



Evropský program školení školitelů pro zásahové jednotky

Přednáška 10

Zvládání explozí vodíku

ÚROVEŇ III

Velitel zásahu

Informace uvedené v této přednášce jsou určeny pro úroveň **Velitel zásahu**.

Toto téma je k dispozici také na úrovních I a IV.

Tato přednáška je součástí balíčku školicích materiálů s materiály na úrovních I–IV: Hasič, velitel posádky, velitel zásahu a důstojník specialista. Viz úvod k přednášce týkající se kompetencí a očekávaných výsledků studia

Poznámka: tyto materiály jsou majetkem konsorcia HyResponder a měly by být podle toho uváděny, výstupy HyResponse byly použity coby základ



Upozornění

Navzdory pečlivosti, která byla věnována přípravě tohoto dokumentu, platí následující odmítnutí odpovědnosti: informace v tomto dokumentu jsou poskytovány, jak stojí a leží, a jejich autoři neposkytují jakoukoli záruku, že tyto informace jsou vhodné pro jakýkoli konkrétní účel. Uživatel využívá tyto informace na vlastní nebezpečí a odpovědnost.

Dokument vyjadřuje pouze názory autorů. Společný podnik pro palivové články a vodík a Evropská unie nenesou žádnou odpovědnost za případné použití informací uvedených v tomto dokumentu.

Poděkování

Projekt byl financován Společným podnikem pro palivové články a vodík 2 na základě grantové dohody č. 875089. Společný podnik získává podporu z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020 a z Velké Británie, Francie, Rakouska, Belgie, Španělska, Německa, Itálie, Česka, Švýcarska a Norska.

Souhrn

Tato přednáška se zabývá hlavními rysy „chemických“ explozí, tj. deflagrací a detonací, a „fyzikálních výbuchů“, tj. protržení nádrží. Je vhodná pro úroveň Velitel zásahu.

Klíčová slova

Deflagrace, detonace

Obsah

Souhrn.....	3
Klíčová slova	3
1. Cílové publikum.....	5
1.1 Popis úlohy: Velitel zásahu	5
1.2 Úroveň odborné způsobilosti: Velitel zásahu.....	5
1.3 Předchozí učení: Velitel zásahu	5
2. Úvod a cíle.....	5
3. Užitečná terminologie	6
4. Výbuch plynu.....	6
5. Deflagrace a tlakové vlny	6
6. Účinky tlakových vln na člověka a budovy	7
7. Vliv projektilů a úlomků.....	8
8. Možná opatření ke zmírnění následků výbuchů.....	8
Poděkování	9
Literatura a odkazy	9

1. Cílové publikum

Informace uvedené v této přednášce jsou určeny pro úroveň Velitel zásahu. Přednášky jsou k dispozici také na úrovních I, II a IV: Hasič, Velitel posádky a Důstojník specialista.

Níže je uveden popis úlohy, úrovně odborné způsobilosti a očekávané znalosti na úrovni velitele zásahu.

1.1 Popis úlohy: Velitel zásahu

Velitelé zásahu odpovídají za strategické řízení taktiky a operací. Musí účinně a bezpečně organizovat zdroje, aby dosáhly nejvhodnějšího řešení zásahu. Velitel zásahu pracuje v jasném rámci velení, který mu pomáhá strukturovat, organizovat a řídit jakoukoli mimořádnou událost. Strategie a rámec musí být přizpůsobitelné co do rozsahu a funkcí, aby bylo možné čelit různým a novým typům mimořádných událostí a umožnit bezpečné a účinné nasazení a využití všech dostupných zdrojů.

1.2 Úroveň odborné způsobilosti: Velitel zásahu

Technické znalosti nacvičené s ohledem na rozvoj velitelských dovedností a jednání, které jsou základem pro správný úsudek, rozhodování a řízení dostupných zdrojů a pro interakci s ostatními organizacemi a agenturami. Vyžaduje se schopnost získávat, vstřebávat a používat informace někdy za složitých okolností a současně pracovat za podmínek extrémního stresu.

1.3 Předchozí učení: Velitel zásahu

EQF 5 Komplexní, specializované, faktické a teoretické znalosti v oboru práce nebo studia a povědomí o mezích těchto znalostí. Ucelená řada kognitivních a praktických dovedností potřebných k rozvoji tvůrčích řešení abstraktních problémů. Výkon řízení a dohledu v kontextu pracovních nebo studijních činností, kde dochází k nepředvídatelným změnám; přezkum a rozvoj dovedností vlastních i ostatních spolupracovníků.

2. Úvod a cíle

Vodíkové hospodářství se stalo součástí našeho každodenního života. Vozidla na vodík již jezdí po našich silnicích. Případný výbuch vodíku může vyvolat vysoký přetlak, a tím ohrozit životy a majetek. Jednou z oblastí zájmu je bezpečnost vodíkových aplikací v automobilovém průmyslu a související infrastruktury, včetně garáží, autoservisů, parkovišť a tunelů.

V předchozích přednáškách jsme se již zabývali specifickými vlastnostmi a nebezpečími, která souvisejí s různými způsoby použití technologie FCH. Tato přednáška se bude zabývat výbuchy způsobenými chemickou reakcí (tj. hořením) a „fyzikálními výbuchy“ (tj. bez hoření). Existují dva typy „spalovacích výbuchů“, tj. deflagrace a detonace. Existují i jiné typy „výbuchů“, např. „fyzikální výbuchy“ nádob při přetlaku nad stanovenou mez v důsledku přeplnění (přetlak nádoby), v důsledku neřízené reakce apod. Slovo „výbuch“ je spíše méně přesné a v této přednášce se mu budeme vyhýbat, kde a pokud to bude možné. Někdy může použití pojmu „výbuch“ vést k nedorozumění. Některé normy například nesprávně zavádějí

Přednáška 10: Zvládání explozí vodíku

tzv. „mez výbušnosti“ [1]. To se děje navzdory skutečnosti, že mezi „mezi hořlavosti“, která je relevantní pro deflagrace, a „mezi detonovatelnosti“ může být značný rozdíl [1]. Tato přednáška obeznámí členy zásahových jednotek s jevy souvisejícími s deflagrací a detonací, s jejich hlavními rysy a následky a s možnými způsoby prevence a zmírnění následků [1]. Podrobněji se bude věnovat nákladově nejefektivnější a nejpoužívanější technice zmírňování dopadů, jako je deflagrace s ventilací.

3. Užitečná terminologie

Velikost článku je parametr, který charakterizuje detonační citlivost směsi vodíku se vzduchem [2].

Deflagrace je jev, kde se v nezreagované směsi šíří zóna hoření rychlostí nižší než rychlost zvuku (podzvukově) do čerstvé, nespálené směsi [1].

Detonace je jev, kdy se v nezreagované směsi šíří zóna hoření nadzvukovou rychlostí [1].

Rychlost plamene je rychlost plamene vzhledem ke stanovišti stacionárního pozorovatele [2].

Přetlak je tlak v tlakové vlně, který je vyšší než atmosférický tlak nebo tlak uvnitř ochranné konstrukce, je vyšší než atmosférický tlak [3].

4. Výbuch plynu

Výbuch plynu je definován jako proces, při kterém dochází k rychlému nárůstu tlaku hoření oblaku plynu z předem vytvořené směsi, tj. paliva a vzduchu (oxidantu). K výbuchu plynu může dojít uvnitř technologického zařízení, skladovací nádrže nebo v potrubí, v budovách nebo v modulech na moři, v otevřeném technologickém prostoru nebo v uzavřených prostorech. Pokud hovoříme o výbuchu plynu jako o události, jedná se o obecnější termín. V takových případech bývá obvyklé do této události zahrnout děj před i po samotném výbuchu plynu.

5. Deflagrace a tlakové vlny

Závažnost deflagrace mohou ovlivnit následující faktory:

- Složení směsi vodíku s oxidantem. Směsi vodíku a vzduchu v blízkosti maximální rychlosti hoření jsou náchylnější k urychlení plamene, což vede k vyššímu přetlaku.
- Stejnorodost směsi vodíku s oxidantem. Nesourodé směsi se vyznačují závažnějšími důsledky než stejnorodé směsi se shodnou počáteční hmotností vodíku.
- Úroveň uzavření (tj. stěny a strop).
- Stupeň přetížení (vliv překážek). Přetížení zvyšuje turbulence, zlepšuje míchání a zrychluje spalování.

6. Účinky tlakových vln na člověka a budovy

Tlakové vlny jsou škodlivé v mnoha ohledech. Jejich účinky lze rozdělit na primární, sekundární a terciární [4].

- Primární účinky:
 - poškození sluchu,
 - poškození plic a dalších vnitřních orgánů,
- Sekundární účinky:
 - zranění způsobená odlétávajícími úlomky (např. skleněnými střepy),
 - zřícení konstrukcí na lidi s následkem těžkých zranění nebo smrti,
- Terciární účinky:
 - přemístění celého těla jedince.

Škodu nezpůsobuje pouze přetlak, ale také impulz, který působí na osobu nebo předmět, místo, kde se osoba nachází, a osobní vybavení, které má daný člověk při sobě.

Tabulka 1. Prahové hodnoty přetlaku pro poškození lidského zdraví (ve venkovním prostředí).

Účinek	Přetlak, kPa
Přechodný posun prahu [5]: Mezní hodnota úrovně „bez poškození“ pro nebezpečnou vzdálenost (evakuační perimetr)	1,35
1% pravděpodobnost protržení ušního bubínku (zvolena jako prahová hodnota úrovně „poranění“) [6]	16,5
1% pravděpodobnost úmrtí – krvácení do plic (zvolena jako prahová hodnota úrovně „smrt“) [6]	100

Tabulka 2. Prahové hodnoty přetlaku pro poškození budov [6].

Poškození	Přetlak, kPa
Mírné poškození budovy	4,8
Částečná demolice budovy – budova zůstává obyvatelná	6,9
Takřka úplné zničení budovy	34,5–48,3

Kritéria poškození osob a budov popsaná výše v tabulkách 1 a 2 jsou použita v níže uvedených nomogramech pro stanovení nebezpečných vzdáleností při roztržení samostatných vysokotlakých vodíkových nádrží a vysokotlakých nádrží pod vozidlem s různými objemy a tlakem.

7. Vliv projektilů a úlomků

Většina modelových přístupů se zabývá účinky výbuchu a požáru. V mnoha scénářích výbuchů vodíků je však důležité i odmrštění projektilů a úlomků, které v některých případech hraje dokonce dominantní úlohu. U výbuchů plynného vodíku je takový projev typický v situacích, kdy je přítomna určitá míra uzavření nebo ohrazení. Když proces hoření přejde z deflagrace na detonaci, může mít vymrštění projektilů nebo úlomků naprosto ničivé účinky. Příkladem mohou být výbuchy plynu v průmyslových zařízeních, v garážích, na parkovišti nebo v jaderné elektrárně. Tyto situace mohou způsobit zásadní nebezpečí v souvislosti s projektily a úlomky. Odmrštění projektilů způsobí zpravidla protržení nádrže. Každá metodika hodnocení rizik souvisejících s vodíkem by měla obsahovat modely pro vymrštění projektilů a úlomků.

Obecně jsou počáteční podmínky jejich vymrštění definovány rozložením hmotnosti projektilů či úlomků, jakož i rychlostí a směrem odmrštění. Tyto podmínky jsou dány průběhem závady a následným urychlením expandujícími plyny nebo reakčními produkty. To je doprovázeno uvolněním tlaku v důsledku rostoucího ventilačního prostoru mezi akcelerujícími prvky.

Proces rozpadu železobetonových nebo cihelných budov při vnitřním výbuchu plynu představuje složitější jev. V případě (slabé) deflagrace pokračuje hoření i během procesu rozpadu a odmršťování trosků. Souvislost mezi růstem tlaku, ventilací a rozpadem určuje, která část konstrukce bude zasažena.

8. Možná opatření ke zmírnění následků výbuchů

Preventivní opatření [4]:

Pasivní opatření:

- omezovače průtoku pro minimalizaci hmotnosti vodíku, který se podílí na tvorbě hořlavé směsi v případě úniku,
- je-li to možné, nepoužívejte uzavřené prostory,
- přirozená ventilace,
- absence zdrojů zapálení.

Aktivní opatření:

- detekce a izolace úniků vodíku.

Zmírňující opatření [4]:

Pasivní opatření:

- deflagrační ventilace,
- vytyčení nebezpečných a separačních vzdáleností,
- protipožární konstrukce.

Přednáška 10: Zvládání explozí vodíku

Aktivní opatření:

- reakce na mimořádné události,
- detekce,
- vypnutí napájení.

Poděkování

Projekt HyResponse je všeobecně uznáván, protože zde prezentované materiály staví na původní sérii přednášek HyResponse.

Literatura a odkazy

1. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering (Základy bezpečnostního vodíkového inženýrství), části I a II. K dispozici na adrese: www.bookboon.com, e-kniha k bezplatnému stažení.
2. Dorofeev, SB (2007). Evaluation of safety distances related to unconfined hydrogen explosions (Hodnocení bezpečnostních vzdáleností v souvislosti s vodíkovými explozemi na volném prostranství). Mezinárodní časopis o vodíkové energii International Journal of Hydrogen Energy. Svazek 32, s. 2118–2124.
3. NFPA, Národní asociace požární ochrany (2009). Předpis pro palivové systémy vozidel na stlačený zemní plyn (CNG), 52.
4. Projekt HyFacts. Kapitola DM. Deflagrace a detonace vodíku. K dispozici na adrese: <http://hyfacts.eu/category/education-training/> [přístup k datu 04.01.2016].
5. Baker, WE, Cox, PA, Westine, PS, Kulesz, JJ a Strehlow, RA (1983). Explosion hazards and evaluation (Nebezpečí výbuchu a jeho hodnocení). Elsevier Scientific Publishing Company.
6. Mannan, S (2005). Časopis Loss Prevention in the Process Industries (Prevence ztrát ve zpracovatelském průmyslu), 3. vydání, sv. 1. Elsevier Butterworth-Heinemann.