolné mechanizmy, ktoré použitie týchto typov výbušnín znižuje na minimum a preto sa

¹ Lucia Figuli, Ing. PhD., Žilinská univerzita, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, +421 41 513 6615, lucia.figuli@fbi.uniza.sk.

² Zuzana Zvaková, Ing., Žilinská univerzita, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, +4210510513 6668, zuzana.zvakova@fbi.uniza.sk.

³ Štefan Jangl, Ing. PhD., Žilinská univerzita, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, +421 513 6659, stefan.jangl@fbi.uniza.sk.

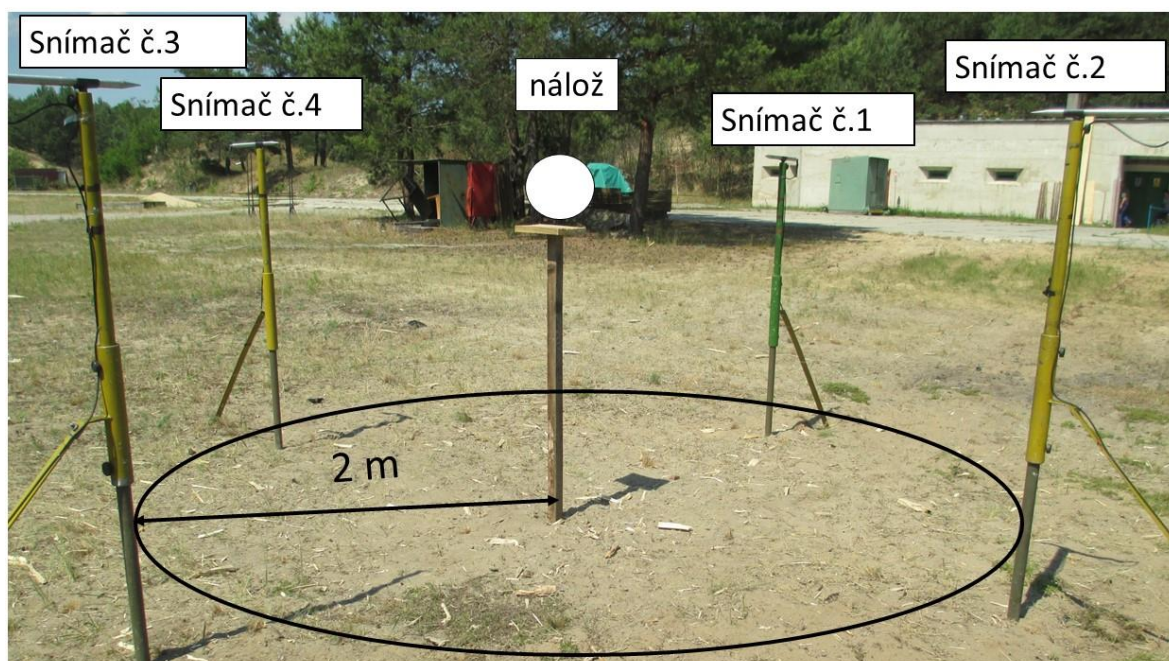
⁴ Vladimír Kavický, Ing. PhD., Žilinská univerzita, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, kavicky@gmail.com – externý spolupracovník.

teroristi uchylujú k používaniu doma namiešaných výbušnín a to hlavne dusičnan amónny a jeho možné modifikácie. Takýmto typom výbušnín však vedecká literatúra venuje veľmi málo. Teória vo všeobecnosti vychádza z výsledkov TNT a následnej predikcie. Z hľadiska stanovovania bezpečnostných opatrení sa však javí tento spôsob ako veľmi všeobecný, nerealistický. My sme sa preto v našej práci zamerali na komparáciu výsledkov získaných pri meraní TNT a hexogénu a hodnôt získaných pri meraní doma namiešaných výbušnín na báze dusičnanu amónneho. Vzhľadom na skutočnosť, že pri podomácky vyrobených výbušninách je veľmi veľa premenných (kvalita liadku, kvalita miešania, hustota, pórovitosť, molekuly vody v materiáli a pod.) snažili sme sa vytvoriť čo najreálnejší typ náloží a nedržať sa teoretických zidealizovaných postupov. Čo sa týka tvaru náloží, v reálnom svete nie je predpoklad kompaktnej guľovej náložie a jej stredovej iniciácie, nie je však ani predpoklad, že by bolo možné považovať nálož za tiahu t.j. pomer šírky a dĺžky je väčší ako päť. V reálnej situácii je tvar náloží rôzny a prispôbuje sa obalu NVS (športová taška, kufor, vesta,

prípadne rozloženie vo vozidle) sa viac blíži k guľovej náložii [3].

1. EXPERIMENTÁLNE MERANIE

Pre zistenie reálneho vplyvu tvaru náložie a druhu výbušnej látky boli vykonané viaceré experimentálne merania v spolupráci s Vojenským technickým a skúšobným ústavom na Záhorí (VTSÚ Záhorie). Metodológia postupu merania je v súlade s predpisom [4]. Jednotlivé náložie boli umiestnené na drevenom stojane vo výške 1,6 m nad zemou, tak aby to zodpovedalo výške ľudského hrudníka. Senzory boli vzdialené vo vzdialenosti 2 metrov od uloženia náložie (viď. obr. 1) v štyroch navzájom kolmých smeroch. Maximálny pretlak bol zaznamenávaný použitím snímačov 137A23 a 137A24 PCB Piezotronics. Orientácia všetkých snímačov bolo šípovým zakončením smerom k epicentru výbuchu. Okrem maximálneho pretlaku bol zaznamenávaný aj hluk a klimatické podmienky (teplota, tlak). Podložie v priestoroch experimentálnych meraní bolo pieskové bez nerovností.



Obrázok 1. Rozmiestnenie snímačov

2. TYP POUŽITÝCH VÝBUŠNÝCH LÁTOK

V experimentálnych meraniach bolo použitých viacero typov výbušných látok a zmesí. Ako verifikačná nálož bola použitá TNT. Ďalej boli

namiešané a použité dva typy podomácky pripravených výbušnín tzv. DAP (dusičnan amónny a palivo). Zmes bola zhotovená použitím 33,5 % dusičnanu amónneho určeného ako hnojivo v poľnohospodárstve

s pridaním motorového oleja, ktorý tvoril 5% hmotnosti. Na porovnanie boli odskúšané dva typy tradičných vojenských trhavín hexogén a pentrit. Nálože boli jednotnej hmotnosti a to

980 g + 20 g iniciačnej trhaviny PLNp10. Spolu bolo vykonaných trinásť odpalov, ale bohužiaľ len osem z nich bolo zaznamenaných kompletne, t.j. vo všetkých štyroch smeroch.

Tabuľka 1

Tvar a rozmery použitých vzoriek v experimentálnych meraniach

Tvar	Typ výbušniny	Rozmery [mm]
kváder	TNT	100x100x75
valec	hexogén	Ø80x185
	DAP	Ø 80x210
	liadok	Ø 80x320
guľa	Hexogén, pentrit	Ø 110

3. TVAR SKÚŠANÝCH NÁLOŽÍ

Pre zisťovanie vplyvu tvaru nálože na šírení tlakovej vlny boli v experimentálnych meraniach odskúšané tri základné typy tvarov a to guľa, valec a kváder. Pre zachovanie guľového tvaru boli vyrobené škrobové papierové gule do ktorých bola nasýpaná výbušná látka do polovice objemu, do ktorej bola vložená rozbuška a následne zasýpaná do požadovanej hmotnosti. Valcové nálože boli zhotovené z kartónových valcových obalov, ktorých dĺžka závisela od objemovej hmotnosti

trhaviny, tak aby bola zachovaná rovnaká hmotnosť skúšobných vzoriek. Tvar TNT nálože (kváder) vychádzal z rozmerov piatich 200 gramových náložiek.

Materiál obalu bol vybraný tak, aby jeho fyzikálne vlastnosti neovplyvňovali výsledok šírenia tlakovej vlny. Pri guľových náložkách sa jednalo o symetrický centrický odpal, valcové nálože boli odpálené asymetricky (s rozbuškou umiestnenou k jednému kraju valcovej nálože a pri TNT sa jednalo o umiestnenie rozbušky v strede vrchnej 200 g náložky.



Obrázok 2. Rôzne tvary použitých náloží

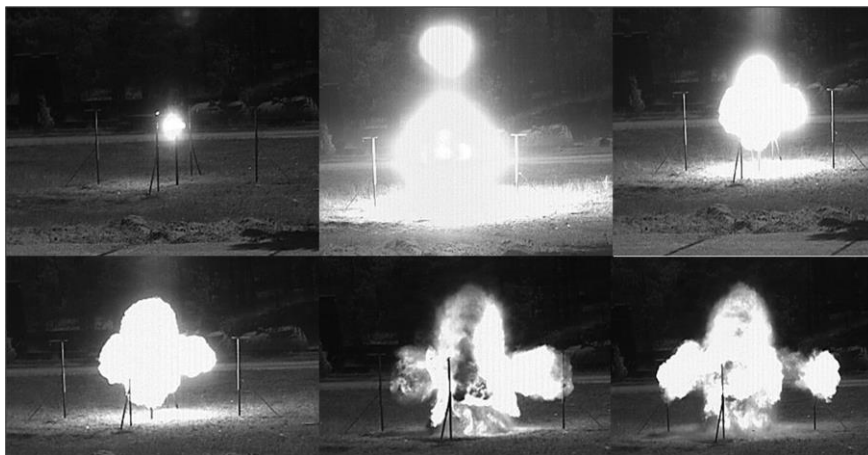
4. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

Spoločne bolo vykonaných 13 odpalov: jedna nálož v tvare kvádra (TNT), dve valcové nálože

čistého liadku (dusičnanu amónneho), štyri valcové nálože typu DAP, tri guľové nálože hexogénu a jedna guľová nálož pentritu. Ako už bolo spomenuté, len osem meraní sa podarilo zaznamenať kompletne vo všetkých

štyroch smeroch, troch rôznych typov výbušných zmesí. Záznam pentritu a čistého liadku nebol kompletný. V prípade dusičnanu

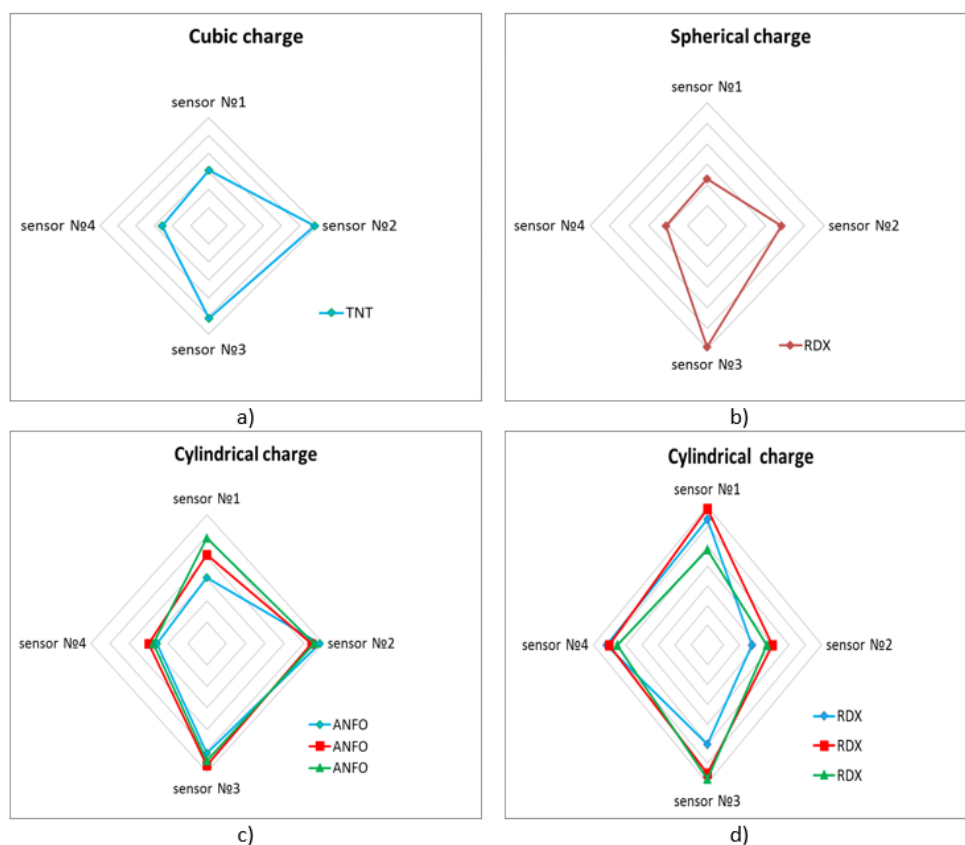
amónneho detonácia nebola kompletná a časť liadku bola roztrúsená do okolia v okruhu asi 3,5 m od centra explózie.



Obrázok 3. Postup šírenia tlakovej vlny zaznamenananej rýchlobežnou kamerou

Pri výbuchu výbušnej látky sa vytvorí tlaková vlna. Jej vznik a šírenie tlakovej vlny bolo zaznamenané rýchlobežnou kamerou a je možné ju pozorovať na obrázku 3. Šírenie

tlakovej vlny v závislosti od druhu výbušnej látky a tvaru nálože je znázornené na obrázku 4. Z bezpečnostných dôvodov nie je možné publikovať podrobné namerané hodnoty.



Obrázok 4. Šírenie tlakovej vlny v závislosti na type a tvare nálože

ZÁVER

Z hodnôt tlaku a priebehu detonácie skúšaných doma vyrobených – DAP výbušnín je možné predpokladať, že pri meraní došlo len k procesu deflagrácie alebo neúplnej detonácie. Napriek tejto skutočnosti sa výsledné tlaky výrazne nelíšili od matematických predpokladov, čo je pre oblasť bezpečnostného manažmentu výrazné pozitívne zistenie. Páchatel' takéhoto činu síce nemusí mať dokonale pripravenú výbušninu ale postačuje mu samostatný liadok alebo neprofesionálne pripravená výbuššina na dosiahnutie ním stanovených cieľov.

V oblasti tvaru nálože, je možné skonštatovať, že akokoľvek sme sa snažili o vytvorenie homogénneho tvaru guľovitej nálože ako správneho tvaru, nebolo to možné. Hodnotové rozdiely pretlakov pri výbuchu nedokonale guľovitej a voľne sypanej nálože nepravidelného tvaru sú z hľadiska hodnotenia úrovne bezpečnosti zanedbateľné. V realite, žiadny páchatel' trestného alebo teroristického činu nebude vyrábať presne tvarovanú guľovitú nálož. Sám spravidla pri umiestnení nevie aký smerový účinok nálož bude mať. Stačí omylom alebo v strese uložiť tašku

opačne a účinok môže byť namiesto výrazného minimálny. Technicky je tato skutočnosť riešiteľná jednoduchším spôsobom s väčšou istotou usmernenia výbuchu. Z dôvodu bezpečnosti však túto skutočnosť nebudeme v práci rozoberať.

Namerané hodnoty môžu byť ovplyvnené skutočnosťou, že v mieste umiestenia senzorov t.j. 2 m vzniká Machova vlna, ktorá po odraze od zeme stúpa do výšky umiestnenia senzorov. Táto vzdialenosť bola zvolená v priamej úmERE k náloži ako najnebezpečnejšie miesto poškodenia resp. zranenia osôb z dôrazom na súčet vektorov pretlakov. Hoci dochádza k súčtu vektorov dvoch pretlakov namerané hodnoty sa výrazne nelíšia od štandardne napočítaných hodnôt. Je preto zrejmé, že používané vzorce z oblasti fyziky výbuchu sú pre hodnotenie úrovne bezpečnosti a ohrozenia osôb a objektov dostatočné a vhodné.

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA č.1/0240/15 s názvom „Procesný model riadenia bezpečnosti kritickej infraštruktúry v sektore doprava“

LITERATÚRA

- [1] Kravtsov, A., Procházka, P., Lok, Tat Seng. *Assessment of Laminated Cylindrical Arch Loaded by a Shock Wave*. In: International Journal of Protective Structures. 2011, vol. 2, no. 2, p. 267-282. ISSN 2041-4196. 2011.
- [2] Kavický, V. - Jangl, Š. – Gašpíerik, L.: *Terorizmus hrozba doby*. Citadella, Bratislava, 2015.
- [3] Jangl, Š, Kavický, V. *Ochrana pred účinkami výbuchov výbušnín a nástražných výbušných systémov*. Oščadnica: Jana Kavická-KAVICKÝ, 2012.
- [4] ITOP 4-2-822: *Electronic Measurement of Airblast Overpressure and Impulse Noise*. 2000.