



OPTIMALIZACE NÁVRHU OCHRANNÉ STAVBY PROTI ÚČINKŮM TLAKOVÉ VLNY

Petr Dvořák¹⁾, Jiří Štoller²⁾

ABSTRAKT

Příspěvek pojednává o optimalizaci návrhu ochranné stavby proti účinkům tlakové vlny. Prostorové modely konstrukcí ochranných staveb byly vystaveny zatížení tlakové vlny způsobené výbuchem TNT. Na základě výpočtů a analýzy údajů získaných z programu ANSYS byl stanoven optimální tvar konstrukce ochranné stavby.

Klíčová slova:

ochranná stavba, tlaková vlna, spolupůsobení, přetlak

ABSTRACT

This article deals with a research focused on an above-ground protective structure exposed to effects of shock wave. Protective structures were designed and their behaviour under loading of a shock wave was simulated in software ANSYS. After the analysis of results, the most appropriate shape of a protection structure was chosen.

Key words:

protective structure, shock wave, interaction, overpressure

ÚVOD

Ochranné stavby jsou jedním z nejdůležitějších prvků každé vojenské základny budované v zahraniční misi. Jejich úkolem je chránit živou sílu a techniku v případě napadení základny protivníkem. V současné době se v Armádě České republiky používá norma STANAG 2280 [1], která popisuje zkušební postupy a třídění ochranných staveb podle účinku různých druhů zbraní, např. konvenční zbraně nebo

¹⁾ Petr Dvořák, Faculty of Military Technology, University of Defence, Kounicova 65, 662 10 Brno, Czech Republic, email: petr.dvorak@unob.cz

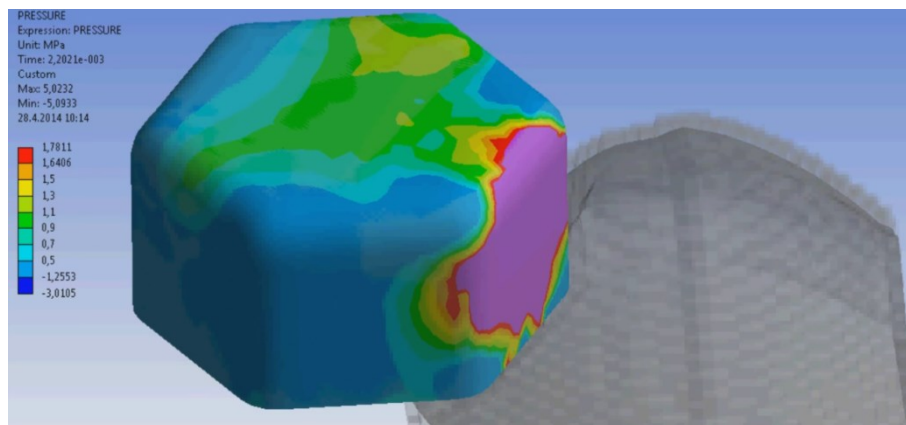
²⁾ Jiří Štoller, Faculty of Military Technology, University of Defence, Kounicova 65, 662 10 Brno, Czech Republic, email: jiri.stoller@unob.cz

improvizovaná výbušná zařízení. Dále se pro navrhování a posuzování především zapuštěných ochranných staveb používá předpis Žen 2-1/1 [2], který je v současné době v revizi, tak aby odrážel současný stav poznání v oblasti navrhování ochranných staveb z novodobých materiálů. Zároveň s novými stavebními hmotami a materiály se vývoj zaměřuje i na ověřování nových tvarů ochranných staveb, které optimálně spolupůsobí s účinky tlakové vlny vzniklé při explozi trhaviny.

1 ŘEŠENÍ

Bylo vytvořeno několik prostorových modelů představujících svým tvarem ochrannou stavbu, které následně byly v programu ANSYS vystaveny zatížení tlakovou vlnou, po dobu deseti sekund, vzniklou výbuchem deseti kilogramů TNT. Porovnáním výsledků přetlaku a podtlaku u jednotlivých konstrukcí byl vyhodnocen nejvhodnější tvar konstrukce ochranné stavby [3].

1.1 HEXAGON SE ZAOBLENÝMI HRANAMI



Obrázek 1 Hexagon se zaoblenými hranami

Popis tvaru: Hexagon se zaoblenými hranami (Obrázek 1) o poloměru 400 mm s délkou strany 2,1 m a výškou 2,1 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na čelní stěnu konstrukce. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 1,5 MPa, a to po dobu 1 s. Toto může být problém z hlediska statiky konstrukce. Lokální maxima (5 MPa a 3 MPa) se vyskytují na hranách mezi stěnami a na hranách mezi stěnou a stropem. Vzhledem ke krátké době působení (0,2 s) se nemusí brát v úvahu. Na čelní stěnu působí střídavě přetlak (1 MPa) a podtlak (krátkodobě až -3 MPa).

Výhody/nevýhody tvaru:

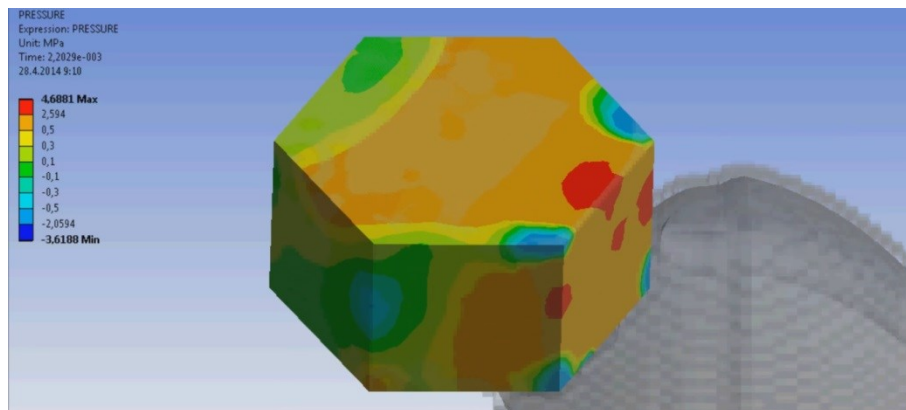
- Možnost sestavování ochranné stavby z jednotlivých fragmentů.
- Zaoblené hrany – složitější na konstrukci.

- Půdorys podobný kruhu a minimalizace výskytu ostrých hran – předpoklad dobrého obtékání tlakovou vlnou.

1.2 HEXAGON

Popis tvaru: Hexagon (Obrázek 2) s délkou strany 2,1 m a výškou 2,1 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na čelní stěnu konstrukce. Dlouhodobě zde působí přetlak 0,5 – 2,5 MPa. Na hraně se stropem se po celou dobu zkoušky (10 s) střídá přetlak (0,5 – 1,4 MPa) a podtlak (-0,5 MPa), což způsobuje značné namáhání konstrukce. Strop konstrukce je také dlouhodobě zatěžován přetlakem o hodnotách přes 0,5 MPa. Lokální zatížení přetlakem 4,67 MPa se vyskytuje na hranách čelní stěny, ale vzhledem ke krátké době působení (0,2 s) se k němu dále nepřihlíží. Nejvíce namáhána je čelní horní hrana.

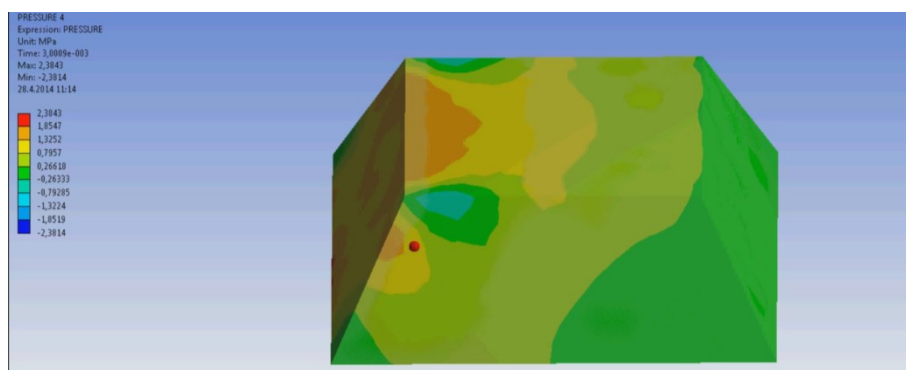


Obrázek 2 Hexagon

Výhody/nevýhody tvaru:

- Možnost sestavování ochranné stavby z jednotlivých fragmentů.
- Ostré hrany – jednodušší na konstrukci.
- Půdorys podobný kruhu – předpoklad dobrého obtékání tlakovou vlnou.

1.3 KOMOLÝ JEHLAN



Obrázek 3 Komolý jehlan

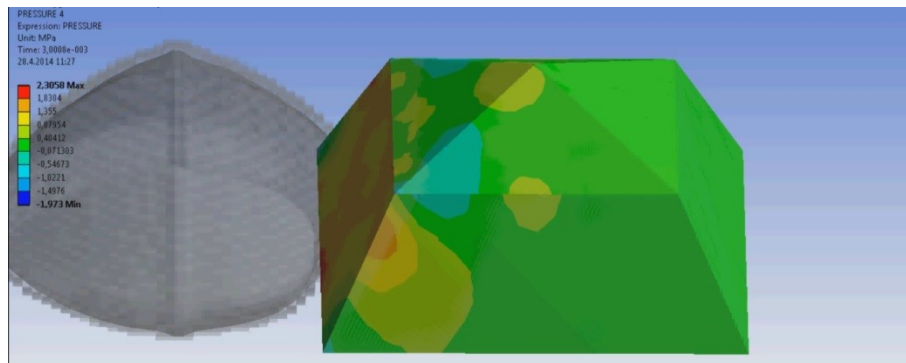
Popis tvaru: Komolý jehlan (Obrázek 3) s výškou 2,1 m, podstavou o délce hrany 6 m a střechou o délce hrany 4 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na zadní stěnu konstrukce. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 0,5 MPa a to po dobu 1,2 sekund. Po dobu 1 s zde působí podtlak nižší než -1 MPa. Na celé výšce zadní stěny působí střídavě přetlak a podtlak (krátkodobě až -2,28 MPa). Strop je v tomto případě prakticky nezátížen tlakovou vlnou.

Výhody/nevýhody tvaru:

- Možnost sestavování ochranné stavby z jednotlivých fragmentů.
- Ostré hrany – jednodušší na konstrukci.
- Nakloněné stěny – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou, ale horší na konstrukci.

1.4 KOMOLÝ JEHLAN SE STŘECHOU



Obrázek 4 Komolý jehlan se střechou

Popis tvaru: Komolý jehlan s výškou 2,1 m, podstavou o délce hrany 6 m a střechou (Obrázek 4) o délce hrany 4 m a na něm je umístěn jehlan o délce hrany 4 m a výšce 1 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na zadní stěnu konstrukce. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 0,5 MPa a to po dobu 1,6 a 1,2 sekundy. Po dobu 1,2 a 2 s zde působí podtlak nižší než -0,5 MPa.

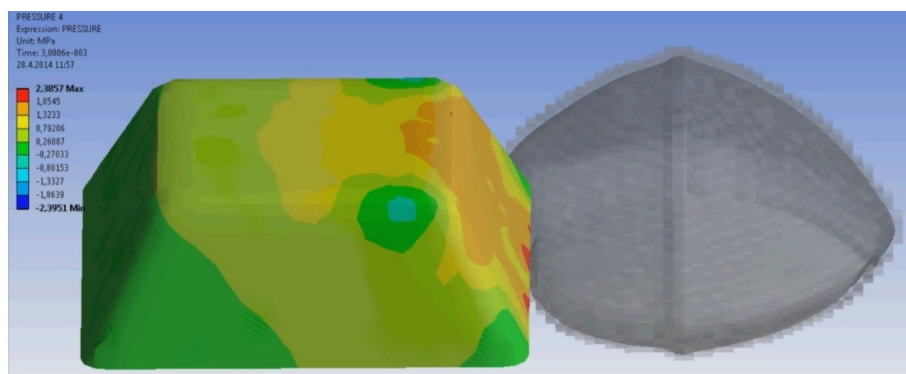
Výhody/nevýhody tvaru:

- Možnost sestavování ochranné stavby z jednotlivých fragmentů.
- Ostré hrany – jednodušší na konstrukci.
- Nakloněné stěny – předpoklad dobrého obtékání tlakovou vlnou.
- Absence ploché střechy – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.

1.5 KOMOLÝ JEHLAN SE ZAOBLENÝMI HRANAMI

Popis tvaru: Komolý jehlan se zaoblenými hranami (Obrázek 5) o poloměru 400 mm, s výškou 2,1 m, podstavou o délce hrany 6 m a střechem o délce hrany 4 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na zadní stěnu konstrukce. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 1 MPa po dobu 1 sekundu a podtlak nižší než -0,5 MPa dvakrát po dobu 1 s na zadní stěnu. Po dobu 1 s zde působí přetlak vyšší než 0,5 MPa. Přetlak a podtlak působí na zadní stěnu střídavě. Strop konstrukce je zatěžován střídavě z obou stran přetlakem a podtlakem.

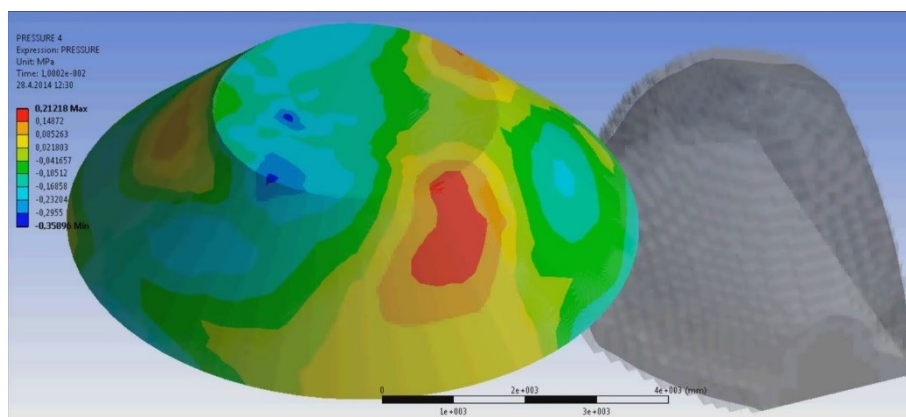


Obrázek 5 Komolý jehlan se zaoblenými hranami

Výhody/nevýhody tvaru:

- Možnost sestavování ochranné stavby z jednotlivých fragmentů, složitější než u nezaoblené varianty.
- Zaoblené hrany – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Nakloněné stěny – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.

1.6 KOMOLÝ KUŽEL



Obrázek 6 Komolý kužel

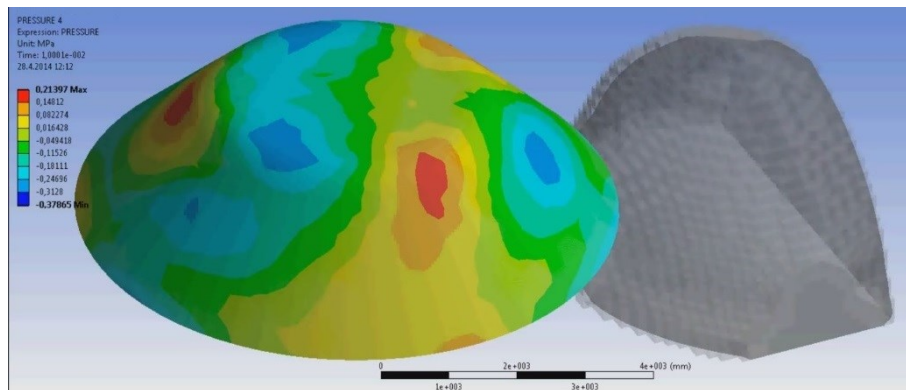
Popis tvaru: Komolý kužel (Obrázek 6) s podstavou o poloměru 8 m, vrcholem o poloměru 4 m a výškou 2 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na část plochy ve směru šíření tlakové vlny. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 0,5 MPa po dobu 1 sekundu a přetlak vyšší než 1 MPa po dobu 1,6 sekundy. Na střechu působí mírný přetlak (do 0,2 MPa) a poté mírný podtlak (do -0,2 MPa).

Výhody/nevýhody tvaru:

- Minimum hran – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Nakloněné stěny a kruhový půdorys – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Velké množství nevyužitého prostoru a velmi složité na konstrukci.

1.7 KOMOLÝ KUŽEL SE ZAOBLENOU HRANOU



Obrázek 7 Komolý kužel se zaoblenou hranou

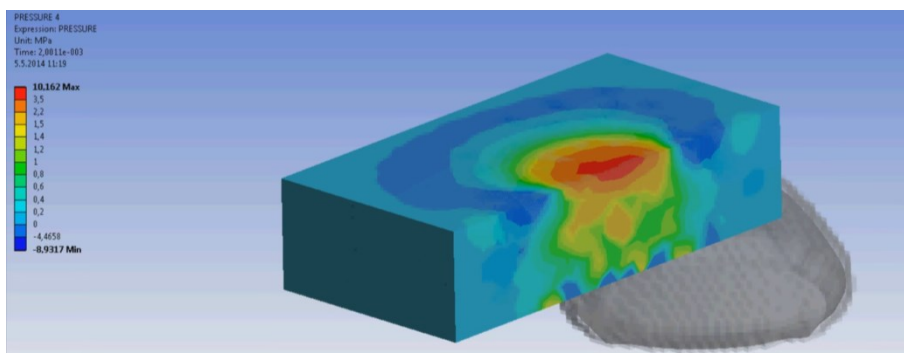
Popis tvaru: Komolý kužel se zaoblenou hranou (Obrázek 7) o poloměru 400 mm a s podstavou o poloměru 8 m, vrcholem o poloměru 4 m a výškou 2 m.

Vyhodnocení: Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou po výbuchu 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m působí na část plochy ve směru šíření tlakové vlny. Dlouhodobě zde působí přetlak vyšší než 0,5 MPa po dobu 1 sekundu a přetlak vyšší než 1 MPa po dobu 1,6 sekundy. Krátkodobě (0,8 s) tady působí přetlak 1,6 MPa. Na střechu působí mírný přetlak (do 0,3 MPa) a poté mírný podtlak (do -0,3 MPa).

Výhody/nevýhody tvaru:

- Absence ostrých hran – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Nakloněné stěny – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Kruhový půdorys – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Rozsáhlý nevyužitý prostor, náročné na pozemek, velmi složité na konstrukci.

1.8 KVÁDR



Obrázek 8 Kvádr

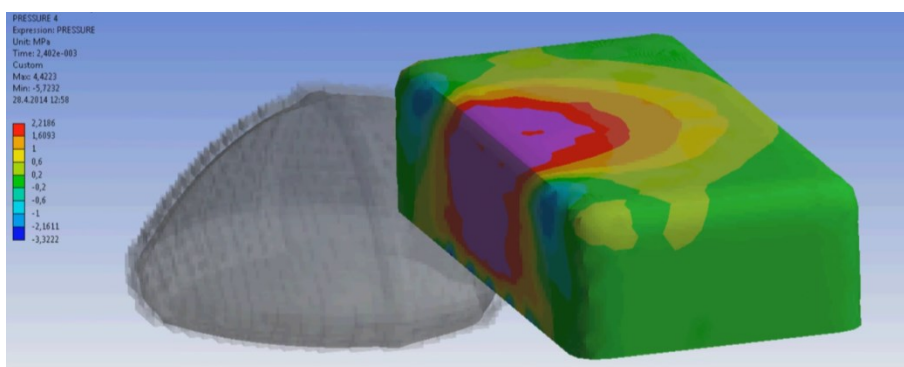
Popis tvaru: Kvádr (Obrázek 8) s podstavou 8 x 4,5 m a výškou 2 m.

Vyhodnocení: Byl vyhodnocován výbuch 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m kolmo na delší stranu konstrukce. Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou působí na čelní stěnu u hrany se střechou. Dlouhodobě zde působí přetlak 1 MPa a to po dobu 1 a 1,4 s. Poté zde po dobu 1 s působí podtlak přes -1 MPa. Na přední rohy u země působí přetlak 1,5 MPa po dobu 1 s. Na střechu působí po dobu 2 s podtlak nejméně -4 MPa.

Výhody/nevýhody tvaru:

- Pravoúhlé hrany – jednoduchá konstrukce, možnost stavět z jednotlivých fragmentů.
- Jednoduché bednění v případě ŽB konstrukce.
- Velké kolmé plochy – horší obtékání tlakovou vlnou.

1.9 KVÁDR SE ZAOBLENÝMI HRANAMI



Obrázek 9 Kvádr se zaoblenými hranami

Popis tvaru: Kvádr se zaoblenými hranami (Obrázek 9) o poloměru 400 mm s podstavou 8 x 4,5 m a výškou 2 m.

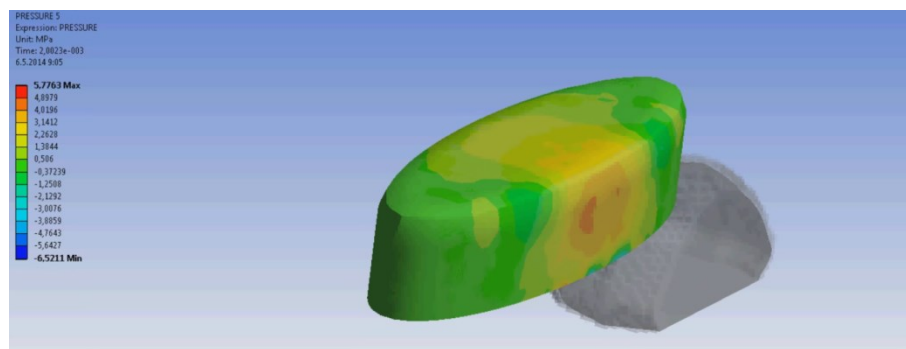
Vyhodnocení: Byl vyhodnocován výbuch 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m kolmo na delší stranu konstrukce. Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou působí na část plochy

u hrany se střechou. Dlouhodobě zde působí přetlak 1 MPa a to po dobu 1,4 s a poté po dobu 1,8 s. Na zadní rohy u země působí přetlak přes 1,5 MPa po dobu 1 s. Na přední rohy u země působí podtlak více než -1,5 MPa po dobu 3 s. Na zadní stěnu u země působí po dobu 1,4 s podtlak nejméně -1 MPa a potom zde vznikne přetlak 1 MPa po dobu 1,4 s.

Výhody/nevýhody tvaru:

- Zaoblené hrany – složitější konstrukce, ale lepší obtékání tlakovou vlnou.
- Možnost stavět ochrannou stavbu z jednotlivých fragmentů.
- Složitější bednění v případě ŽB konstrukce.
- Velké kolmé plochy – horší obtékání tlakovou vlnou.

1.10 OVÁL



Obrázek 10 Ovál se zaoblenou hranou

Popis tvaru: Ovál s rozměry 5,1 x 2,1 m a výškou 2,1 m a se zaoblenými hranami (Obrázek 10) o poloměru 400 mm.

Vyhodnocení: Byl vyhodnocován výbuch 10 kg TNT ze vzdálenosti 2 m kolmo na delší stranu konstrukce. Nejvyšší zatížení tlakovou vlnou působí na část plochy ve směru šíření tlakové vlny. Kolmo na část plochy ve směru šíření tlakové vlny dlouhodobě působí přetlak 1 MPa, a to po dobu 1,6 a 1,4 s a po dobu 1,6 s zde působí přetlak přes 0,5 MPa. Poté zde po dobu 1,2 s působí podtlak přes -0,5 MPa. Na přední plochu u země (pod 5 cm) působí podtlak -2 MPa po dobu 3 s.

Výhody/nevýhody tvaru:

- Minimum hran – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Oválný půdorys – předpoklad lepšího obtékání tlakovou vlnou.
- Velmi složité bednění v případě ŽB konstrukce.
- Velké plochy – horší obtékání tlakovou vlnou.

ZÁVĚR

Z výše uvedených hodnocení jednotlivých typů konstrukcí ochranných staveb je zřejmé, že nejlepším tvarem z hlediska spolupůsobení stavby s účinky tlakové vlny je hexagon se zaoblenými hranami [4]. Tabulka 1 přehledně zobrazuje vybrané charakteristiky tvaru ochranné stavby, které mohou zlepšit nebo zhoršit obtékání stavby tlakovou vlnou.

Tabulka 1 Rysy ochranné stavby zlepšující nebo zhoršující obtékání tlakovou vlnou

Kladné rysy	Záporné rysy
<ul style="list-style-type: none">• Zaoblené hrany	<ul style="list-style-type: none">• Ostré hrany
<ul style="list-style-type: none">• Kruhový nebo oválný půdorys	<ul style="list-style-type: none">• Pravoúhlý půdorys
<ul style="list-style-type: none">• Nakloněné stěny	<ul style="list-style-type: none">• Rozsáhlé kolmé/svislé plochy stěn
<ul style="list-style-type: none">• Šikmá střecha	<ul style="list-style-type: none">• Plochá střecha
<ul style="list-style-type: none">• Malé množství hran	<ul style="list-style-type: none">• Velký počet hran

Tlaková vlna hexagon se zaoblenými hranami dobře obtéká a případný podtlak nebo přetlak nezatěžuje konstrukci nad únosnou mez. Tento hexagon je také vhodný zejména pro svůj relativně jednoduchý tvar a jeho konstrukce bude pravděpodobně složena z několika opakujících se totožných segmentů, které bude možno snadno sestavit a jejichž spoje zaručí správný přenos zatížení mezi jednotlivými segmenty.

LITERATURA

- [1] NATO Standardization Agency. STANAG 2280 Design threat levels and handover procedures for temporary protective structures. Brusel, Belgie, 2008.
- [2] Žen 2-1/1: Polní opevňování. In: Praha: Ministerstvo národní obrany, 1972.
- [3] MAŇAS, P., KROUPA, L. The Blast Effects Simulation Tools within Force Protection Engineering and Critical Infrastructure Security. Drilling and Blasting Technology, 2012, vol. 2012, no. September, p. 42-48. ISSN 1788-5671.
- [4] HENRYCH, J. Dynamika výbuchu a její užití. První. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1973. ISBN 509-21-875.