

# ZATÍŽENÍ CEMENTOVÉHO KOMPOZITU VÝBUCHEM S VLIVEM PROJEKTILU

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

Príspevek popisuje vliv měděného projektilu při zatížení cementového kompozitu blízkým výbuchem. V úvodní části článku je popisované experimentální měření. To bylo zaměřeno na porovnání množství a typu poškození a rychlosti odletujících částic cementového kompozitu při zatížení vzorku výbuchem. Ve druhé části je popsáno vyhodnocení výsledků experimentálního měření. To je zaměřeno na množství a typ poškození cementového kompozitu, šíření rázové vlny způsobené výbuchem, rychlosti odletujících částí kompozitu a pozorování zbytkové hmotnosti letícího projektilu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

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

## ABSTRACT

This paper describes the influence of copper projectile on the cement composite of near field blast. The experimental measurements were focused in the first part 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 in the second part 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

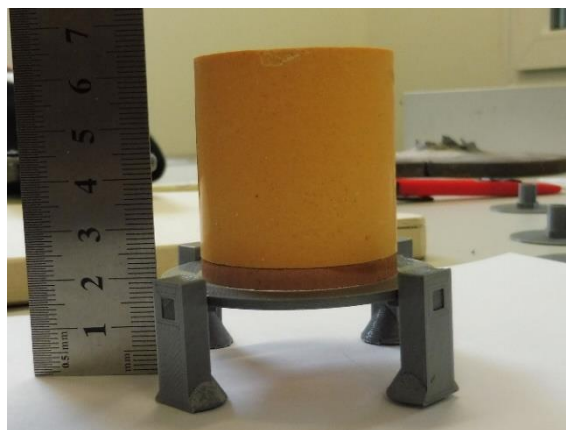
Near field blast • Velocity of ejected parts • Damage to the cement composite • Projectile

## 1. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

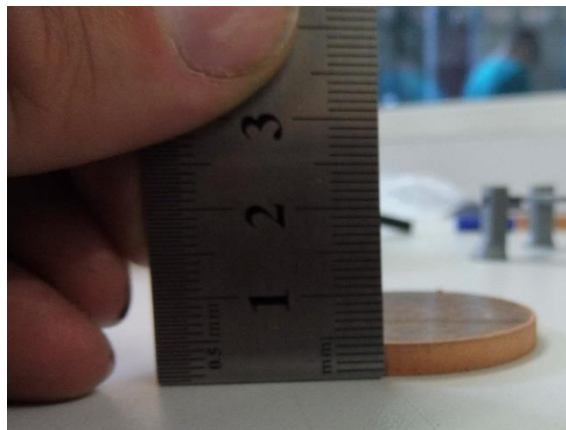
Uspořádání experimentu v redukovaném měřítku byl odvozen pomocí zákona pro úpravu měřítka účinků výbuchu popsané v publikaci od McVay [1]. Detailně bylo experimentální měření popsáno v článku od J. Zimy [2]. Vzorky byly vyrobeny o rozměrech 300x300 mm a proměnné výšce 30, 60 a 120 mm. Redukované rozměry vzorku zajišťují úsporu nákladů a času. 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. První fáze experimentální měření a jeho vyhodnocení byla popsána v článku od J. Zimy [2]. 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 nebyly vyztuženy vlákny ani betonářskou 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



Obrázek 2 : Projektil

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

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.

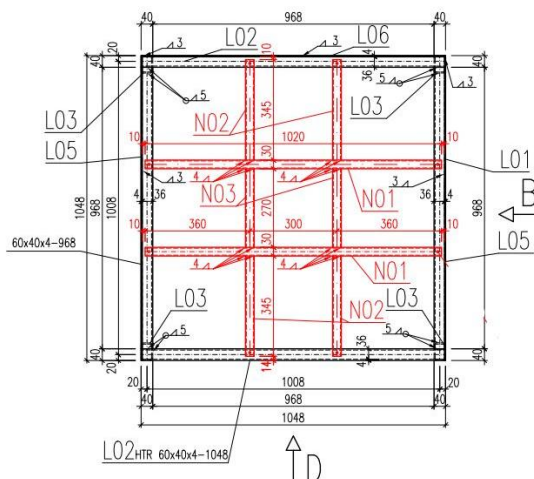


Obrázek 3 : Ručně lisovaný semtex, měděný projektil

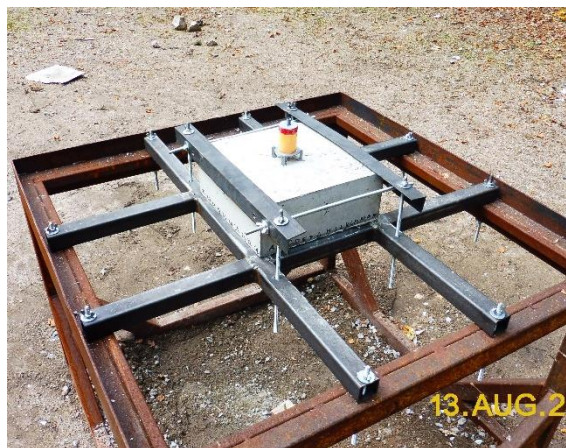


Obrázek 4 : Podstavec

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. Uzavřené profily byly připevněny na konstrukci používanou na dřívější experimentální měření. Podrobný popis ocelové konstrukce je uveden v článku autorů Janoty a Foglara [3]. Pod betonovými 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

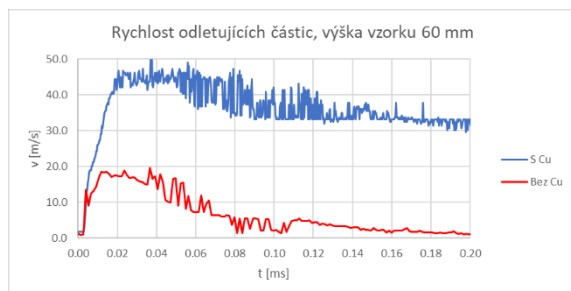
### 2.1. 2. fáze experimentálního měření

Ve druhé fázi experimentálního měření již byly zohledněny poznatky z fáze první. Dle McVay [2] byly upraveny hmotnosti náloží a jejich vzdálenosti od betonového vzorku. Snahou řešitelského týmu bylo docílit způsobení výtrže spodního povrchu cementového kompozitu u náloží s projektilem a zároveň minimalizovat poškození vzorku u nálože bez projektilu. Jak bylo zmíněno výše, jako nálož byl použit Semtex a měděný projektil průměru 30 mm, výšce 3 mm a hmotnosti 20 g. Tato kombinace měla výrazně menší schopnost poškození, oproti výbušnině ve fázi 1.

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	trhlina
Maximální rychlost odletujících	[m/s]	49,716	19,66
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	13267	13530
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	12263	13530

Obrázek 7 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem umístěna 100 mm od povrchu kompozitu 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.

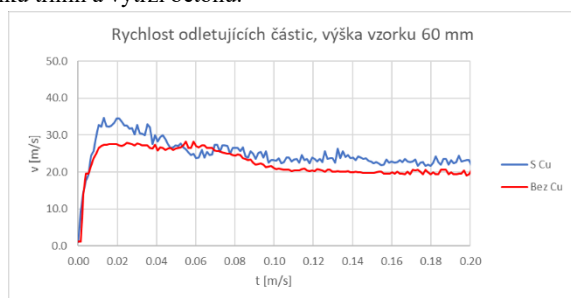


Obrázek 8 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků výšky 60 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	23	24
Výška [mm] <b>60</b>			
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 9 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem umístěna 50 mm od povrchu kompozitu 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.

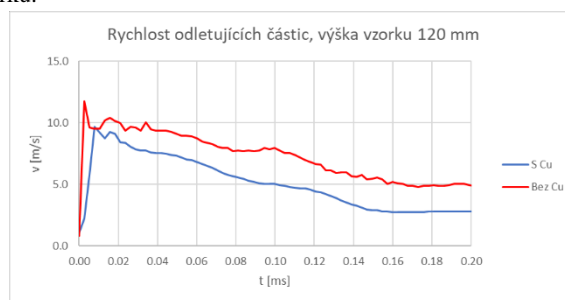


Obrázek 10 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků výšky 60 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	28	29
Výška [mm] <b>120</b>			
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 11 : Porovnání vzorků výšky 120 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem umístěna 20 mm od povrchu kompozitu 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.



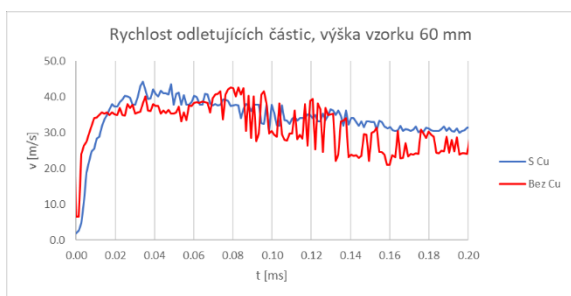
Obrázek 12 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků výšky 120 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

Vzorek	[-]	25	26
Výška [mm] <b>60</b>			
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 13 : Porovnání vzorků výšky 60 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem umístěna 20 mm od povrchu kompozitu 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.



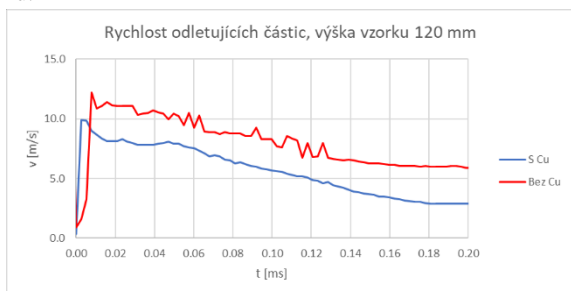


Obrázek 14 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků výšky 60 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

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	[m/s]	14,634	9,9039
Hmotnost vzorku před výbuchem	[g]	26730	26816
Hmotnost vzorku po výbuchu	[g]	26581	26635

Obrázek 15 : Porovnání vzorků výšky 120 mm

Při porovnání rychlostí nálož s měděným projektilem umístěna 20 mm od povrchu kompozitu 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 mikrotrhlin při spodním povrchu. Nálož bez projektilu vykazuje větší úbytek hmotnosti vzorku.



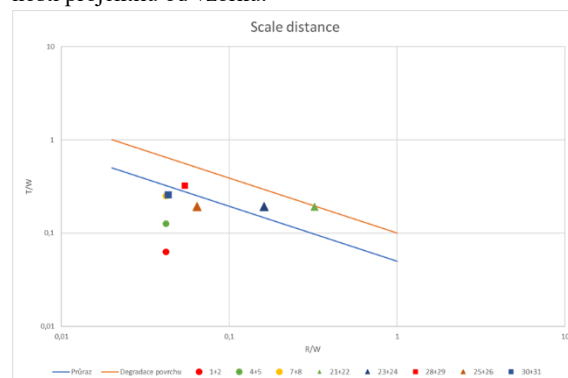
Obrázek 16 : Porovnání rychlosti odletujících částic vzorků výšky 120 mm, projektil s mědí, projektil bez mědi

### 3. ZÁVĚR

Ve druhé fázi experimentálního měření již výstupy vykazovaly konzistentní výsledky. Rychlost odletujících částic u vzorků tloušťky 60 mm byla shodně vyšší u nálož s projektilem než u nálož bez projektilu. Zároveň poškození vzorků tloušťky 60 mm bylo vyšší u vzorků s projektilem. Nálož bez i s projektilem tvořeny pouze semtexem 1A nedokázali prorazit vzorky tloušťky 120 mm. Při porovnání výsledků dle grafů dle McVay [1] 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 nálož (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 nálož. 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 jeho 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 nálož 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 17 : Porovnání vzorků dle McVay

### ACKNOWLEDGEMENTS

Příspěvek 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.
- Zima, J., Foglar, M. (2020). Vliv projektilu na množství poškození cementového kompozitu výbuchem