



Evropský program školení školitelů pro zásahové jednotky

## Přednáška 6

# Kritéria poškození zdraví osob a majetku

## ÚROVEŇ I

### Hasič

Informace uvedené v této přednášce jsou určeny pro úroveň **Hasič** a vyšší.

Toto téma je k dispozici také na úrovních II, III a IV

Tato přednáška je součástí balíčku školicích materiálů s materiály na úrovních I–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, České republiky, Švýcarska a Norska.



## Souhrn

Tato přednáška poskytuje členům zásahových jednotek cenné informace o dopadech úniku vodíku, požárů a výbuchů na zdraví osob a životní prostředí. Dále pojednává o škodách na konstrukcích a zařízeních způsobených požáry vodíku a přetlakem.

## Klíčová slova

Vodíková havárie, tepelné záření, přetlak, kritéria poškození, osobní ochranné prostředky

## Obsah

Souhrn.....	3
Klíčová slova.....	3
<b>Obsah</b> .....	<b>4</b>
1. Cílové publikum .....	5
1.1 Popis úlohy: Hasič.....	5
1.2 Úroveň odborné způsobilosti: Hasič .....	5
1.3 Předchozí učení: Hasič .....	5
2. Úvod a cíle .....	5
3. Hlavní definice .....	6
4. Zdravotní rizika související s únikem vodíku .....	7
4.1 Plynný vodík .....	8
4.2 Zkapalněný vodík.....	8
5. Škodlivé účinky spalování vodíku na člověka.....	9
5.1 Vliv teploty vzduchu .....	9
5.2 Vliv přímého kontaktu s vodíkovým plamenem.....	9
5.3 Vliv sálavého tepelného toku z vodíkových požárů.....	9
5.4 Účinky přetlaku na člověka.....	10
6. Označování vodíkových systémů .....	10
7. Osobní ochranné prostředky .....	12
8. Vlivy na životní prostředí .....	14
Poděkování .....	14
Literatura a odkazy .....	14

## 1. Cílové publikum

Informace uvedené v této přednášce jsou určeny pro **ÚROVEŇ 1: Hasič**. K dispozici jsou také přednášky na úrovních II, III a IV: velitel posádky, velitel zásahu a důstojník specialista.

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

### 1.1 Popis úlohy: Hasič

Hasič je zodpovědný a očekává se, že bude schopen bezpečně provádět zásahy v osobních ochranných prostředcích, včetně dýchacích přístrojů, za použití poskytnutého vybavení, jako jsou vozidla, žebříky, hadice, hasicí přístroje, komunikační a záchranné prostředky, a to za každých klimatických podmínek, v oblastech a v nouzových situacích, u nichž lze důvodně předpokládat, že vyžadují zásah.

### 1.2 Úroveň odborné způsobilosti: Hasič

Školení v bezpečném a správném používání OOP, BA a dalšího vybavení, které se očekává, musí být podpořeno odpovídajícími znalostmi a praxí. Chování, které zajistí bezpečnost hasiče a bezpečnost ostatních kolegů, by mělo být popsáno ve standardních operačních postupech (SOP). Je vyžadována praktická schopnost dynamicky vyhodnocovat rizika pro vlastní bezpečnost a bezpečnost ostatních.

### 1.3 Předchozí učení: Hasič

EQF 2 Základní faktické znalosti v oboru práce nebo studia. Základní kognitivní a praktické dovednosti potřebné k využívání relevantních informací při plnění úkolů a řešení běžných problémů s využitím jednoduchých pravidel a nástrojů. Práce nebo studium pod dohledem s určitou mírou samostatnosti.

## 2. Úvod a cíle

Primárním zájmem vodíkové bezpečnosti je ochrana životů a majetku. Proto je důležité stanovit kritéria pro provozovatele, uživatele, veřejnost a také pro členy zásahových jednotek, kteří mohou být postiženi následky nehody nebo havárie v systému nebo na infrastruktuře FCH. Kritéria přijatelnosti pro zákazníky a pracovníky podílející se na provozu, kontrole a údržbě zařízení a infrastruktury FCH budou podobná, zatímco pro širokou veřejnost, která se náhodou ocitla v blízkosti nehody/havárie, by měl být přístup konzervativnější. Podle britské normy BS 7974 (2004) jsou hasiči považováni za samostatnou kategorii postižených osob. V okamžiku nehody/havárie nejsou přítomni v zařízení FCH a často přijíždějí na místo, když jsou podmínky nejnebezpečnější, a musí plnit své profesní povinnosti. Jsou vystaveni nebezpečí možného zřícení budov/konstrukcí a následkům tlakové vlny. Díky tomu, že jsou vybaveni speciálními osobními ochrannými pomůckami (OOP), mohou odolávat vyšším úrovním tepelného záření a teplot, stejně jako dusivému a toxickému ovzduší. Kromě toho je velmi důležité umístění osoby v infrastruktuře FCH v době nehody/havárie. Následky vodíkové nehody/havárie mohou být okamžité a na lidi mohou mít různý dopad v závislosti na jejich



blízkosti ke zdroji poškození. Lidé, kteří se nacházejí uvnitř budov, budou tlakovou vlnou zasaženi s vyšší pravděpodobností než ti, kteří se nacházejí venku.

Vytvoření harmonizovaných kritérií škodlivosti nebo prahových hodnot pro charakterizaci potenciálních dopadů nebezpečných jevů jde nad rámec projektu HyResponder. Všechny zúčastněné strany by měly využít normy platné v jejich zemi.

Na konci této přednášky budou členové zásahové jednotky schopni:

- popsat hlavní zdravotní rizika spojená s úniky nezapáleného vodíku, fyzikálními výbuchy (prasknutí stlačené nádoby), požáry, deflagrací a detonacemi plynného a zkapalněného vodíku,
- definovat škodlivé účinky spojené s únikem nezapáleného vodíku v uzavřených prostorách:
  - hladinu hluku,
  - vliv teploty vodíku,
  - vliv přetlaku při výskytu jevu tlakové špičky.
- definovat škodlivé účinky spalování vodíku na člověka:
  - vliv teploty spalované atmosféry,
  - vystavení sálavému tepelnému toku,
  - účinek přetlaku.
- znát zásady a používat rámec kritérií škod na zdraví osob a životním prostředí, kritérií škod na konstrukcích a zařízeních:
  - teplota vzduchu,
  - tepelná dávka,
  - tepelný tok,
  - přetlak atd.
- uvést nebezpečné a smrtelné dávky, 50% (LD50) úroveň tepelné dávky,
- rozlišit přímé a nepřímé škodlivé účinky přetlaku na člověka,
- popsat vztah zejména mezi škodami na konstrukcích, zařízeních a životním prostředím způsobenými vodíkovými požáry / výbuchovými vlnami a úrovněmi sálavého tepelného toku a přetlaku,
- rozpoznat systémy označování skladování plynného a zkapalněného vodíku u aplikací s vodíkovými a palivovými články,
- vyjmenovat osobní ochranné prostředky, které by měli používat nejen členové zásahových jednotek, ale také zaměstnanci pracující v zařízení FCH,
- nastínit vliv vodíku na životní prostředí.

### 3. Hlavní definice

Je důležité, aby členové zásahových jednotek byli schopni vyhodnotit dopad vodíkových nehod/havárií na ohrožení života osob a materiální škody. Pro definování a posouzení následků



nehody/havárie je k dispozici několik metod v závislosti na její závažnosti, expozici, době trvání a posuzovaném cíli (tj. veřejnost, přítomné osoby, konstrukce, budovy, zařízení atd.). V současných i budoucích přednáškách se používají některé užitečné definice.

*Akceptační kritéria* jsou zadávací podmínky, dle kterých se posuzuje bezpečnost návrhu zařízení/infrastruktury FCH [1].

*Nezpůsobilost* je stav, kdy člověk nefunguje adekvátně a není schopen uniknout z neudržitelných podmínek [2].

*Přítomné osoby* jsou osoby, které se nacházejí v zařízení/infrastruktuře FCH, včetně pracovníků podílejících se na jeho provozu a údržbě, jakož i zákazníků/návštěvníků [1].

*Bezpečné místo* je předem určené místo uvnitř nebo vně zařízení/infrastruktury FCH, kde osoby nejsou bezprostředně ohroženy účinkem úniku vodíku, požáru nebo výbuchu [1].

*Veřejnost* jsou lidé přítomní mimo vymezené ohraničení zařízení/infrastruktury FCH.

*Citlivá oblast* je objekt, infrastruktura nebo zařízení obsahující zásoby nebezpečných látek, které se mohou stát zdrojem škod, pokud se stanou terčem vodíkové nehody/havárie [1].

*Možnost přežití* je maximální expozice, kterou lze obdržet se zanedbatelnou statistickou pravděpodobností úmrtí/poškození a bez narušení schopnosti osoby uniknout [1].

*Udržitelnost* je maximální snesitelná expozice nebezpečí z vodíkové nehody/havárie, aniž by došlo k porušení bezpečnostních cílů [1].

*Prahová hodnota* je maximální intenzita nebo dávka pro dané nebezpečí, která odpovídá specifické fyziologické (pro člověka) nebo strukturální (pro konstrukce a zařízení) reakci [1].

## 4. Zdravotní rizika související s únikem vodíku

Plynný vodík je lehčí než vzduch, a proto rychle stoupá vzhůru a při nežádoucím úniku v otevřeném prostředí se může ve vzduchu rychle zředit. Náhodný únik vodíku v uzavřeném prostoru / uvnitř budov může způsobit až smrt osob udušením. Únik vodíku v uzavřených prostorech navíc představuje nebezpečí výbuchu. Směsi vodíku a vzduchu jsou hořlavé díky širokému rozsahu hořlavosti, od 4 do 75 % obj. vodíku. Při úniku do vzduchu a za přítomnosti zdroje zapálení vodík hoří za vzniku vody a tepla. Pravděpodobnost zapálení vodíku po jeho uvolnění je velmi vysoká, protože má nízkou minimální zápalnou energii: k zapálení vodíku stačí i výboj statické elektřiny. U zasahujících osob není nutné používat ochranný oděv, aby se zabránilo výboji statické elektřiny, protože výboj statické elektřiny stačí k zapálení vodíku pouze ve vzácných případech. V případě požáru je vodíkový plamen na denním světle takřka neviditelný a jeho teplota může dosáhnout až 2 000 °C. Ačkoli záření vodíkového plamene je v porovnání s uhlovodíkovým plamenem nízké, existuje riziko, že zasahující osoby vstoupí do plamene.

## 4.1 Plynný vodík

Plynný vodík je plyn bez chuti, barvy a zápachu. Je lidskými smysly nezjistitelný. Použití odorantů (např. merkaptanů) ve skladovacích nádobách není možné, protože mohou způsobit otravu palivových článků. Vodík není karcinogenní látka. Neočekává se, že by vodík měl mutagení<sup>1</sup>, teratogení<sup>2</sup>, embryotoxické<sup>3</sup> nebo reprodukčně toxické účinky. Neexistují žádné důkazy o nepříznivých účincích na kůži nebo oči vystavené vodíkové atmosféře. Vysokotlaké proudy vodíku však mohou proniknout holou kůží [3]. Vodík nelze pozřít. Vdechování vodíku však může vést k vytvoření hořlavé směsi v plicích člověka.

Podobně jako u jiných plynů vede zvýšení koncentrace vodíku ke snížení obsahu kyslíku ve vzduchu, což může vést k *udušení*. Vodík je klasifikován jako jednoduchá *dušivá látka*; nemá žádnou mezní hodnotu (TLV) [4]. Vysoké koncentrace vodíku ve vzduchu v plně/částečně uzavřených prostorách vedou ke vzniku *atmosféry s nedostatkem kyslíku*. U osob vystavených působení takového ovzduší se mohou vyskytnout následující příznaky: bolesti hlavy, závratě, ospalost, bezvědomí, nevolnost, zvracení, potlačení všech smyslů atd. Postižená osoba může mít namodralou pokožku a za určitých okolností může dojít i k úmrtí. Při vdechnutí vodíku a výskytu výše uvedených příznaků by měla být osoba přemístěna na čerstvý vzduch. Při ztíženém dýchání by jí měl být podán kyslík. Jestliže postižený nedýchá, je třeba zahájit umělé dýchání.

## 4.2 Zkapalněný vodík

Zkapalněný vodík se skladuje/používá za extrémně nízkých teplot díky svému nízkému bodu varu (−253 °C). Zdravotní rizika související s únikem zkapalněného vodíku jsou uvedena níže.

- Styk s kapalným vodíkem nebo potřísnění kůže či očí může způsobit vážné popáleniny v důsledku *omrznutí nebo podchlazení*.
- Ke *kryogenním popáleninám* může dojít také v důsledku styku nechráněných částí lidského těla s chladnými tekutinami nebo chladnými povrchy.
- Vdechování studených vodíkových par může způsobit *dýchací potíže* a může vést až k *udušení*.
- Přímý fyzický kontakt s LH<sub>2</sub>, chladnými výpary nebo chladným zařízením může způsobit vážné *poškození tkání*. Chvilkový kontakt s malým množstvím kapaliny nemusí představovat tak velké nebezpečí popálení, protože odpařující plynný vodík

---

<sup>1</sup> Vyvolání trvalých přenosných změn v množství nebo struktuře genetického materiálu buněk nebo organismů.

<sup>2</sup> Vrozené vady způsobené toxickým účinkem na embryo nebo plod.

<sup>3</sup> Toxické účinky látky přestupující hemoplacentární bariérou na embryo.



může vytvořit ochranný film. Nebezpečí umrznutí hrozí při úniku velkého množství a dlouhodobé expozici<sup>4</sup>.

- Zaměstnanci by se neměli dotýkat studených kovových částí a měli by nosit *ochranný oděv*. Postiženou oblast musí také chránit volným krytím.
- Při poklesu vnitřní tělesné teploty na 27 °C a méně hrozí *srdeční poruchy* a při poklesu vnitřní tělesné teploty pod 15 °C může dojít k úmrtí [5].
- *Udušení* je možné také v případě, že se zkapalněný vodík uvolní a vypaří v interiéru.

## 5. Škodlivé účinky spalování vodíku na člověka

Vdechnutí zplodin hoření běžných paliv je jednou z hlavních příčin zranění a hlavním důsledkem požáru. V případě vodíku je považován za méně závažný, protože jediným produktem hoření je vodní pára (netoxická, nejedovatá). Při sekundárních požárech však může vznikat kouř nebo jiné produkty hoření, které představují zdravotní riziko.

### 5.1 Vliv teploty vzduchu

Při požáru vodíku se výrazně zahřívá okolní vzduch, což může mít vliv na osoby v okolí. Přímý kontakt s hořícím vodíkem nebo horkými plyny, které vznikají při hoření vodíku, způsobuje těžké *tepelné popáleniny*. Zvýšená teplota vzduchu může způsobit dýchací potíže nebo popálení dýchacích cest. Kolaps může způsobit i samotná vysoká teplota.

### 5.2 Vliv přímého kontaktu s vodíkovým plamenem

Vliv vodíkového plamene na člověka je podobný jako u plamene jiných běžných paliv. Přímý kontakt s hořícím vodíkem nebo horkými plyny, které vznikají při hoření vodíku, způsobuje těžké popáleniny [11].

### 5.3 Vliv sálavého tepelného toku z vodíkových požárů

Vodíkový plamen vyzařuje ve srovnání s uhlovodíkovým plamenem podstatně méně tepla a za denního světla je prakticky neviditelný. Maximální vlnová délka jeho emise je přibližně 311 nm, což je blízko ultrafialové (UV) části světelného spektra [11]. To znamená, že lidé v blízkosti vodíkového plamene nemusí vnímat jeho blízkost, dokud s ním nepřijdou do styku [11]. Bez vhodného detekčního zařízení je prvním pravděpodobným projevem malého plamene „syčivý“ zvuk plynu unikajícího otvorem a snad i mihotání vzduchu [11].

Pamatujte, že vodíkový plamen vyzařuje minimum infračerveného záření a prakticky žádné záření ve viditelné části spektra.

---

<sup>4</sup> Účinek kapalného dusíku:

<https://www.youtube.com/watch?v=F9dhZJQk80A&feature=youtu.be&t=291>

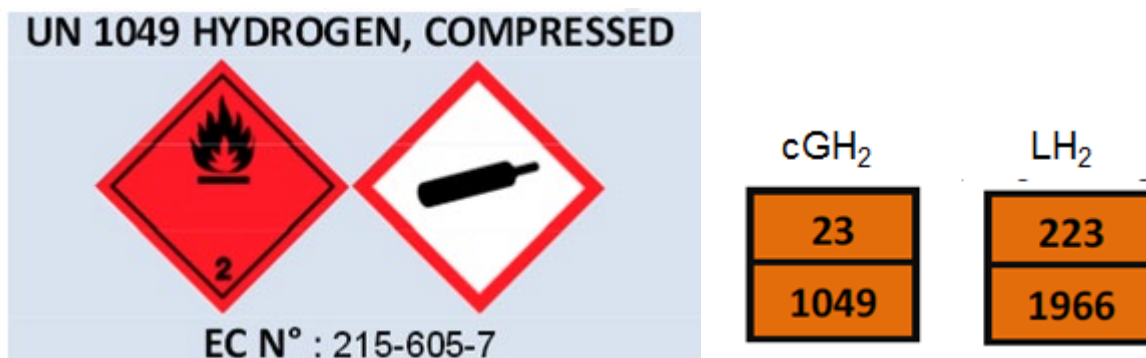
U osob, které nejsou v přímém styku s vodíkovými plameny, existuje možnost, že budou vystaveny vysokým tokům sálavého tepla po dobu dostatečnou pro vznik popálenin prvního, druhého i třetího stupně.

#### 5.4 Účinky přetlaku na člověka

Jedním z důležitých nepřímých účinků přetlaku jsou odletující střepiny (tzv. projektily). Závažnost poranění závisí na velikosti a hmotnosti úlomků a místě a rychlosti dopadu na lidské tělo [12]. Hlavním faktorem způsobujícím poranění je rychlost akcelerace projektilu. Pravděpodobnost průstřelu se zvyšuje s rostoucí rychlostí, zejména u projektilů malých rozměrů, jako jsou skleněné střepiny.

## 6. Označování vodíkových systémů

Piktogramy pro komerční přepravu vodíku jsou uvedeny na [obrázku 1](#), kde „1049“ označuje plyný vodík a „1966“ označuje kapalný vodík [13].



Obrázek 1. Příklady piktogramů používaných pro přepravu vodíku.

Nařízení EU č. 406/2010 doporučuje u vozidel na FC používat zelené kosočtverce v bílých rámečcích s nápisem „H<sub>2</sub> GAS“ nebo „LIQUID H<sub>2</sub>“ v bílém provedení [14].

Hlavní kroky při vývoji symbolů pro formální určení nebezpečnosti jsou uvedeny na [obrázcích 2 a 3](#). Tyto barvy se používají také v informacích o záchranných akcích a pro barevné provedení součástí vozidla (záchranné listy).

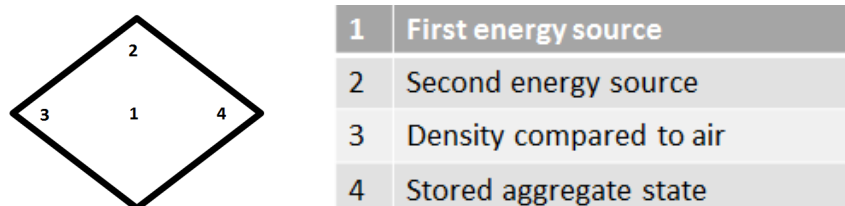
GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

SYMBOLS

- 1) FIRST ENERGY SOURCE: CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE:
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:
- 4) STORED AGGREGATE STATE:



Obrázek 2. Barvy a symboly navržené CTIF pro vývoj standardizovaných značek



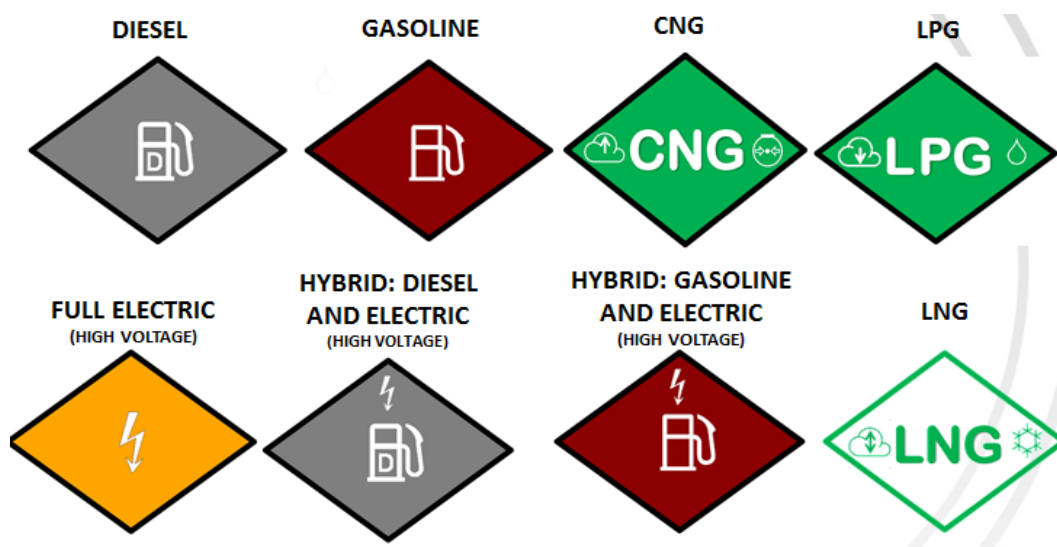
Obrázek 3. Kosočtverec navržený CTIF pro identifikaci nebezpečí ve vozidle [15]

Obrázek 4 obsahuje nejnovější verzi štítku pro FC vozidlo, na kterém jsou uvedeny dva hlavní zdroje energie: vodík (uprostřed) a elektřina v horním rohu. Symbol v levém rohu označuje, že první zdroj energie (tj. vodík) je lehčí než vzduch; symbol v pravém rohu označuje, že se jedná o stlačený plyn. Norma ISO 17840-4 poskytuje členům záchranných jednotek cenné informace o nebezpečí, které je viditelné na velkou vzdálenost.



Obrázek 4. Symbol vyvinutý společností CTIF pro vozidlo s FC poháněné stlačeným plyným vodíkem [15]

Příklady symbolů navržených CTIF pro jiné typy vozidel, tradiční a hybridní, jsou uvedeny na obrázku 5.



Obrázek 5. Symboly vyvinuté CTIF pro různé druhy paliv/energií pro vozidla [15]



Obrázek 6. Formální identifikace metod používaná v USA [13]

## 7. Osobní ochranné prostředky

V souvislosti s požadavky na vlastnosti hasičských osobních ochranných prostředků je třeba zmínit dvě hlavní normy EU. Norma (NF) EN 469:2006-02 [16] obsahuje požadavky na



ochranný oděv pro hasiče a norma (NF) EN 136:1998 [17] požadavky na ochranu dýchacích cest.

Pracovníci vykonávající činnost ve vodíkovém zařízení nebo systému mohou snížit možné následky nebezpečí použitím vhodných ochranných prostředků. Některé z podmínek, při nichž by měl být personál chráněn, zahrnují vystavení kryogenním teplotám, teplotám plamene, tepelnému záření z vodíkového plamene a atmosféře s nedostatkem kyslíku ve vodíku nebo inertních čistících plynech, jako jsou dusík a helium. Druh použitých OOP určuje povaha práce. Některé obecné pokyny pro osobní ochranné prostředky jsou uvedeny v normě ISO 15196 [11]. Tyto pokyny však nezahrnují osobní ochranné prostředky, které by měly být zohledněny při jiných činnostech, jako jsou práce na elektrických obvodech nebo provádění čištění či dekontaminace [11]. Nezbytné nebo povinné součásti osobních ochranných pracovních prostředků je třeba zvolit na základě podmínek panujících na pracovišti.

- Je-li to vhodné, měla by se používat ochrana zraku (např. při připojování a odpojování vedení nebo součástí by se měl používat úplný obličejový štít, při manipulaci s LH<sub>2</sub> ochranné brýle).
- Při manipulaci s jakýmkoli předmětem, který přichází do styku s LH<sub>2</sub> nebo studeným GH<sub>2</sub>, je třeba používat řádně izolované rukavice. Rukavice by měly být volné, snadno sundavatelné a neměly by mít velké manžety.
- Měly by se používat kalhoty s dlouhými nohavicemi, nejlépe bez manžet. Nohavice by měly přesahovat boty nebo pracovní obuv.
- Obuv by měla být uzavřená (otevřená nebo porézní obuv by se neměla vůbec používat).
- Je třeba nosit oděv z běžné bavlny, nehořlavé bavlny nebo antistatického materiálu. Vyvarujte se nošení oděvů z nylonu nebo jiných syntetických materiálů, hedvábí nebo vlny, protože tyto materiály mohou vytvářet elektrostatické náboje, které mohou zapálit hořlavé směsi. Syntetický materiál (oděv) se může roztavit a přilepit k tělu, a způsobit tak závažnější popáleniny. Oděv postříkaný nebo politý vodíkem je třeba vysvléci. Následně se nesmí použít, dokud z něj není zcela odstraněn plynný vodík.
- Nepoužívejte rukavice, přiléhavé oděvy a oděvy, které zadržují nebo zachycují (kapsy) kapalinu u těla.
- Pokud vodíkové zařízení nebo systém obsahuje i zařízení, které vytváří hlasitý hluk, je třeba používat ochranu sluchu.
- Pokud je vodíkové zařízení nebo systém spojen s nebezpečím pádu předmětů, je třeba nosit ochrannou čepici nebo přilbu.
- Při práci v uzavřeném prostoru s možností nedostatku kyslíku je třeba používat autonomní dýchací přístroj.



- K varování před únikem vodíku a požárem by se mělo používat přenosné zařízení k detekci vodíku a požáru.
- Hasiči by měli používat termokamery a bezobslužné hadice nebo otočné proudnice.
- Existuje-li podezření, že se v oblasti vodíkového systému nachází vodík, měli by se pracovníci před dotykem nebo použitím náradí řádně uzemnit.

## 8. Vlivy na životní prostředí

Vodík nekontaminuje podzemní vody (za běžných atmosférických podmínek je vodík plyn) a jeho únik nepřispívá ani ke znečištění ovzduší. Vodík se v pozemské atmosféře vyskytuje v koncentraci 0,5 ppm (počet částic na milion) od terénu až do výšky 60 km [1]. Mezi zdroje emisí vodíku popsané Schultzem [18] patří:

- nedokonalé spalování fosilních paliv a biomasy (40 %),
- atmosférická petrochemická oxidace methanu a nemethanových uhlovodíků (50 %),
- emise ze sopek, oceánů a dusík vázajících luštěnin (10 %).

75 % emisí vodíku je z atmosféry odstraněno suchou depozicí do půdy, zbývajících 25 % je odstraněno oxidací v atmosféře [18].

Vodík při svém použití jako palivo nevytváří „výpary“ ani „kouř“. Vozidlo s FC má nulové emise ve výfukovém potrubí [19].

## Poděkování

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

## Literatura a odkazy

1. Saffers, JB (2010). Principles of hydrogen safety engineering (Zásady vodíkového bezpečnostního inženýrství). Disertační práce. Ulsterská univerzita.
2. NFPA (2009). Kodex pro bezpečnost života.
3. Hammer, W (1989). Řízení a technologie bezpečnosti práce, 4. vydání, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, kapitola 19.
4. NASA (1997). Bezpečnostní norma pro vodík a vodíkové systémy. Pokyny pro konstrukci vodíkových systémů, výběr materiálů, provoz, skladování a přepravu. Technická zpráva NSS 1740.16, Úřad pro bezpečnost a zajištění misí, Washington.
5. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering (Základy bezpečnostního vodíkového inženýrství), části I a II. K dispozici na adrese: [www.bookboon.com](http://www.bookboon.com), e-kniha k bezplatnému stažení
6. Prasher, D (2000). Noise Pollution Health Effects Reduction (Snížení zdravotních účinků hluku (NOPHER): An European Commission Concerted Action Workplan (Společný akční pracovní plán Evropské komise). Noise Health (Hluk a zdraví), číslo 2, s. 79–84.

- K dispozici na adrese: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [přístup k datu 09.11.2020].
7. Hydrogen Detection in Oil Refineries (Detekce vodíku v ropných rafineriích). Gassonic. Společnost skupiny General Monitors.
  8. NIO Note D'Information Operationnelle (2013). 'Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques lies (Zásahy do vodíkových zařízení a související rizika). Ve francouzštině a angličtině. K dispozici na adrese: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) K dispozici ke stažení na adrese: [http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS\\_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf](http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf) [přístup k datu 25.11.2020].
  9. Friedrich, A. a kol. (2012). Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets (Zapálení a tepelné záření proudů kryogenního vodíku). Mezinárodní časopis o energii získávané z vodíku International Journal of Hydrogen Energy. Svazek 31, s. 17589–17598.
  10. Drysdale, D (1985). An introduction to fire dynamics (Úvod do dynamiky požárů). John Wiley and Sons, Chichester, s. 146
  11. ISO/TR 15916 (2004). Základní hlediska bezpečnosti vodíkových systémů. Mezinárodní organizace pro normalizaci. Technická komise ISO 197, Vodíkové technologie. Mezinárodní organizace pro normalizaci, Ženeva.
  12. Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K a Hashiguchi, K (2007). Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety (Zavedení technologie pro posuzování vodíkové bezpečnosti). Mitsubishi Heavy Industries Ltd., technický přehled. Svazek 44(1), s. 1–3.
  13. Ministerstvo energetiky USA (2008). Bezpečnostní školení na téma práce s vodíkem pro jednotky prvotního zásahu. K dispozici na adrese: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [přístup k datu 11.11.2020].
  14. Nařízení Komise (EU) č. 406/2010 ze dne 26. dubna 2010, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 79/2009 o schvalování typu vozidel na vodíkový pohon. Úřední věstník Evropské unie. Svazek 53, 18. května 2010. K dispozici na adrese: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [přístup k datu 06.11.2020].
  15. Esbroeck, T a Vollmacher, K (2015). ISO propulsion energy identification (Identifikace pohonné energie ISO). Komise pro vyprošťování a nové technologie. Nepublikováno.
  16. (NF) EN 469:2006-02. Evropská norma. Ochranné oděvy pro hasiče. Požadavky na vlastnosti ochranných oděvů pro hasiče.
  17. (NF) EN 136: 1998. Evropská norma. Prostředky pro ochranu dýchacích cest. Celobličejevé masky. Požadavky, zkoušky, značení.
  18. Schultz, MG, Market, F, Pilegaard, K (2004). Hydrogen and Environment (Vodík a životní prostředí). RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. S. 58–62



19. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. K dispozici na adrese: <http://cafcp.org/>  
[přístup k datu 09.11.2020].