

VLIV PROJEKTILU NA ÚROVEŇ 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. Druhé experimentální měření bylo zaměřeno na porovnání poškození a rychlosti odletujících částic cementového kompozitu při zatížení výbuchem s uvažováním vlivu projektilu. Vyhodnocení výsledků druhého 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

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

ABSTRACT

This paper describes the influence of projectile on the cement composite of near field blast. Second 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 second 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

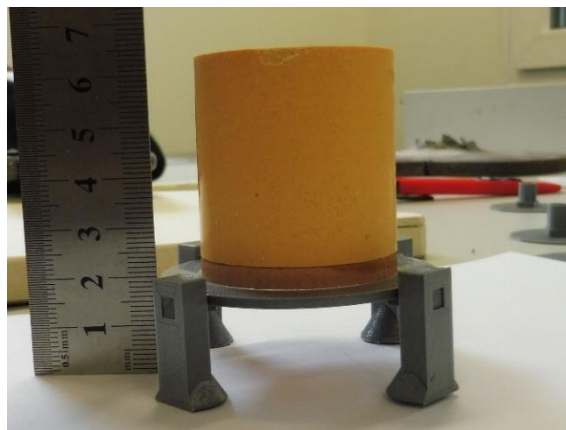
1. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Uspořádání experimentu v redukovaném měřítku byl odvozen z prvního experimentálního měření a za pomoci zákona pro úpravu měřítka účinků výbuchu popsané v publikaci od McVay [1]. Rozměry vzorku byly 300x300 mm o proměnné výšce 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.

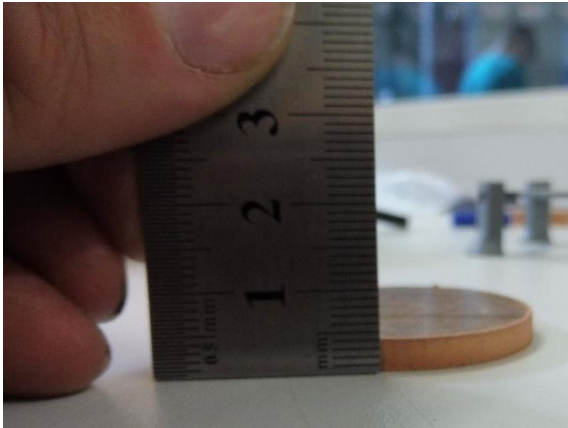
Byl použit beton pevnostní třídy C30/37 dle ČSN EN 1992-1-1. Vzorky byly použity k experimentu vždy po nabití úplné pevnosti, tedy po 28 dnech od betonáže. Ve druhé fázi bylo vybetonováno 12 kusů vzorků výšky 60 a 120 mm. Vzorky v první fázi byly označeny čísly 1 až 9, ve druhé fázi 21 až 32. Vzorky nebyly vyztuženy vlákny ani výztuží, tak aby bylo dosaženo, co největší homogenity materiálu.

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.



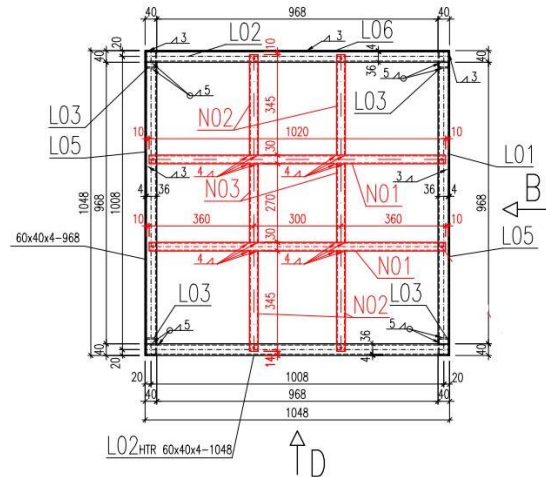
Obrázek 3 : Ručně lisovaný semtex, měděný projektil



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



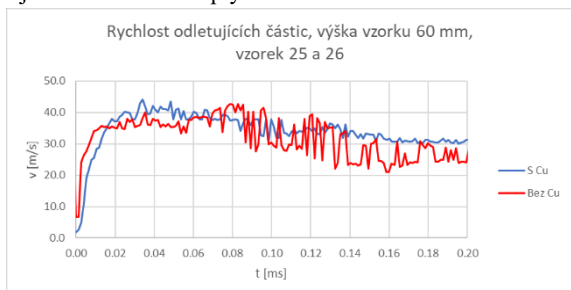
Obrázek 6 : Uspořádání experimentu

2. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

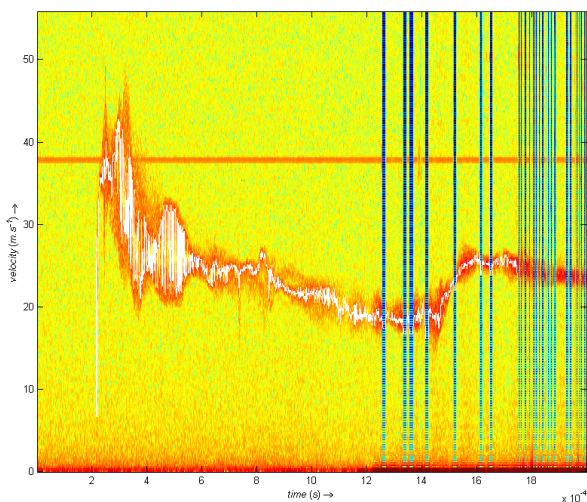
2.1. Popis typického průběhu rychlosti odletujících částic

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

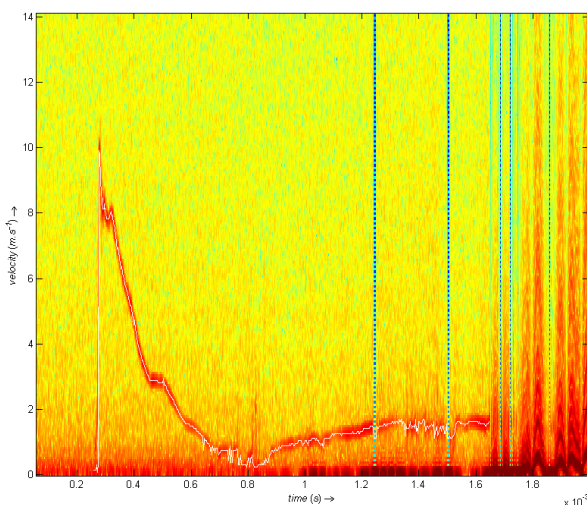
vzduchu. Z měření pomocí metody PDV lze také vyčíst množství částic urychlené rázovou vlnou, popřípadě projektilem. Na Obr. 8, u vzorku 25, u kterého došlo k výtrži při spodním povrchu, lze pozorovat urychlení většího množství částic. Rozptyl křivky vyjadřuje urychlení většího množství částic. Na Obr. 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



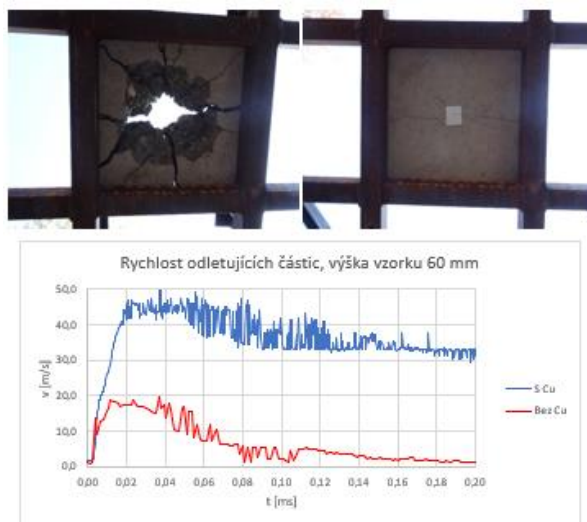
Obrázek 9 : Záznam rychlosti odletujících částic vzorek 31.

2.2. 2. Fáze experimentálního měření

Vzorek	[-]	21	22
Výška	[mm]	60	
Nálož	typ	Semtex 1A	
	hmotnost	30	
	vzdálenost	100	
Projektil	průměr	30	-
	hmotnost	18,5	-
Poškození horního povrchu	[-]	hloubková degradace	povrchová degradace
Poškození spodního povrchu	[-]	výtrž betonu	trhliny
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	49,716	19,66
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	13267	13530
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	12263	13530

Obrázek 10 : Porovnání vzorků výšky 30 mm

Při porovnání rychlosti nálož s měděným projektilem vykazuje vyšší rychlost cca o 250 %. Rychlost prostupu rázové vlny bez projektilu je vyšší než u rázové vlny s projektilem. Po dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. Poškození vzorku s projektilem je větší než u vzorku bez projektilu. V prvním případě dochází k průrazu a k výtrži betonu, v druhém případě pak pouze k průhybu vzorku, na spodním povrchu dochází k rozvoji trhlin.



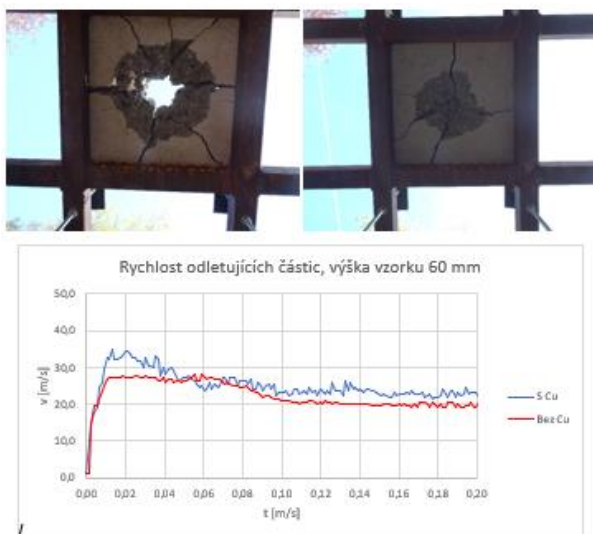
Obrázek 11 : Porovnání poškození vzorků výšky 60 mm, projektil s mědi, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	23	24
Výška	[mm]	60	
Nálož	typ	Semtex 1A	
	hmotnost	30	
	vzdálenost	50	
Projektil	průměr	30	-
	hmotnost	18,5	-
Poškození horního povrchu	[-]	průraz	trhliny
Poškození spodního povrchu	[-]	výtrž betonu	výtrž betonu
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	34,738	28,234
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	13586	13563
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	12681	13170

Obrázek 12 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

Při porovnání rychlosti nálož s měděným projektilem vykazuje vyšší rychlost cca o 21 %. Rychlost prostupu rázové vlny bez projektilu je vyšší než u rázové vlny s projektilem. Po

dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. Poškození vzorku s projektilem je větší než u vzorku bez projektilu. V prvním případě dochází k průrazu a k výtrži betonu, v druhém případě pak pouze ke vzniku trhlin a výtrži betonu.

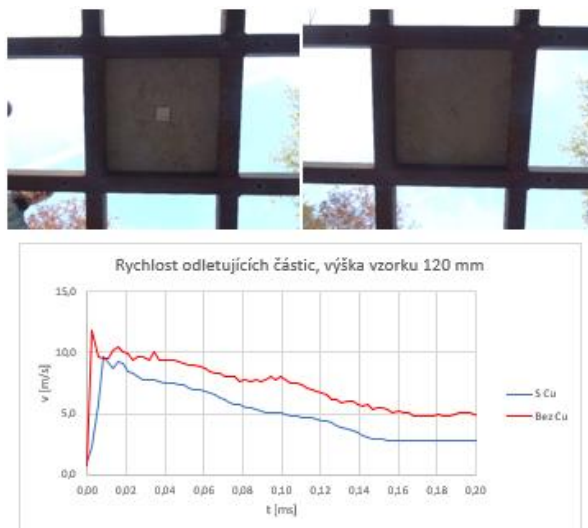


Obrázek 13 : Porovnání poškození vzorků výšky 60 mm, projektil s mědi, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	28	29
Výška	[mm]	120	
Nálož	typ	Semtex 1A	
	hmotnost	50	
	vzdálenost	20	
Projektil	průměr	-	30
	hmotnost	-	18,5
Poškození horního povrchu	[-]	povrchová degradace	povrchová degradace
Poškození spodního povrchu	[-]	mikrotrhliny	mikrotrhliny
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	11,752	9,6822
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	26740	26820
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	26606	26594

Obrázek 14 : Porovnání vzorků výšky 120 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem vykazuje nižší rychlost cca o 20 %. Rychlost prostupu rázové vlny bez projektilu je vyšší než u rázové vlny s projektilem. Po dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. V obou případech dochází k povrchové degradaci vzorku a rozvoji mikrotrhlin při spodním povrchu. Nálož s projektilem vykazuje větší úbytek hmotnosti vzorku.



Obrázek 15 : Porovnání poškození vzorků výšky 120 mm, projektil s mědi, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	25	26
Výška	[mm]	60	
Nálož	typ	Semtex 1A	
	hmotnost	30	
	vzdálenost	20	
Projektil	průměr	-	30
	hmotnost	-	18,5
Poškození horního povrchu	[-]	průraz	průraz
Poškození spodního povrchu	[-]	výtrž betonu	výtrž betonu
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	42,72	44,198
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	13567	13489
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	12940	12444

Obrázek 16 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem vykazuje vyšší rychlost cca o 10 %. Rychlost prostupu rázové vlny bez projektilu je vyšší než u rázové vlny s projektilem. Po dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. Poškození vzorku s projektilem je větší než u vzorku bez projektilu. V obou případech dochází k průrazu vzorku a výtrži betonu, s projektilem je však hmotnost výtrže betonu větší.



Obrázek 17 : Porovnání poškození vzorků výšky 60 mm, projektil s mědi, projektil bez mědi



Obrázek 19 : Porovnání poškození vzorků výšky 120 mm, projektil s mědi, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	30	31
Výška	[mm]	120	
Nálož	typ	Semtex 1A	
	hmotnost	100	
	vzdálenost	20	
Projektil	průměr	-	30
	hmotnost	-	18,5
Poškození horního povrchu	[-]	povrchová degradace	povrchová degradace
Poškození spodního povrchu	[-]	trhliny	trhliny
Maximální rychlost odletujících částic	[m/s]	14,634	9,9039
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	26730	26816
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	26581	26635

Obrázek 18 : Porovnání vzorků výšky 120 mm

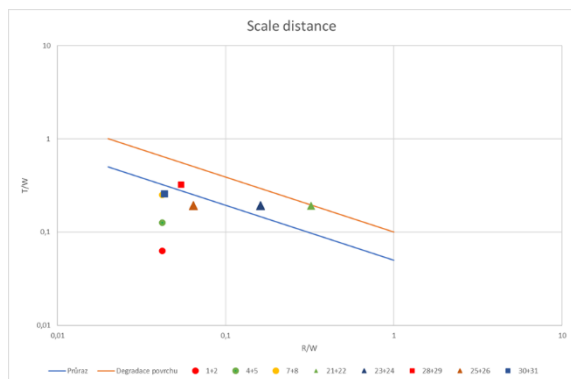
Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem vykazuje nižší rychlost cca o 47 %. Rychlost prostupu rázové vlny bez projektilu je vyšší než u rázové vlny s projektilem. Po dosažení maximálních rychlostí dochází k poklesu rychlosti odletujících částic vlivem odporu vzduchu. V obou případech dochází k povrchové degradaci vzorku a rozvoji mikrotrhlín při spodním povrchu. Nálož bez projektilu vykazuje větší úbytek hmotnosti vzorku.

3. ZÁVĚR

Ve druhé fázi experimentálního měření již výstupy vykazovaly konzistentní výsledky. Rychlost odletujících částic u vzorků tloušťky 60 mm byla shodně vyšší u nálože s projektilem než u nálože bez projektilu. Zároveň poškození vzorků tloušťky 60 mm bylo vyšší u vzorků s projektilem. Nálože bez i s projektilem tvořeny pouze semtexem 1A nedokázali prorazit vzorky tloušťky 120 mm. Při porovnání výsledků dle grafů dle McVay [2] lze pozorovat 3 sady bodů. Body označeny kruhem představují první fázi experimentálního měření. Všechny se nachází pod oběma křivkami grafu, což značí jejich destrukci odpovídající experimentální měření. Sada bodů označených trojúhelníkem představují vzorky z druhé fáze experimentálního měření, tloušťky 60 mm. Vzorek 22 se nachází na rozhraní křivek, dle výsledků experimentu nedochází k průrazu vzorku. U vzorku 21, stejných parametrů nálože (hmotnost, vzdálenost od prvku) je již patrný vliv projektilu. U vzorků 24 a 25 během experimentálního měření dochází k odtržení betonu, popřípadě k průrazu prvku. Poslední sada bodů, čtverce, představují druhou fázi experimentálního měření, konkrétně vzorky tloušťky 120. Zde se grafy dle McVay neshodují s experimentálním měřením. To je pravděpodobně zapříčiněno složením nálože. V první fázi byla 100 gramová nálož složena ze Semtexu 1A a hexagonu A-IX-1. V druhé fázi již byla použita nálož pouze ze semtexu. Samotný Semtex 1A nemá účinnost poškození shodnou s hexagonem A-IX-1.

U vzorků tloušťky 120 mm nebyl prokázán vliv projektilu na jejich poškození, popřípadě rychlost odletujících částic. Ani v jednom případě nedošlo k výraznému porušení prvku. Hodnoty naměřené na spodním povrchu představují pouze průhyb prvku a ocelové konstrukce, na které byl prvek umístěn. U vzorků tloušťky 60 mm je již vliv měděného projektilu patrný. Rychlost odletujících částic je větší u nálože s projektilem, tento vliv je více patrný v případech kdy

ocelový projektil je ve větší vzdálenosti od prvku. To lze konstatovat také u množství vytrženého betonu. Rozdíl poškození stoupá se vzdáleností projektilu od vzorku.



Obrázek 20 : 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.