

# REAKCE NA ČLÁNEK "VYUŽITÍ PŘETVÁRNÝCH VLASTNOSTÍ VLÁKNOBETONU PRO ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI STAVEB PROTI ZATÍŽENÍ VÝBUchem" ■ THE RESPONSE TO THE ARTICLE NAMED "THE USE OF FIBRE-REINFORCED CONCRETE IN BLAST AND IMPACT DESIGN"

Jiří Štoller

Příspěvek reaguje na článek publikovaný v tomto časopise v čísle 2/2010 pod názvem „Využití přetvárných vlastností vláknobetonu pro zvýšení odolnosti staveb proti zatížení výbuchem“ a doplňuje jej o informace z vojenského prostředí a o výsledky získané při experimentálním ověřování vlastností drátkobetonových konstrukcí. ■ The paper is reaction to the article published in issue 2/2010 entitled “Use of fibre-reinforced concrete in blast and impact design” and complements it with information from a military background and results obtained during experimental verification of steel-fibre reinforced concrete properties.

Problematika teroristických útoků je v současné době aktuální i v armádách Severoatlantické aliance. Narůstající počet teroristických útoků na základny NATO vedl ke vzniku normy „STANAG 2280 MC ENGR (Edition 1) (Ratification draft 1) – Design Threat Levels and Handover Procedures for Temporary Protective Structures“ [1]. Jedná se o tzv. předběžnou normu, která vystihuje přesněji riziko napadení základny teroristy. Norma uvádí matici zatížení sestavenou na základě zkušeností z jednotlivých reálných konfliktů a z kvalifikovaných odhadů předních odborníků jednotlivých zemí NATO. Norma vznikla zejména proto, aby bylo možno lépe navrhovat a posuzovat budoucí i současné stavby na rizika daná konkrétními zbraněmi a výbušninami.

## CHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ PŘI ZATÍŽENÍ VÝBUchem

Ve světě se touto problematikou zabývá mnoho autorů. Existuje celá řada vzorců popisujících jak vlastní přetlak rázové vlny, tak i penetraci do prostředí. Vzorce byly odvozeny z experimentálních zkoušek a mají vypovídající hodnotu s určitou mírou nepřesnosti.

Důležitými parametry, které popisují přetlak rázové vlny, jsou vzdálenost od epicentra a množství trhaviny. Dalším neméně důležitým parametrem je vlastní výbušнина (do kategorie výbušnin patří – střeliviny, trřaskaviny, trřaviny a pyrotechnické složky). Většina vzorců pro výpočet přetlaku rázové vlny je experimentálně odzkoušena na TNT (Trinitrotoluen). Avšak i trřaviny se od sebe liší, protože každá má své spe-

cifické vlastnosti (detonační rychlost, výbuchové teplo, objemová koncentrace energie atd.).

Nelze globalizovat účinky výbuchu pouze na základě vzdálenosti od konstrukce, tak jak uvádí článek v čísle 2/2010. Rozhodující vliv zde mají další parametry, jako jsou:

- množství trhaviny,
- vzdálenost od konstrukce,
- tvar konstrukce,
- vlastní výbušнина.

Armáda Spolkové republiky Německo (Bundeswehr) v rámci přípravy svých předpisů na ochranu základny provedla řadu testů, kdy zatížila výbuchem celou vojenskou základnu. Základna měla tvar a složení přibližně stejné, jako je tomu u reálně postavených vojenských základen v zahraničních misích. Při testu odolnosti vůči zatížení několika stovkami kilogramů TNT bylo zjištěno, že prvky základny složené z příhradové konstrukce (strážní věž) odolaly bez větších problémů. Naopak deskové konstrukce (ubytovací a pracovní část základny) takové zatížení nebyly schopny přenést a došlo k jejich destrukci. Experiment prokázal, že na tvaru konstrukce záleží.

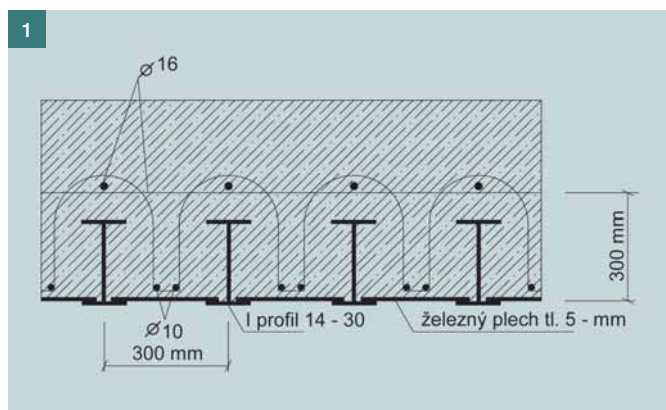
Již zmiňovaná norma STANAG 2280 [1] rozděluje možné zatížení konstrukce podle druhu zbraní (tab. 1). Každá kombinace zbraní je podrobně popsána, je zde uveden typ ráže, rychlost a váha střely. Existuje tedy matice zatížení a podle ní se navrhuje jednotlivé ochranné stavby.

Zpravodajská služba v tomto směru plní velmi důležitou úlohu. Vždy je nutno zjistit, kterými typy zbraní a hrozeb může být základna napadena. Podle matice zatížení se následně navrhuje opatření. Norma dále popisuje systém zkoušení ochranných staveb.

**Výbuch v těsné blízkosti konstrukce** způsobí vznik napěťové vlny (stress wave), která na kontaktní straně způsobí vznik nálevky (obr. 3a) [3]. Vlna pružných deformací dále prochází konstrukcí, aniž by konstrukci způsobila jakékoli problémy, až do doby, kdy dojde na druhou (lícovou) stranu konstrukce. Vlna pružných deformací prochází po kulových plochách až do doby, kdy se odrazí od vnitřního líce a vrací se zpět. Při tomto odrazu dochází ke vzniku velkých tahových napětí, která konstrukce není schopna přenést. Tímto

Tab. 1 Matice determinující zatížení staveb [1] ■ Fig. 1 Matrix determining the load of buildings

	A Small / medium calibre projectiles	B Shoulder launched weapons / Rifle grenades	C Battlefield rockets, artillery and Mortars	D Small / Personnel-borne IEDs	E VBIEDs
5	Automatic cannon 30 mm APDS	Advanced ASM Anti Structure Munition	155 mm artillery 122 mm rocket	Bag / Suitcase 20 kg TNT	Heavy truck / similar > 4 000 kg TNT
4	Heavy machine gun 12.7 – 14.5 mm AP	Anti-tank Shaped charge	120 mm mortar 107 mm rocket	Body-borne device 9 kg TNT, fragments	Medium truck 4 000 kg TNT
3	Assault / Sniper rifle 7.62 mm AP WC	Anti-personnel Thermobaric charge < 2.5 kg / Conventional	82 mm mortar	Large briefcase 9 kg TNT	Van 1 500 kg TNT
2	Assault rifle 5.56 – 7.62 mm AP	40 mm Rifle grenade Shaped charge	60 mm mortar	Package 1.5 kg TNT	Passenger vehicle 400 kg TNT
1	Assault rifle 5.56 – 7.62 mm Ball	(Reserved)	Hand grenade	Letter bomb 0.125 kg TNT	Motorbike



vznikají odštěpky (obr. 3b) [3], které jsou vymršťeny z konstrukce velkou rychlostí. Tento jev je známý již řadu let, zejména u ochranných staveb a obrněné techniky. Z tohoto důvodu se navrhuje v rámci konstrukce ochranných staveb tzv. protiodštěpkové vrstvy.

U obrněné techniky se pro zamezení vzniku odštěpků využívá vrstvený pancíř (přidáním materiálu na bázi plastu, keramiky apod.). Vlna pružných deformací se na styku dvou prostředí materiálu výrazně zpomalí a při dopadu na vnitřní konstrukci již nedochází ke vzniku odštěpků.

U ochranných staveb je tato problematika řešena pomocí tuhé nebo měkké protiodštěpkové vrstvy. Ocel zabudovaná do protiodštěpkové vrstvy [2] má být podle možností využita staticky, v rámci nosné funkce hlavní výztuže. Příklad vytvoření protiodštěpkové vrstvy je znázorněn na obr. 1 [3].

Tuhá protiodštěpková vrstva je tvořena tuhými ocelovými nosníky. Mezery mezi nimi jsou překlenuty ocelovými plechy a beton v prostoru mezi nosníky je vyztužen pruty Ø 10 a 16 mm. Tento typ byl prakticky vyzkoušen a bylo dokázáno, že pro protiodštěpkovou vrstvu je dostačující.

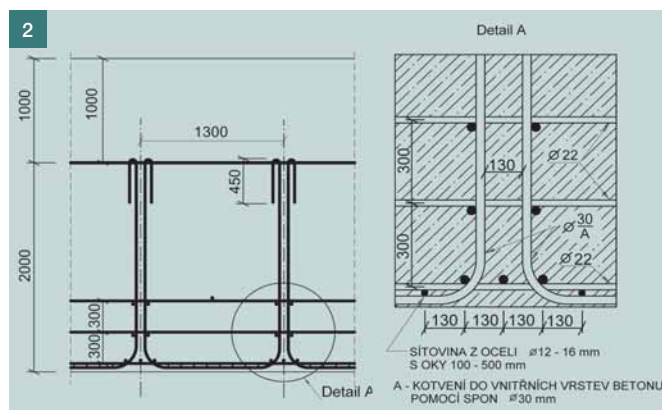
Měkká protiodštěpková vrstva je tvořena pouze pruty betonářské výztuže, z nichž jsou vytvořeny sítě (rohože) nebo koše. Skládá se obvykle z několika sítí z prutů Ø 12 až 16 mm, se čtvercovými nebo obdélníkovými oky, o straně 100 až 500 mm (vzdálenost prutů). Nej hustší síť je těsně u povrchu a směrem do hloubky betonu se oka sítí zvětšují. Síť musí být důkladně zakotvena do vnitřních vrstev betonu sponami. Na obr. 2 [3] je znázorněn náčrt měkké protiodštěpkové vrstvy. Tyto konstrukce byly odzkoušeny při postřelování ochranných staveb. Tudiž i u měkké protiodštěpkové vrstvy bylo experimentálně prokázáno, že je postačující.

Z tohoto důvodu nelze souhlasit s tvůrcem předešlého článku, že betonářská výztuž nemůže tomuto problému zabránit.

Autor tohoto článku v rámci své disertační práce řešil problematiku protiodštěpkové vrstvy použitím drátkobetonu. Použití této technologie mělo vést ke snížení technologické náročnosti dosavadních protiodštěpkových vrstev a zejména k úspoře finančních prostředků oproti dříve používaným protiodštěpkovým vrstvám.

Pro experiment bylo použito vysokopevnostního betonu C70/85. Prostým přidáním 30 kg/m<sup>3</sup> drátků DRAMIX RC-65/50-BN bylo dosaženo zvýšení pevnosti na pevnostní třídu C80/95. Z výsledků provedených zkoušek (pevnostní zkoušky, měření rychlostí odštěpků pomocí vysokorychlostní kamery, měření pomocí ultrazvukové impulsové metody, měření velikosti odštěpku po zatížení výbuchem plastické trhaviny PIHx 30) bylo zjištěno, že drátkobeton není vhodným materiálem pro protiodštěpkovou vrstvu.

Bylo zjištěno, že tento materiál vykazuje lepší odolnost vůči



Obr. 1 Tuhá protiodštěpková vrstva | Fig. 1 Solid antisplashing layer  
Obr. 2 Měkká protiodštěpková vrstva | Fig. 2 Soft antisplashing layer

dynamickému zatížení (výbuchu), než prostý beton. Dedukcí lze konstatovat, že kombinací drátkobetonu s klasickou výztuží by konstrukce vykazovaly lepší odolnost vůči zatížení než konstrukce železobetonové.

Při vzniku odštěpků drátkobetonových konstrukcí dochází k opačnému efektu ochrany osádky. Pokud by ochranná stavba vybudovaná ze železobetonu byla zasazena penetraátorem a protiodštěpková vrstva by v ochranné stavbě nebyla řešena, došlo by vlivem uvolnění velkého množství materiálu (odštěpků) ke zranění osádky v úkrytu.

Ještě horší případ by nastal, pokud by protiodštěpková vrstva byla řešena pomocí drátkobetonu. Odštěpky by byly pro osádku fatální z důvodu přítomnosti drátků, které by se změnilly v projektily (obr. 4) [3].

**Výbuch v těsné blízkosti.** Autor článku „Využití přetvárných vlastností vláknobetonu pro zvýšení odolnosti staveb proti zatížení výbuchem“ popisuje princip šíření tlakové vlny při tomto typu výbuchu. Tlaková vlna jak je popsáno v článku výše způsobí ráz na konstrukci a dále se šíří jako vlna pružných deformací. Při dosažení lícové strany konstrukce (vnitřního povrchu stavby) dochází k odrazům od lícové strany. Tyto odrazy způsobí velké tahové napětí, které není konstrukce schopna přenést, a tím vznikají odštěpky, které jsou vymršťeny z konstrukce velkou rychlostí. Hlavní část vlny neodchází do vzduchu za konstrukcí, jak je uvedeno ve zmíněném článku, protože kdyby tomu tak bylo, konstrukce by selhala jako celek a došlo by k proražení celé konstrukce. Při nárazu tlakové vlny na konstrukci dochází nejen k vlně pružných deformací, ale také k obtékání vlny kolem konstrukce, kde dále může vznikat i podtlak, může docházet k dalším odrazům apod.

Drátkobeton je materiálem, který lépe než prostý beton nebo vyztužený beton absorbuje energii výbuchu. Je však nutné konstatovat, že drátkobeton pravděpodobně nenahradí výztuž, která se používá na vyztužení konstrukcí ochranných staveb. Nicméně je možné konstatovat, že drátkobeton ve zkouškách zatížení výbuchem vykazoval až 3x větší odolnost oproti prostému betonu [3].

Tato skutečnost svědčí o tom, že tento materiál je vhodný pro použití při budování a navrhování ochranných staveb. Spojením železobetonu a drátkobetonu se vytvoří odolnější konstrukce (hlavní nosná konstrukce). Takto vytvořená konstrukce by měla vykazovat vyšší odolnost vůči penetraci projektilů a bomb, které jsou určeny k ničení odolných cílů.



Obr. 3 Zkušební deska z drátkobetonu, a) pohled na nálevku vzniklou výbušninou PIHx30, b) pohled z lícové strany – vznik odštěpků ■ Fig. 3 The test plate of steel fibers reinforced concrete, a) view of the funnel created by explosive PIHx30, b) view from the front side – the emergence of spall

Obr. 4 Zkušební deska č. 10 drátkobeton – vysokorychlostní kamera – odštěpky ■ Fig. 4 Test panel No. 10 steel fiber reinforced concrete – high-speed camera – spall

#### Literatura:

- [1] Stanag 2280 – Mc Engr (Edition 1) (Ratification Draft 1) – Design Threat Levels and Handover Procedures for Temporary Protective Structures. NATO Standardization Agency, June 2007
- [2] Dvořák P., Štoller J.: Dočasné ochranné stavby I., (Skriptá), 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2005, 102 s.
- [3] Štoller J.: Využití drátkobetonu pro ochranné stavby, (Doktorská disertační práce), Brno: Univerzita obrany, 2005, 230 s.

Při posuzování drátkobetonu s prostým betonem je nutné si uvědomit odlišnost odezvy betonu na ráz a výbuch od odezvy na statické namáhání. Jedná se jednak o zvýšení pevnosti betonu při krátkodobém namáhání a jednak o skutečnost, že při místním působení (zatížení v případě rázu i výbuchu působí bezprostředně jen na malé ploše) pracuje beton v podmínkách velkého bočního tlaku. Obojí hraje velkou roli – při velmi krátké době působení (odpovídající zmíněným případům zatížení) vzrůstá pevnost betonu v tlaku až zhruba na dvojnásobek a jeho odolnost proti stlačení ve srovnání s krychelnou pevností zhruba na čtyř až pětinašobek.

Správnou cestou v nacházení nových materiálů využitel-

ných pro protiodštěpkovou vrstvu by mohla být sendvičová konstrukce. Analogii, jak je napsáno výše v tomto článku, lze najít u obrněných vozidel, kde dochází k podobnému jevu jako u ochranných staveb.

Major Ing. Jiří Štoller, Ph.D.  
Katedra ženíjních technologií  
Fakulta vojenských technologií Univerzity obrany  
Kounicova 65, 662 10 Brno  
tel.: 973 443 282  
e-mail: jiri.stoller@unob.cz

