

# VLIV PROJEKTILU NA MNOŽSTVÍ POŠKOZENÍ CEMENTOVÉHO KOMPOZITU VÝBUchem

Jakub Zima, \*

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

## ABSTRAKT

Tento příspěvek popisuje vliv projektilu při zatížení cementového kompozitu výbuchem. Experimentální měření bylo zaměřeno na porovnání poškození a rychlosti odletujících částic cementového kompozitu při zatížení výbuchem s uvažováním vlivu projektilu. Vyhodnocení výsledků experimentálního měření je zaměřeno na poškození v cementovém kompozitu při obou površích, šíření rázové vlny způsobené výbuchem, rychlosti odletujících částí kompozitu a pozorování zbytkové hmotnosti letícího projektilu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Blízký výbuch • Projektil • Rychlost odletujících částic • Poškození cementového kompozitu

## ABSTRACT

This paper describes the influence of projectile on the cement composite of near field blast. The experimental measurements were focused on the comparison of the damage range and the velocity of the ejected parts from the cement composite by near field blast. The evaluation of the results of the experimental measurements is focused on the damage in the cement composite at both surfaces, the propagation of the shock wave caused by the blast, the speed of the ejected parts of the composite and the observation of the residual weight of the ejected parts.

## KEYWORDS

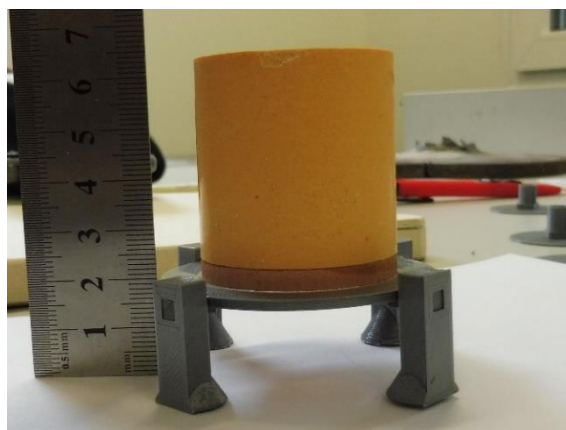
Near field blast • Projectile • Velocity of ejected parts • Damage to the cement composite

## 1. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Uspořádání experimentu v redukovaném měřítku byl odvozen pomocí zákona pro úpravu měřítka účinků výbuchu popsané v publikaci od McVay [1]. Rozměry vzorku byly jsou 300x300 mm o proměnné výšce 30, 60 a 120 mm. Redukované rozměry vzorku zajišťují úsporu nákladů a času. Současně je se vzorky jednodušší manipulace, vzorek o výšce 120 mm váží 27 kg.

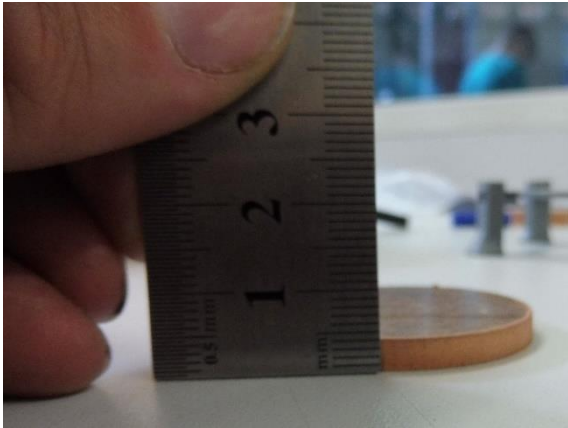
Experimentální program byl rozdělen na dvě fáze. V obou případech byl použit beton shodné receptury, pevnostní třídy C30/37 dle ČSN EN 1992-1-1. Vzorky byly použity k experimentu vždy po nabití úplné pevnosti, tedy po 28 dnech od betonáže. V první fázi bylo vybetonováno 9 kusů vzorků výšky 30, 60 a 120 mm. Ve druhé fázi bylo vybetonováno 12 kusů vzorků výšky 60 a 120 mm. Vzorky v první fázi bylo označeny číslly 1 až 9, ve druhé fázi 21 až 32. Vzorky nebyly vyztuženy vlákny ani výztuží, tak aby bylo dosaženo, co největší homogenity materiálu.

V první fázi byla jako nálož použita kombinace Semtexu 1A a hexagonu A-IX-1. Semtex svojí konzistencí posloužil jako místo pro umístění rozbušky. Hexagon A-IX-1 přesným slisovaným tvarem zajišťuje rovnoměrné urychlení měděného projektilu. Nevýhodou použití hexagonu A-IX-1 byla jeho fixní hmotnost. Ve druhé fázi experimentu již bylo od hexagonu A-IX-1 upuštěno z důvodu zajištění hmotnostní variability. Pro zajištění přesného tvaru byl semtex ručně lisován do ocelové trubky průměru 40 mm. Hmotnost, tvar a vzdálenost nálože od vzorku je proměnná.



Obrázek 1 : Hexagon, podstavec

\* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

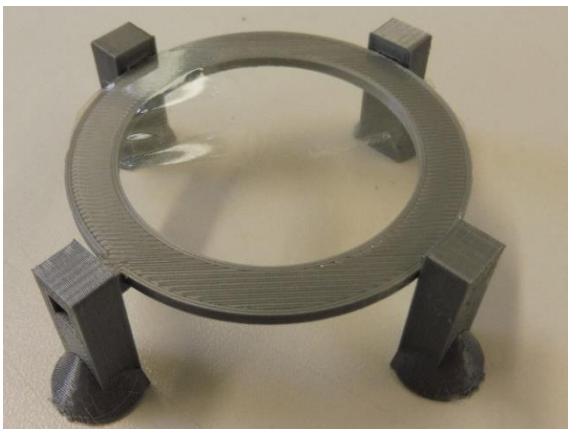


Obrázek 2 : Projektil

Vzdálenost nálože od vzorku byla zajištěna pomocí podstavce vytvořeného na 3D tiskárně. Výška podstavce byla proměnná od 20 mm do 150 mm. Vnitřní průměr prstence podstavce 39 mm zajišťoval stabilitu nálože s minimálním ovlivněním okrajových podmínek.



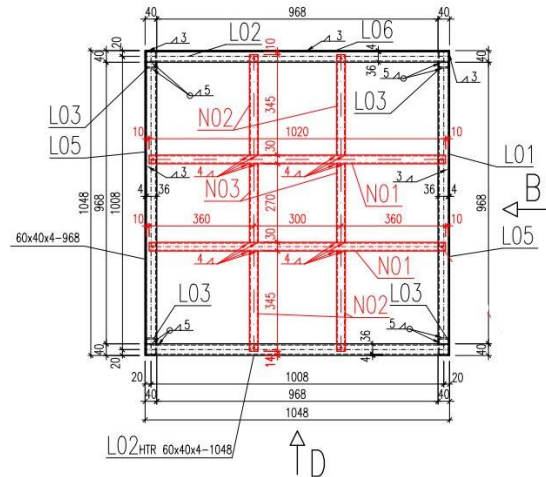
Obrázek 3 : Ručně lisovaný semtex, měděný projektil



Obrázek 4 : Podstavec

Nálož byla umístěna uprostřed betonového vzorku, který byl položen na ocelové konstrukci tvořené pomocí ocelových uzavřených profilů 40x30 mm. Osová vzdálenost uzavřených profilů 300 mm vytvářela uložení vzorku 15 mm. Betonový vzorek byl pomocí ocelových L profilů a závitových tyčí

přípevně k uzavřeným profilům, tak aby nedocházelo k jeho odrazu od ocelové konstrukce vlivem rázové vlny. Uzavřené profily byly přípevně na konstrukci používanou na dřívější experimentální měření. Podrobný popis ocelové konstrukce je uveden v článku autorů Janoty a Foglara [2]. Pod betonovým vzorky byly umístěny kolimátory pro měření rychlosti odletujících částic při spodním povrchu. Uspořádání experimentu je zřejmé z Obr. 5 a 6.



Obrázek 5 : Uspořádání experimentu



Obrázek 6 : Uspořádání experimentu

## 2. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

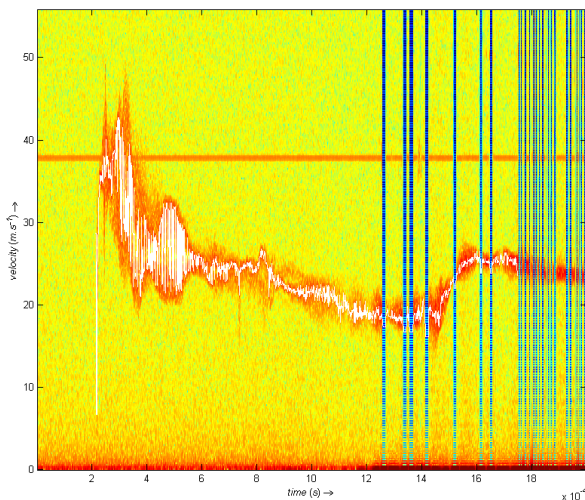
### 2.1. Popis typického průběhu rychlosti odletujících částic

Záznamy průběhu rychlosti odletujících částic v čase vykazují obdobný průběh vývoje rychlosti odletujících částic. V první fázi dochází k nárůstu rychlosti částic. V okamžiku nárůstu rychlosti naráží rázová vlna, popřípadě měděný projektil na horní povrch vzorku. Sklon křivky popisuje rychlost prostupu vlny vzorkem. Ve většině případů dochází k tomu, že výbušnina bez projektilu prochází vzorkem rychleji, rázová vlna není bržděna projektilem. Po dosažení maximální rychlosti (rázová vlna na spodním povrchu vzorku) dochází ke zpomalení rychlosti odletujících částic vlivem odporu

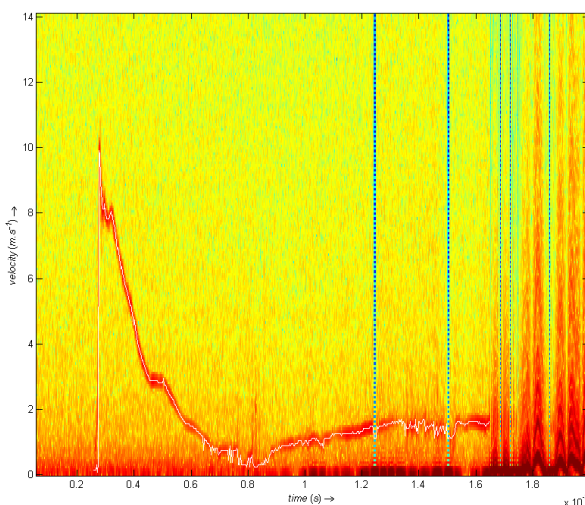
vzduchu. Z měření pomocí metody PDV lze také vyčíst množství částic urychlené rázovou vlnou, popřípadě projektilem. Na Obr. 8, u vzorku 25, u kterého došlo k výtrži při spodním povrchu, lze pozorovat urychlení většího množství částic. Rozptyl křivky vyjadřuje urychlení většího množství částic. Na Obr. 9 u vzorku 31, u kterého došlo pouze k průhybu vzorku a rozvoji trhlin je křivka rychlosti odletujících částic bez rozptylu.



Obrázek 7 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků 25 a 26



Obrázek 8 : Záznam rychlosti odletujících částic vzorek 25



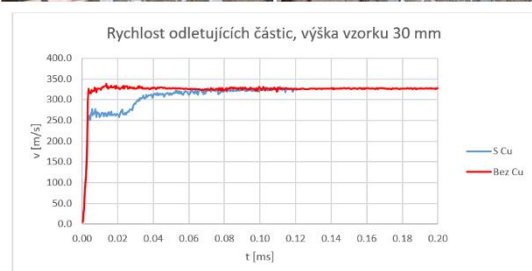
Obrázek 9 : Záznam rychlosti odletujících částic vzorek 31.

## 2.2. 1. Fáze experimentálního měření

Vzorek	[-]	1	2
Výška	[mm]	30	
Nálož	typ	Semtex 1A + A-IX-1	
	hmotnost	108	
	vzdálenost	20	
Projektil	průměr	40	-
	hmotnost	45	-
Poškození horního povrchu	[-]	totální destrukce	totální destrukce
Poškození spodního povrchu	[-]	totální destrukce	totální destrukce
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	330,64	343,89
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	6800	6900
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	1400	1100

Obrázek 10 : Porovnání vzorků výšky 30 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektil (vzorek 1) vykazuje nižší rychlost cca o 4 %. Z grafu je možné sledovat zvýšení rychlosti odletujících částic v čase cca 0,028 ms, toto zrychlení nastává po průrazu projektilu panelem. Délka doby 0,028 ms odpovídá době průrazu projektilu vzorkem. Menší počáteční rychlost u vzorku s projektilem je dána tím, že projektil brání rázové vlně a tím ji zpomaluje oproti vzorku bez projektilu. Tloušťka vzorku 30 mm není schopna odolat zatížení výbuchem, nedochází k pohlcení energie způsobené výbuchem. Dochází k úplné destrukci vzorku.



Obrázek 11 : Porovnání poškození vzorků výšky 30 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	4	5
Výška	[mm]	60	
Nálož	typ	Semtex 1A + A-IX-1	
	hmotnost	108	
	vzdálenost	20	
Projektil	průměr	40	-
	hmotnost	45	-
Poškození	[-]	totální destrukce	totální destrukce
Poškození	[-]	totální destrukce	totální destrukce
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	111,15	97,301
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	13900	13700
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	2800	3000

Obrázek 12 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

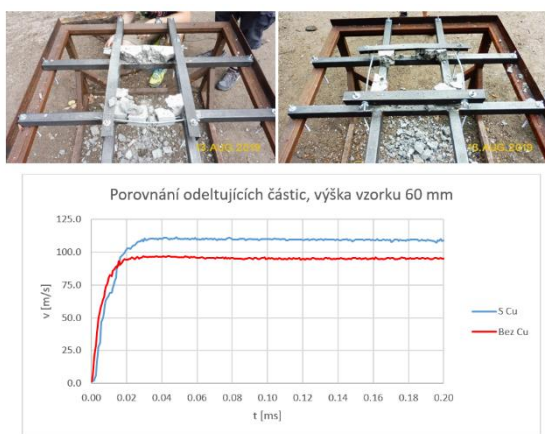
Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektil (vzorek 4) vykazuje vyšší rychlost cca o 13 %. Rázová vlna bez projektilu, prochází vzorkem rychleji, než rázová vlna s projektilem. Po průniku projektilu nedochází ke zvýšení rychlosti odletujících částic. Vývoj rychlosti odletujících částic po dosažení maximálních hodnot má konstantní charakter. Tloušťka vzorku 60 mm není schopna odolat

zatížení výbuchem, nedochází k pohlcení energie způsobené výbuchem. Dochází k úplné destrukci vzorku.

V suti byl nalezen projektil. Hmotnost projektilu před výbuchem 45 g, hmotnost po výbuchu 24,88 g.



Obrázek 13 : Projektil po výbuchu



Obrázek 14 : Porovnání poškození vzorků výšky 60 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

Vzorek		[-]	7	8
Výška		[mm]	120	
Nálož	typ	[-]	Semtex 1A + A-IX-1	
	hmotnost	[g]	108	
	vzdálenost	[mm]	20	
Projektil	průměr	[mm]	40	-
	hmotnost	[g]	45	-
Poškození	[-]	průraz	totální destrukce	
Poškození	[-]	výtrž betonu	totální destrukce	
Maximální rychlost odletujících částic	[m/s]		21,899	23,793
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]		27100	27400
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]		1900	2500

Obrázek 15 : Porovnání vzorků výšky 120 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektillem (vzorek 7) vykazuje nižší rychlost cca o 8 %. Rázová vlna bez projektilu, prochází vzorkem rychleji, než rázová vlna s projektillem. Po dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. Poškození vzorku bez projektilu, je větší než u vzorku s projektillem. Poškození u vzorku s projektillem způsobuje projektil. U vzorku bez projektilu došlo při průrazu vlny k odrazům na bocích vzorku a tím k totální destrukci vzorku.

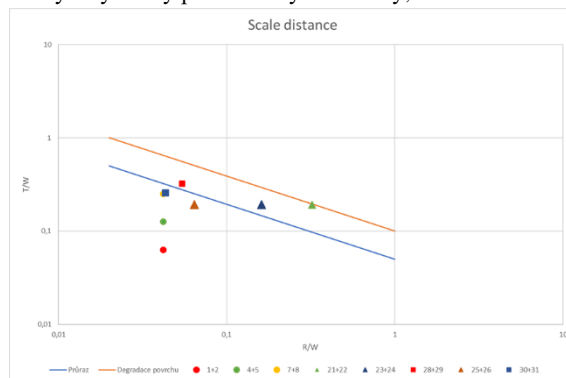
V suti byl nalezen projektil. Hmotnost projektilu před výbuchem 45 g, hmotnost po výbuchu 22,59 g.



Obrázek 16 : Porovnání poškození vzorků výšky 120 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

### 3. ZÁVĚR

S ohledem na minimum dostupné literatury ohledně vlivu projektilu na poškození a rychlost odletujících částic cementových kompozitů, lze považovat první fázi experimentálního měření jako kalibraci hmotnosti nálože a vzdálenost nálože od vzorku. Při porovnání rychlostí odletujících částic u nálože s projektillem a bez projektilu, je rychlost bez projektilu vyšší u vzorků tloušťky 30 a 120 mm. Ve všech případech dochází k téměř kompletní destrukci vzorku. U vzorků tloušťky 30 a 60 mm dosahuje rychlost odletujících částic rychlosti 100 až 300 m/s. V obou případech téměř nedochází ke snižování rychlosti vlivem odporu vzduchu. Výsledky první fáze experimentu byly následně porovnány s výsledky publikovanými McVay, Obr. 17.



Obrázek 17 : Porovnání vzorků dle McVay

### ACKNOWLEDGEMENTS

Príspevek vznikl za finanční podpory SGS20/040/OHK1/1T/11, Českého Vysokého učení technického v Praze.

### References

Foglar, M., Hajek, R., Kovar, M., & Štoller, J. (2015). Blast performance of RC panels with waste steel fibers. Construction and Building Materials, 94, 536-546.