

METODY OSVĚTLENÍ VYSOKORYCHLOSTNÍCH JEVŮ

Tomáš Trtík, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
tomas.trtik@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Príspevek prezentuje testování možných způsobů osvětlení scény při detonaci výbušných látek. Práškový hliník o hmotnostech 75 g, 150 g, 300 g a argon, který byl naplněn do lahve s vnitřním přetlakem 1 bar, byl testován jako zdroj osvětlení v experimentu. Trhavina (Trinitrotoluen) o hmotnosti 75 g byla použita pro iniciaci všech zdrojů osvětlení. Príspevek prezentuje výsledky testů - zpoždění mezi zapálením světelného zdroje a hlavní detonací, intenzitu osvětlení pro testované varianty a hodnotí výhodnost testovaných výbušnin pro osvětlení scény zachycené vysokorychlostní kamerou. Experiment prokázal, že hliníkový prášek je stabilní zdroj světla, který lze přesně dávkovat. Optimální dobu prodlevy mezi zažehnutím osvětlovací látky a hlavní detonací lze stanovit na 8 ms.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hliníkový prášek • Argon • Benzín • Osvětlení • Vysokorychlostní kamera

ABSTRACT

The paper presents testing of possibilities of lighting of the scene at detonation with explosive agents. Aluminum powder of 75 g, 150 g, 300 g and argon, which was filled into a bottle with an internal overpressure of 1 bar, was tested as a light source in the experiment. An explosive (Trinitrotoluene) weighing 75 g was used to initiate all light sources. Paper presents results of the tests – delay between ignition of light source and the main detonation, intensity of lighting for tested variants, and evaluates convenience of tested explosive agents for illuminating of the scene captured by high-speed camera. The experiment showed that aluminum powder is a stable light source that can be accurately dosed. The optimal delay time between the ignition of the light source and the main detonation can be set to 8 ms.

KEYWORDS

Aluminum powder • Argon • Petrol • Lighting • High-speed Camera

1. ÚVOD

Dnešní vysokorychlostní kamery se používají k záznamu vysokorychlostních jevů nebo k zachycení velmi krátkých časových úseků, které není možné pozorovat pouhým okem, případně obyčejnou kamerou. Běžná snímávací frekvence se pohybuje v řádech desetitisíců snímků za vteřinu, pro speciální aplikace snímávací frekvence překračuje milion snímků za vteřinu. Při následném zpomaleném přehrávání můžeme analyzovat chování okolí v místě výbuchu nálože, tak deformace konstrukcí vystavených rázovým vlnám a šíření samotné rázové vlny.

Před samotným začátkem pořizování záznamu musíme vědět, jaký děj chceme pozorovat a tomu podřídít scénu, objektiv, nastavení kamery a v neposlední řadě výběr vhodného osvětlení. Při plném využití kamery musíme často volit kompromis mezi rozlišením obrazu, frekvencí snímání a světelností obrazu. Do úvahy musíme vzít i proměnlivé podmínky scény během natáčení. Při výbuchu trhaviny se obraz značně přesevřtí vůči výchozímu stavu, což musí být zohledněno při nastavení objektivu a kamery, aby byl požadovaný jev zřetelně, správně a v co možná nejlepší kvalitě zachycen.

1.1. Motivace

Důležitým sledovaným jevem při měření odolnosti proti výbuchu je rozvoj trhlin. Hlavní trhliny vznikají na opačné straně panelu, než je umístěna trhavina (obrázek 1).

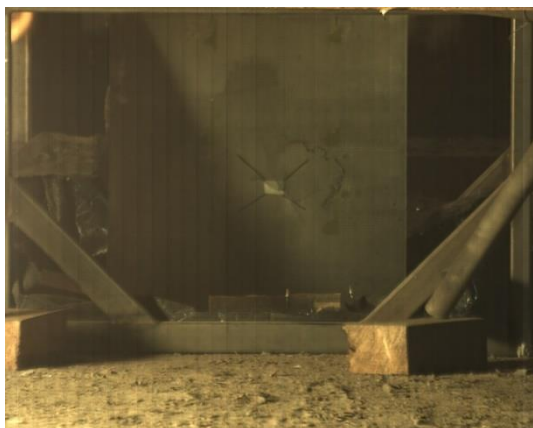


Obrázek 1: Záběr při detonaci. V levé části je primární zdroj osvětlení – hliníkový prášek

* Školitel: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Aby bylo možné tento rozvoj trhlin sledovat a nebyla kamera ohrožena odletujícími kusy panelu, používá se pro snímání spodního povrchu panelu nakloněné zrcadlo, které přenáší obraz. Obrazový záznam rozvoje trhlin slouží k porovnání s numerickým modelem (Obrázek 2). Rozvoj trhlin při výbuchu je velmi rychlý děj, který je nutné sledovat s vyšší snímkovací frekvencí než běžné obrazové záznamy. Vyšší snímkovací frekvence však klade větší nároky na světelné podmínky. Přestože natáčení probíhá mnohdy za plného slunečního osvětlení, je nutné zvolit jiný primární zdroj osvětlení. Při výbuchu trhliny dojde k částečnému přisvětlení, které je ovšem nedostatečné.

Betonové panely byly osvětlovány hliníkovým práškem. Ve vzdálenosti 1,6m od betonového panelu bylo umístěno 150g hliníkového prášku a 150g semtexu, kterým byl hliník zapálen. Veškeré zkoušky byly osvětleny tímto způsobem. Hliníkový prášek musel v době detonace hlavní nálože a v době rozvoje trhlin poskytovat maximální možné osvětlení na sledované straně panelu. Správné načasování prodlevy mezi zažehnutím osvětlovací látky a hlavní detonací je velmi složité a je nutné se tomuto tématu podrobně věnovat.



Obrázek 2: Záběr na rozvoj trhlin

Betonové panely, které byly testovány na odolnost proti výbuchu trhliny, byly podnětem pro experiment, který detailněji zkoumá možnosti osvětlení, intenzitu časový průběh pro různé druhy osvětlovacích látek.

2. EXPERIMENT – ZDROJE OSVĚTLENÍ

2.1. Hliníkový prášek

Hliníkový prášek je materiál, který při hoření vydává vysoký světelný výkon. Na rychlost hoření má vliv jemnost mletí použitého hliníku. Sítový rozbor použitého hliníku je uveden v Tabulce 1 a vlastnosti použitého hliníku jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 1: Sítový rozbor hliníkového prášku

Zbytek na sítu	Zůstatek
0.1 μm	0.81 %
0.063 μm	25.14 %
0.045 μm	48.67 %
Propad pod 0.045 μm	51.33 %

Tabulka 2: Vlastnosti hliníkového prášku

Specifikace	Hodnota
Obsah Fe	max. 0.14 %
Obsah Si	max. 0.07 %
Obsah Cu	max. 0.001 %
Vlhkost	max. 0.2 %
Bod tání	661 °C
Bod vzplanutí prachu	250 °C
Teplota hoření	2500 °C

2.2. Argon

Argon patří mezi nezkapalné plyny pod trvalým tlakem. Láhev o objemu 1,5 l byla plněna přetlakem 1 bar.

2.3. Benzín

V experimentu byla použita láhev naplněná 0,5 l benzínu. Výsledky zkoušky nejsou prezentovány, protože k plnému zážehu došlo až 60 ms od detonace trhliny. Náběh intenzity osvětlení je výrazně pomalejší než u hliníkového prášku i argonu. Aby došlo k zážehu, musí být benzín rozptýlen a dosaženo vhodného kompresního poměru se vzduchem. Benzín byl zařazen mezi nevhodný způsob osvětlení a z experimentu byl vyřazen.

2.4. Popis experimentu

Kamera byla vzdálena 10 m od zdroje světla, použitý objektiv 85 mm se světelností f/1.4. Snímkovací frekvence byla nastavena na 10 000 fps, rozlišení obrazu 1600 x 1200 px a elektronická závěrka 33 339 ns. Rychlost elektronické závěrky byla záměrně snížena (trojnásobně), aby bylo možné pozorovat zážeh zplodin, nikoliv osvětlení jako celku. Stejně nastavení kamery i objektivu bylo použito pro všechny záznamy.

V experimentu byl testován jako zdroj osvětlení práškový hliník o hmotnostech 75 g, 150 g, 300 g a argon, který byl naplněn do lahve s vnitřním přetlakem 1 bar. Pro zažehnutí všech zdrojů osvětlení byla použita stejná trhavina (Trinitrotoluen) o hmotnosti 75 g. Oproti původnímu způsobu osvětlení, popsáném v první kapitole, došlo k poloviční redukci hmotnosti trhliny a to z důvodu zmenšení velikosti rázové vlny.

2.5. Popis vyhodnocování výsledků

K popisu zachyceného děje byly vybrány reprezentativní snímky. Obrázek 3 zachycuje čas těsně před výbuchem trhliny. První snímek v oblasti výsledků zachycuje moment 1 ms (milisekundu) po výbuchu trhliny. V tomto okamžiku je sledován tvar vznikajícího fireballu a vznik zplodin. Druhý snímek zachycuje moment 3 ms po výbuchu trhliny. V tomto okamžiku je sledován zážeh zplodin a hodnocen tvar fireballu. Doba posledního snímku byla již různá. Byl vybrán čas, kdy fireball je zformovaný do celku, všechny zplodiny zažehnuty,

je poskytnuto plné osvětlení. Zároveň to nemusí být okamžik největšího objemu fireballu. Ve všech případech fireball ještě narostl, ale intenzita světla se už příliš nezvyšovala.



Obrázek 3: *Těsně před výbuchem*

3. VÝSLEDKY

3.1. Zdroj osvětlení – práškový hliník 75 g



Obrázek 4: *Čas 1 ms od výbuchu*



Obrázek 5: *Čas 3 ms od výbuchu*



Obrázek 6: *Čas 9.5 ms od výbuchu – plné osvětlení*

Zpočátku se vytvoří větší množství zplodin (viz Obrázek 4), které vzplanou až v další fázi (viz Obrázek 5). Fireball je kompaktní a vyzařuje velkou intenzitu světla po dlouhý časový okamžik (viz Obrázek 6).

3.2. Zdroj osvětlení – práškový hliník 150 g



Obrázek 7: *Čas 1 ms od výbuchu*



Obrázek 8: *Čas 3 ms od výbuchu*



Obrázek 9: Čas 8.5 ms od výbuchu – plné osvětlení

V 1 ms po výbuchu se vytvoří vodorovný pás zplodin (viz Obrázek 7), který se plně rozsvítí v 8.5 ms (viz Obrázek 9). Hmotnost aktivační trhaviny 75 g je dostatečná pro rozsvícení veškerého hliníku a intenzitou světla převyšuje hliníkový prášek o hmotnosti 75 g. Fireball je kompaktní a při poklesu intenzity světla se zdroj rozdělí na dvě části.

3.3. Zdroj osvětlení – práškový hliník 300 g



Obrázek 10: Čas 1 ms od výbuchu



Obrázek 11: Čas 3 ms od výbuchu



Obrázek 12: Čas 7 ms od výbuchu – plné osvětlení

Výsledky ukazují, že poměr 4:1 mezi hliníkovým práškem a náloží je příliš velký (Obrázek 10). Velká část hliníku se rozptýlí do okolí, aniž by došlo ke vznícení. Intenzita osvětlení je vyšší než v případě hliníkového prášku o hmotnosti 75 g, ale nižší než v případě 150 g hliníkového prášku.

3.4. Zdroj osvětlení – láhev s argonem



Obrázek 13: Čas 1 ms od výbuchu



Obrázek 14: Čas 3 ms od výbuchu - kurzívou



Obrázek 15: Čas 10 ms od výbuchu – plné osvětlení

Při detonaci dojde nejprve k horizontální expanzi a vodorovně se vytvoří oblak zplodin (viz Obrázek 14), který se vznítí až v 10 ms. Tvar výsledného fireballu není koule a intenzita osvětlení je nižší než u hliníkového prášku o hmotnosti 75 g.

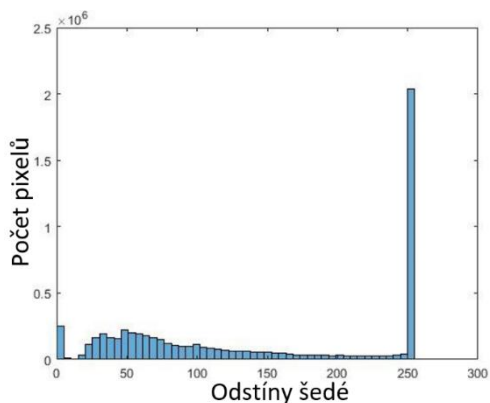
Souhrnné informace a vyhodnocení poskytuje Obrázek 16, kde je popsán časový průběh osvětlení pro jednotlivé způsoby.

4. DISKUZE

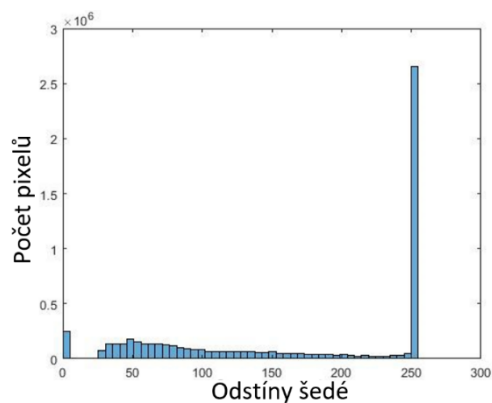
Souhrnné informace a vyhodnocení poskytuje obrázek 16, kde je popsán časový průběh osvětlení pro jednotlivé způsoby.

Zdroj osvětlení	Vytvoření kompaktního fireballu	Plná světelnost	Výrazný pokles světelnosti
Hliníkový prášek – 75 g	9.5 ms	20 ms	26 ms
Hliníkový prášek – 150 g	8 ms	13 ms	22 ms
Hliníkový prášek – 300 g	7 ms	11 ms	16 ms
Argon – 1 l	10 ms	12 ms	14 ms

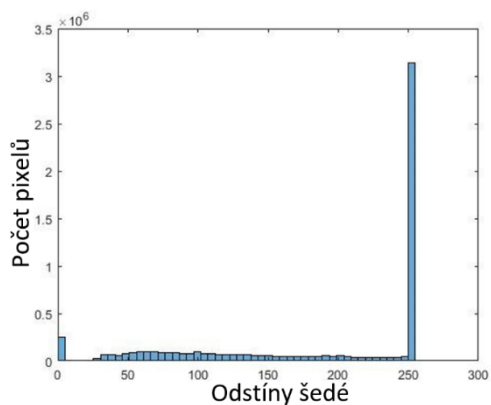
Obrázek 16: Časový průběh osvětlení



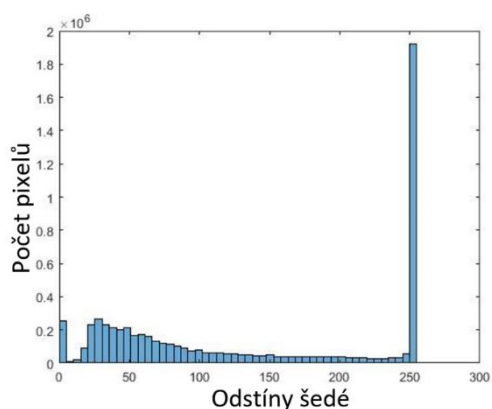
Obrázek 17: Pixelový histogram Obrázku 6, který zachycuje hliníkový prášek o hmotnosti 75 g v 9.5 ms od detonace



Obrázek 19: Pixelový histogram Obrázku 12, který zachycuje hliníkový prášek o hmotnosti 300 g v 7 ms od detonace



Obrázek 18: Pixelový histogram Obrázku 9, který zachycuje hliníkový prášek o hmotnosti 150 g v 8 ms od detonace



Obrázek 20: Pixelový histogram Obrázku 15, který zachycuje láhev s argonem v 10 ms od detonace

Obrázky 17 – 20 ukazují charakteristiku obrazu pomocí histogramů, na kterých jsou znázorněny počty obrazových pixelů (svíslá osa) odpovídající intenzitě svítivosti (vodorovná osa). Na vodorovné ose histogramu jsou barvy jednotlivých pixelů charakterizovány dle odstínu šedi 0 (černá) až 255 (bílá) pro jednotlivé způsoby osvětlení v momentu plného rozsvícení fireballu.

Výsledky ukazují, že nejvyšší intenzity osvětlení bylo dosaženo při hliníkovém prášku o hmotnosti 150 g, následovaném hmotností 300 g. Hliníkový prášek o hmotnosti 75 g vykazuje podobnou intenzitu osvětlení jako láhev s argonem.

Experiment byl realizován s cílem získat potřebná data pro realizaci externího osvětlování s dostupnými prostředky a tomu byla podřízena specifická experimentu. Nebyl nalezen podobný experiment, proto článek popisuje dostupnou možnost osvětlování bez přímého srovnání.

5. ZÁVĚR

Experiment prokázal, že hliníkový prášek je stabilní zdroj světla, který lze na rozdíl od argonu přesně dávkovat. Optimální dobu prodlevy mezi zažehnutím osvětlovací látky a hlavní detonací lze stanovit na 8 ms. Doba, po kterou je optimální sledovat požadovaný děj snímáný vysokorychlostní kamerou, lze odhadnout na 6 ms. Nejvhodnější kombinace osvětlení nastala při 150 g hliníkového prášku a 75 g trinitrotoluenu, kdy se vytvořil kompaktní fireball, jehož intenzita byla dostačující pro osvětlení požadovaného jevu po celou dobu trvání. Láhev argonu o objemu 1,5 l lze světelností srovnat s hliníkovým práškem o hmotnosti 75 g, ovšem doba osvětlení je trojnásobně kratší. Výsledky ukazují, že poměr 4:1 mezi hliníkovým práškem a trhavinou je příliš velký. Velká část hliníku se rozptýlí do okolí, aniž by došlo ke vznícení.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl připraven díky podpoře projektu (č. SGS19/149/OHK1/3T/11) a projekt (č. SGS20/109/OHK1/2T/11)