

STANOVENÍ ODEZVY KONSTRUKCE OD VÝBUCHU PLYNU

Miroslav Mynarz^{*)}

ABSTRAKT

V příspěvku jsou ověřovány jednoduché výpočetní přístupy vedoucí ke stanovení výbuchového zatížení a jeho účinků na stavební konstrukce. Parametry tlakové vlny jsou určeny pro vybraný objekt. Stanovení parametrů výbuchového zatížení je provedeno více způsoby a je modelován odhad jeho účinků na vlastní stavební konstrukci pomocí numerického modelování.

Kľúčové slová:

výbuch, zemní plyn, odezva konstrukce, stavební konstrukce

ABSTRACT

In this paper simple computational approaches to determination of blast load and its effects on structures are proved. Blast waves parameters are defined for chosen construction. Blast load parameters are calculated by several methods. Estimation of its effects on the structure is modeled using numerical modelling.

Key words:

blast, natural gas, structure response, building structure

1 ÚVOD

Statistické údaje hasičského záchranného sboru ČR ukazují dlouhodobě nepříznivý stav vysokého počtu výbuchů plynu v objektech. Jedná se zejména o výbuchy zemního plynu. I přes veškerou snahu o podchycení řízeného rizika může dojít ke vzniku havárie. Z praxe se čím dál tím více ukazuje, že se musí více dbát na management bezpečnosti a ochrany zdraví, jelikož oba tyto aspekty jsou především

^{*)} Miroslav Mynarz, Ing., VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Lumírova 13, Ostrava – Výškovice, e-mail: miroslav.mynarz@vsb.cz

spjatý s životy a zdravím osob, ale i se značnými finančními náklady v případě vzniku vážné nehody či mimořádné události. Aby se snížil vliv havárie, jež je spojena s výbuchem, je třeba při projektování objektu, zařízení, systému či jeho okolí brát v úvahu výbuchové parametry tlakových vln a na základě těchto informací o výbuchové zatížení tomu přizpůsobit danou výstavbu. Problematika šíření tlakových vln je velmi obsáhlá a komplikovaná s celou řadou nejistot a postupů řešení. Pro podrobné řešení interakce se stavební konstrukcí je však nutné znát výbuchové parametry a na jejich základě stanovit výbuchové zatížení.

2 STANOVENÍ VÝBUCHOVÉHO ZATÍŽENÍ V ČÁSTEČNĚ UZAVŘENÉM PROSTORU

Pro stanovení zatížení způsobeného výbuchem pro všechny části pozemních a inženýrských staveb, ve kterých se používá nebo reguluje plyn, nebo kde se skladují výbušné látky jako výbušné plyny nebo kapaliny tvořící výbušné páry, nebo kde se plyn skladuje či přepravuje (např. chemická zařízení, kontejnery, zásobníky, stavby pro odpadní vody, obytné budovy s instalacemi plynu, energovody, tunely pozemních a drážních komunikací) můžeme postupovat dle [1]. Pro účely této normy je výbuch vymezen jako rychlá chemická reakce prachu, plynu a par ve vzduchu. Při tom budeme muset uvažovat přenášení výbuchového tlaku (vysoké přetlaky a teploty) tlakové vlny z nenosných prvků stavební konstrukce na prvky nosné a následně jejich reakce. Tlak vyvolaný vnitřním výbuchem závisí především na druhu a stejnorodosti výbušného souboru, na jeho koncentraci, zdroji vznícení, na turbulenci způsobené vnitřními předměty a na velikosti a množství výbušného souboru, jenž se bude podílet na účinku exploze. Pokud se má budova dostatečně odlehčit od účinků výbuchu, musí být vybavena potřebným množstvím výfukových (odlehčovacích, ventilačních) ploch. Za výfukové prvky můžeme brát lehké střechy, stěny, případně i dílčí plochy v obvodových konstrukcích jako jsou okna a dveře. U oken a dveří se však musí přihlídnout k nebezpečí zranění osob úlomky skla a rámy daných výplní otvorů, jež jsou při výbuchu roztrženy [1].

3 VÝPOČETNÍ POSTUPY PRO STANOVENÍ ODLEHČENÉHO VÝBUCHOVÉHO TLAKU

Odlehčení výbuchu znamená, že při vzniku výbuchu a po dosažení předem definovaného tlaku se na krátkou dobu nebo trvale otevře původně uzavřený prostor. Princip odlehčení výbuchu tedy spočívá v tom, že po rozvoji výbuchu a dosažení určité hodnoty reakčního tlaku odlehčovacího prvku dojde k otevření odlehčovacího otvoru, tím se propojí původně uzavřený vnitřní prostor s vnějším prostředím. Takto snížený tlak se nazývá odlehčený výbuchový tlak nebo také redukovaný tlak [3]. Pro stanovení odlehčeného (redukovaného) výbuchového tlaku je možno nalézt velké množství vztahů, vzorců a postupů. Pro praktickou aplikaci byl zvolen výpočtový postup dle Cubbaga a Simmondse [2], Runesse [6] a evropské normy EN – 1991-1-7 [1]. Teorie a výpočetní vztahy výše zmíněných postupů byly již dříve publikovány v [5].

4 PRAKTICKÁ APLIKACE VÝPOČETNÍCH POSTUPŮ NA OBJEKTU

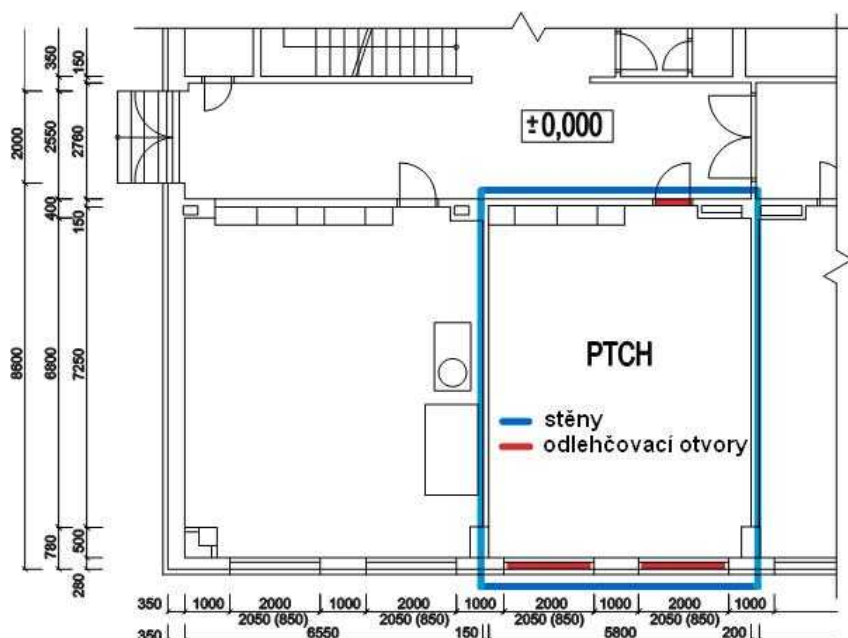
4.1 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Případová studie se zabývá odhadem mohutnosti výbuchu v případě úniku zemního plynu v laboratoři s předpokladem vytvoření výbušné atmosféry. Byl vybrán objekt nové budovy Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB – TU Ostrava, a to laboratoř PTCH prachů, viz obr. 1. V této místnosti byl nasimulován vnitřní (částečně ohraničený) výbuch plynné výbušné směsi.

4.2 POPIS KONSTRUKCE A ZATÍŽENÍ

Posuzovaný objekt má tři nadzemní podlaží. Podle projektové dokumentace se jedná o železobetonový skelet. Výplně skeletu jsou tvořeny zděným obvodovým pláštěm a rovněž zděnými příčkami. Rozměry místnosti laboratoře jsou 7,75 x 5,8 m a světlá výška podlaží je 3,2 m. V obou kratších stěnách se nacházejí stavební otvory (okna, dveře) a mohou se tedy uvažovat jako odlehčovací plochy, viz obr. 1. Strop je proveden ze železobetonu.

V případové studii byl únik plynu uvažován v přízemí. Výbušné zatížení bylo uvažováno jako rovnoměrně rozložený statický tlak současně účinně působící na všechny plochy ohraničující prostor. Předpokládalo se otevření výfukových otvorů, tzn. jednalo se o ventilovaný výbuch. Důležitým parametrem pro odhad účinku výbuchu je doba působení přetlakové fáze tlakové vlny. V případě výbuchů plynných směsí se tato doba pohybuje ve stovkách milisekund. Pro tento případ byla doba přetlakové fáze tlakové vlny odhadnuta na 600 ms, a to především na základě publikace [4].



Obr. 1: Dispozice laboratoře – výsek půdorysu 1. podlaží

Základní vstupní informace:

- výbušná směs: metan se vzduchem;
- množství hořlavého plynu - dlouhodobý únik plynu;
- koncentrace dolní hranice výbušnosti je 5 obj. %.

Tab. 1: Vstupní informace o místnosti a o rozsahu úniku zemního plynu

Dispozice místnosti					Rozsah úniku		
Místnost	Účel místnosti	Plocha	Objem místnosti	Odlehčovací plocha	Objem	Hmotnost	DHV
		[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[kg]	[Obj %]
LC 114	Lab. PTCH prachů	44,5	133,5	8,2	6,675	4,407	5,0

K určení výbuchové tlaků při ventilovaném výbuchu byly použity tři výše zmíněné způsoby výpočtu. Ručním výpočtem získané hodnoty výbuchové tlaků jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2: Získané hodnoty z jednotlivých výpočtů - srovnání

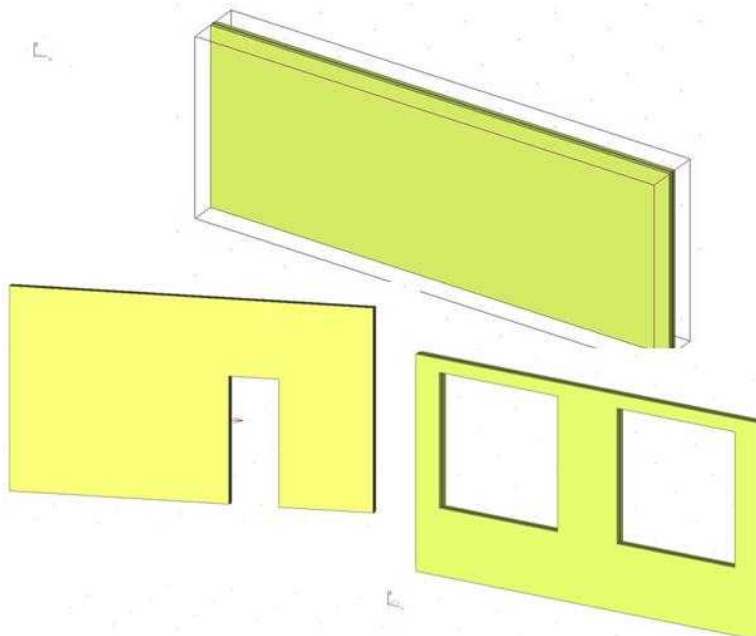
Výpočet dle:		Odlehčený výbuchový tlak p [kPa]		Doba přetlakové fáze $\tau+$ [ms]
1	Cubbage a Simmondse	P ₁	2,34	600
		P ₂	13,56	
2	Runesse	P _{red}	13,38	
3	EN – 1991-1-7	p _d	6	
		p _d	9,67	

5 VÝPOČET PORUŠENÍ STĚN MÍSTNOSTI BUDOVY

Po získání odhadů výbuchové tlaků je pak možno podle nároků na přesnost výsledků provést posouzení vybraných částí konstrukce, a to buď zjednodušeným způsobem nebo náročnějším výpočtem s užitím numerických modelů. V tomto případě byly sestaveny numerické modely všech stěn místnosti objektu. Stěny tvoří výplň skeletové konstrukce a jejich uložení je uvažováno kloubové po celém obvodu. Tlaková vlna bude působit s rovnoměrně spojitým rozložením kolmo na střednicovou rovinu stěny v délce trvání 0,6 s a o hodnotě přetlaku 13,56 kPa. Zdivo je zhotoveno z pálených cihel na obyčejnou vápenocementovou maltu se spárami zcela vyplněnými maltou tloušťky 10 mm. Objemová hmotnost zdicích prvků je 1950 kg/m³ a pevnost v tlaku 25 MPa. Pevnost malty pro zdění v tlaku je 10 MPa. Zděné konstrukce lze zjednodušeně posuzovat až do vzniku trhlin jako lineárně pružnou soustavu a o jejich porušení zpravidla rozhoduje pevnost zdiva v tahu za ohybu.

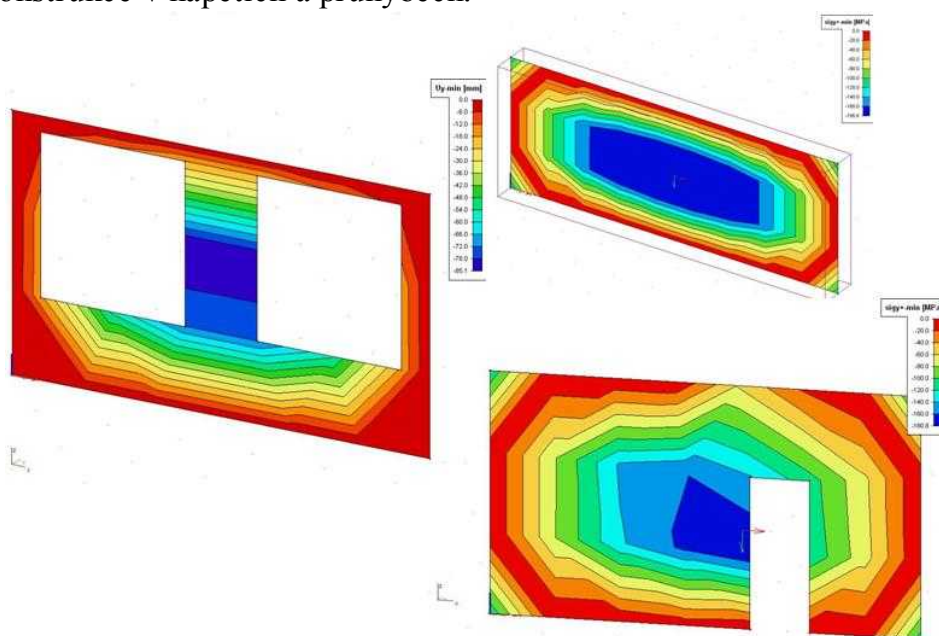
5.1 FORMULACE MATEMATICKÉHO MODELU

K výpočtům byla využívána programová aplikace založená na metodě konečných prvků. Cílem výpočtové analýzy bylo stanovit odezvu nejvíce namáhaných částí konstrukce. Jde jednak o výplňové zdivo vnitřních stěn, v případě kratší stěny oslabené vstupními dveřmi, a jednak zdivo obvodové stěny (viz obr. 2).



Obr. 2: Výpočtové modely zdi

Výpočtové modely byly sestaveny jako dílčí (úsekové) modely. Součástí výpočtu modelů konstrukcí bylo stanovení naladění konstrukce. Vzhledem k časové charakteristice výbuchového zatížení jsou rozhodující nejnižší vlastní frekvence a tvary jejího kmitání. Na obrázku 3 je pro vybrané modely uvedeny výsledné obálky odezvy konstrukce v napětích a průhybech.



Obr. 3: Rozložení napětí a tvar průhybové plochy

6 ZÁVĚR

Je-li znám přetlak od výbuchu, lze dle literatury [3], tabulka 6-1, odhadnout pravděpodobné škody na konstrukci. V případě, že je zapotřebí podrobnější posouzení vybrané části konstrukce, je možné použít numerické modelování. Z výpočtů přetlaku ventilované exploze v prostoru laboratoře byly získány výbuchové tlaky dle různých postupů v rozmezí 9,7 až 13,6 kPa (viz Tab. 2). Odlehčený výbuch v posuzované laboratoři by měl za následek při vypočteném přetlaku rozbití skleněných výplní oken a vyrazení dveřního křídla. Numerickým výpočtem bylo prokázáno, že v důsledku výbuchu dojde k porušení dělicí příčky mezi laboratořemi a k vážným škodám na ostatních zdech. Vypočtená napětí a průhyby řádově překračují pevnost malty ve zdivu, při tomto zatížení dojde k rozvoji řady trhlin jak ve spárách mezi zdmi, tak napříč přes cihly.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1991-1-7: Zatížení konstrukcí - obecná zatížení - Mimořádná zatížení. ČNI, Praha, 2007
- [2] CUBBAGE, P. A., Simmonds, W.A.: An investigation of explosion reliefs for industrial drying ovens – I Top reliefs in box ovens. Trans. Inst. Gas Eng., 1955
- [3] DAMEC, J.: Protivýbuchová prevence. Učebnice pro studenty oboru TPO a BP. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Ostrava: edice SPBI, 1999. 188s. ISBN 80-8611-21-0
- [4] JANOVSKEÝ, B., Podstawka, T., Makovicka, D., Horkel, J., Vejs, L.: Pressure wave generated in vented confined gas explosions: Experiment and simulation; In: Vejvoda, S.: Transactions of 17th International Conference on SMiRT (International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology), Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, 2003
- [5] MYNARZ, M., Šimoník, Z.: Možnosti stanovení parametrů výbuchového zatížení u vybraného stavebního objektu. Časopis SPEKTRUM, ročník 10, číslo 2/2010, str. 24 – 26, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava
- [6] RUNESS, E.: Explosion venting; Loss Prevention, 6, 63-67, 1972, citované v: Razus, D.M., Krause, U.: Comparison of empirical and semi-empirical calculation methods for venting of gas explosions; Fire Safety Journal. 36, 1-23, 2001

Příspěvek byl napsán jako dílčí část projektu studentské grantové soutěže (SGS 2011) „Vývoj zařízení pro zjišťování parametrů generovaných tlakových vln ventilovaných výbuchů“.

Článek recenzoval:
Ing. Jozef Svetlík, PhD.