

Podklady pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic



Tento výsledek je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národního centra kompetence.

NÁZEV VÝSLEDKU

Podklady pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic

PROJEKT

Národní centrum vodíkové mobility (TN02000007)

NÁZEV DÍLČÍHO PROJEKTU

Provozní aspekty vodíkových plnicích stanic

ZPRACOVATEL

Vysoké učení technické v Brně (VUT)

AUTORSKÝ TÝM

Ing. Petr Beneš, CSc. (VUT)

prof. Jiří Pospíšil, Ph.D. (VUT)

Obsah

1	Úvod	6
2	Legislativní a normativní rámec požární bezpečnosti vodíkových stanic	7
2.1	Evropský legislativní rámec	7
2.2	Mezinárodní a evropské normy	7
2.3	Národní legislativa v České republice	8
2.4	Metodika ÚJV (2019).....	11
2.5	Normativní základ v České republice	12
3	Specifické vlastnosti vodíku z hlediska požární ochrany	16
3.1	Fyzikální a chemické parametry vodíku	16
3.2	Difuzivita a únikové chování	16
3.3	Charakteristiky hoření.....	17
3.4	Výbuchové charakteristiky	17
3.5	Materiálové aspekty a vodíkové křehnutí	17
3.6	Kryogenní vlastnosti.....	17
4	Požární scénáře a modelování rizik [30]	19
4.1	Úvod do problematiky scénářů.....	19
4.2	Malý únik ve volném prostoru	19
4.3	Velký únik ve volném prostoru	19
4.4	Únik v uzavřeném prostoru.....	20
4.5	Požár tlakové nádoby – „jet fire – tryskový požár“	20
4.6	Exploze tlakové nádoby (BLEVE)	21
4.7	Únik a požár kapalného vodíku – LH ₂	22
4.8	Posouzení rizika.....	22
4.9	Metody a nástroje pro modelování rizik.....	23
4.10	Význam požárních scénářů pro návrh a zásahy	24
5	Příklady nehod a poučení z praxe	25
5.1	Proč je důležité učit se z nehod	25
5.1.1	Norsko – Sandvika (2019)	25
5.1.2	USA – Kalifornie (2017–2019)	26
5.1.3	Další zkušenosti ze světa	26
5.2	Paralely z jiných technologií.....	27

5.3	Poučení z případů nehod	27
5.4	Případová studie PwC (2023–2024) Česká republika	27
6	Technická opatření k prevenci požárů a výbuchů na vodíkových stanicích	29
6.1	Filozofie bezpečnosti – proč jsou opatření nezbytná	29
6.2	Obecná bezpečnostní doporučení pro vodíkové čerpací stanice	29
6.3	Nejčastější možné zdroje vznícení vodíku	29
6.4	Bezpečnostní vzdálenosti a dispoziční řešení	30
6.5	Detekce úniků a význam větrání	30
6.6	Odfukové a odlehčovací systémy	30
6.7	Ochrana proti zdrojům iniciace	31
6.8	Chlazení a řízení teploty	31
6.9	Filtrace a kvalita plynu	31
6.10	Prediktivní údržba a monitoring	32
6.11	Aktivní a pasivní protipožární ochrana	32
6.12	Povinnosti provozovatelů vodíkových čerpacích stanic v oblasti požární bezpečnost	33
6.13	Dotčené státní orgány:	33
6.14	Nedostatky současné legislativy	33
7	Role hasičů a zásahových jednotek	34
7.1	Proč jsou zásahové složky nepostradatelné	34
7.2	Srovnání s jinými palivy	34
7.3	Školení a vzdělávání – struktura a obsah	34
7.4	Vybavení zásahových jednotek	35
7.5	Rizika pro složky IZS	35
7.6	Taktické zásady zásahu	35
7.7	Spolupráce s provozovateli a preventivní cvičení	36
7.8	Budoucí výzvy pro zasahující jednotky	37
8	Hlavní zásady požární bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic	38
9	Doporučení a budoucí trendy v bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic	46
9.1	Legislativní a normativní vývoj	46
9.2	Prevence a nové bezpečnostní technologie	46
9.3	Školení a role lidského faktoru	46
9.4	Společenské a psychologické aspekty	47
9.5	Digitalizace a prediktivní údržba	47

9.6	Modulární stanice	47
9.7	Směry budoucího rozvoje a s tím spojené výzvy	47
10	Shrnutí hlavních poznatků z oblasti požární bezpečnosti	49
10.1	Technická, legislativní a organizační doporučení.....	49
10.2	Bezpečnost jako klíč k rozvoji.....	50
11	Seznam použité literatury	51

1 Úvod

Tento materiál byl zpracován jako interní doplňkový text k problematice posuzování požární bezpečnosti vodíkových plnicích stanic. Tento materiál nepředstavuje ani legislativní ani jinak návodný nebo závazný materiál, ale vznikl jako podklad pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic.

Zatímco technologický vývoj elektrolyzérů, kompresorů či zásobníků postupuje rychlým tempem, největší překážkou pro širší rozvoj infrastruktury je **zajištění požární a provozní bezpečnosti**. Vodík se od konvenčních paliv liší natolik, že vyžaduje zcela odlišné koncepty prevence a zásahu:

- je **extrémně lehký** (14× lehčí než vzduch), při úniku proto stoupá vzhůru a může se hromadit pod stropními konstrukcemi, kde tvoří neviditelnou výbušnou směs,
- má **široké rozmezí hořlavosti (4–75 % objemu)**, což zvyšuje pravděpodobnost vzniku zápalné směsi i při menších únicích,
- **plamen vodíku je téměř neviditelný** a vydává málo tepelného záření – osoby se mohou nevědomky dostat přímo do plamene, aniž by jej viděly,
- dochází ke **křehnutí kovů** (tzv. hydrogen embrittlement), což může oslabit tlakové nádoby a potrubí,
- při vysokých tlacích a nízkých teplotách (–253 °C u kapalného vodíku) je nutné počítat i s **kryogenními riziky** – omrzlinami a degradací materiálů.

Na rozdíl od benzínu nebo nafty, kde je rizikem zejména požár uniklé kapaliny ve větším množství (tzv. louže) a následné těžké toxické zplodiny, vodík nepředstavuje environmentální kontaminaci při úniku (rychle uniká vzhůru a disperguje se). Z hlediska požární bezpečnosti je právě díky těmto svým vlastnostem vnímán jako obtížně zvládnutelné médium. Z těchto důvodů odborná literatura i bezpečnostní metodiky zdůrazňují, že vodík není více ani méně nebezpečný než jiná paliva (benzín a nafta), je pouze **jiný** [30].

2 Legislativní a normativní rámec požární bezpečnosti vodíkových stanic

2.1 Evropský legislativní rámec

Bezpečnostní požadavky na vodíkové technologie jsou součástí širší evropské politiky v oblasti energetiky, ochrany klimatu a průmyslové bezpečnosti.

- **Evropský klimatický zákon (2021/1119/EU)** – stanovuje závazný cíl klimatické neutrality do roku 2050 a dílčí cíl – snížení emisí o 55 % do roku 2030. V praxi to znamená, že vodíkové technologie mají prioritu, ale současně musí splňovat nejpřísnější bezpečnostní standardy.
- **Směrnice ATEX (2014/34/EU a 1999/92/ES):**
 - 2014/34/EU určuje, jaké požadavky musí splňovat zařízení určená do prostředí s nebezpečím výbuchu – tedy i kompresory, ventily, detektory a elektrická zařízení na vodíkových čerpacích stanicích.
 - 1999/92/ES se zaměřuje na ochranu pracovníků – provozovatelé stanic musí zpracovat analýzu rizik, určit zóny s nebezpečím výbuchu (určují, jak často a jak **dlouho** je v daném prostoru přítomna výbušná směs plynů, par nebo mlhy se vzduchem. Zóna 0 představuje trvalou nebo velmi častou přítomnost výbušné atmosféry, zóna 1 ji předpokládá občasné za běžného provozu, a zóna 2 představuje situaci, kdy je výskyt výbušné atmosféry nepravděpodobný a jen krátkodobý) a přijmout opatření k ochraně zaměstnanců.
- **Nařízení CLP (ES č. 1272/2008)** – zařazuje vodík mezi vysoce hořlavé plyny, což se promítá do povinností při skladování a označování.
- **Nařízení o transevropských energetických sítích (TEN-E, 2022)** – nově zahrnuje i vodíkovou infrastrukturu. To má význam i pro požární bezpečnost, protože stavby strategického významu mohou využít zrychlené povolenací řízení, pokud prokáží splnění bezpečnostních kritérií.

2.2 Mezinárodní a evropské normy

Stanovují detailní požadavky (zejména v rámci EU) na projektování, provoz a údržbu vodíkových čerpacích stanic.

Hlavní normy vztahující se k požární bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic:

- **ISO/TS 19880-1:2020 – Gaseous hydrogen — Fuelling stations — General requirements:** klíčový dokument, který upravuje konstrukci stanic. Specifikuje:
 - tlakové hladiny (350/700 bar),
 - konstrukci zásobníků a odlehčovacích ventilů,
 - požadavky na předchlazení,
 - metody detekce úniku vodíku,
 - doporučené **bezpečnostní vzdálenosti** (stanovené na základě modelování výbuchů a požárů).

- **ČSN ISO 14687:2020 – Hydrogen fuel — Product specification:**
stanovuje parametry čistoty vodíku pro palivové články. Kontaminace (např. CO, H₂O) mohou snížit životnost zařízení a zvýšit požární riziko.
- **ISO 17268 – Refuelling connection devices:**
upravuje konstrukci plnicích pistolí a spojek. Z hlediska požární bezpečnosti je zásadní, aby spojky minimalizovaly možnost úniku plynu při odpojení.
- **ČSN EN 17127 (697280) – Venkovní výdejní vodíkové čerpací stanice na plynný vodík s plnicími protokoly:**
specifikuje požadavky na venkovní výdejní místa. Stanovuje, jak rychle lze vozidlo plnit bez rizika přehřátí nádrže (souvislost s bezpečností materiálů a následně s požární bezpečností).
- **ČSN EN IEC 60079 (řada) – Výbušné atmosféry:**
 - ČSN EN 60079-10-1: Určování nebezpečných prostorů – výbušné plynné atmosféry,
 - ČSN EN 60079-14: Návrh, výběr a zřizování elektrických instalací,
 - ČSN EN 60079-17: Revize a preventivní údržba elektrických instalací.
- **ČSN EN ISO 16924 (300088) – Plnicí stanice na zemní plyn – LNG stanice pro plnění vozidel**
vodíkové stanice se v mnohém inspiřují bezpečnostními opatřeními známými z LNG, zejména co se týká odlehčovacích ventilů, odfukových potrubí a odstupových protipožárních vzdáleností.
- **ISO 26142 Hydrogen detection apparatus — Stationary applications.**
Mezinárodní norma, která definuje požadavky na výkon a metody zkoušení přístrojů pro detekci vodíku ve stacionárních aplikacích. Stanovuje specifická kritéria pro přístroje, které se používají k monitorování koncentrací vodíku pro zajištění bezpečnosti, jako jsou požadavky na přesnost, dobu odezvy, stabilitu, rozsah měření, selektivitu a odolnost proti jedům. Tato norma je zaměřena na certifikaci a není určena pro obecné systémy řízení.

2.3 Národní legislativa v České republice

Problematika bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic je v České republice obsažena v několika zákonech a vyhláškách. Jedná se zejména o:

- **Energetický zákon č. 458/2000 Sb.** – neobsahuje zmínku o vodíku, což komplikuje právní ukotvení elektrolyzérů a jejich začlenění mezi energetickou infrastrukturu.
- **Stavební zákon č. 283/2021 Sb.** – neklasifikuje vodíkové technologie jako infrastrukturu strategického významu, stanice jsou posuzovány jako běžné stavby, což zpomaluje povolovací procesy. Každý záměr vodíkové čerpací stanice musí být posouzen stavebním úřadem, který rozhodne, zda se jedná o stavbu, nebo o výrobek plnicí funkce stavby. Pokud je stanice považována za výrobek plnicí funkce stavby, je klíčový certifikát pro celý stavební záměr. V opačném případě je certifikát jen pro technologický kontejner a zbytek stavby se musí povolovat jako samostatná stavba.

- **Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně** – účelem zákona je vytvořit podmínky pro účinnou ochranu života a zdraví občanů a majetku před požáry a pro poskytování pomoci při živelních pohromách a jiných mimořádných událostech. Zákon stanoví povinnosti ministerstev a jiných správních úřadů, právnických a fyzických osob, působnost orgánů státní správy a samosprávy na úseku požární ochrany a povinnosti jednotek požární ochrany. Již v úvodním ustanovení je stanovena obecná povinnost každému počínat si tak, aby nezavdal příčinu ke vzniku požáru, neohrozil život a zdraví osob, zvířata a majetek. Podrobněji je řešen výkon státní správy prováděný Ministerstvem vnitra – generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České republiky a hasičskými záchrannými sbory krajů, včetně výkonu státního požárního dozoru. Obsahem zákona je také odborná způsobilost fyzických osob k plnění některých povinností na úseku požární ochrany. Dále zákon upravuje postihy právnických osob, podnikajících fyzických osob a fyzických osob za neplnění stanovených povinností. Zvláštní část zákona je věnována jednotkám požární ochrany, jejich zřizování, rušení a jejich povinnostem.
- **Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky** – stanovuje technické požadavky na výrobky a řeší i související otázky uvádění výrobků na trh, označování a dozoru nad nimi. Upravuje například, co je technický předpis a technický dokument, definuje pojem výrobce a uvedení výrobku na trh. V současné době se však jeho ustanovení doplňují nebo mění jinými zákony, například zákonem o obecné bezpečnosti výrobků z prosince 2024.
- **Zákon č. 250/2021 Sb., o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení** – zákon upravuje požadavky na bezpečnost provozu vyhrazených technických zařízení a ochranu zdraví při práci po celou dobu používání vyhrazených technických zařízení; v případě určených druhů již provozovaných vyhrazených technických zařízení stanoví i požadavky na jejich montáž a uvádění do provozu, výkon státní správy na úseku bezpečnosti provozu vyhrazených technických zařízení, práva a povinnosti osob, které u vyhrazených technických zařízení provádějí jejich obsluhu, montáž, údržbu, kontrolu, revize, opravy, plnění nádob plyny nebo je provozují, předpoklady a způsob ověřování odborné způsobilosti osob k činnostem na vyhrazených technických zařízeních a předpoklady a způsob ověřování odborné způsobilosti k výkonu činností osob vykonávajících obsluhu a práci na elektrických zařízeních bez napětí, v blízkosti elektrických zařízení pod napětím a na elektrických zařízeních pod napětím.
- **Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot** – upravuje pravidla pro prodej a distribuci pohonných hmot, povinnosti provozovatelů čerpacích stanic a evidence prodaných paliv. Zákon se zaměřuje na zajištění bezpečného provozu a transparentního trhu s pohonnými hmotami.
- **Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií** – stanoví povinnosti právnických nebo podnikajících fyzických osob, které užívají nebo budou užívat objekt, ve kterém je umístěna nebezpečná látka. Rovněž stanoví působnost orgánů veřejné správy na úseku závažných havárií způsobených nebezpečnými látkami. Cílem zákona je snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky případných závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek. Vodík je zařazen mezi látky s vysokým nebezpečím.
- **Vyhláška č. 246/2001 Sb., o požární prevenci** – stanovuje podmínky požární bezpečnosti u právnických a fyzických osob.

- **Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb**, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb. Vyhláška stanoví technické podmínky požární ochrany pro navrhování, provádění a užívání stavby.
- **Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby**. Vyhláška stanoví technické požadavky na stavby, které náleží do působnosti obecných stavebních úřadů. Ustanovení vyhlášky se uplatní též u zařízení, změn dokončených staveb, udržovacích prací, změn v užívání staveb, u dočasných staveb zařízení stavenišť, jakož i u staveb, které jsou kulturními památkami nebo jsou v památkových rezervacích nebo památkových zónách, pokud to závažné územně technické nebo stavebně technické důvody nevylučují.
- **Vyhláška č. 131/2024 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb**. Vyhláška stanoví požadavky na jednotlivé stupně projektové dokumentace. Obsah jednotlivých částí dokumentace musí odpovídat druhu a účelu stavby, charakteru navrhované změny v území, podmínkám v území, umístění stavby, stavebně technickému provedení, účelu využití, vlivu na životní prostředí a době trvání stavby. Stanoví obsahové náležitosti stavebního deníku, jednoduchého záznamu o stavbě a způsob jejich vedení.
- **Vyhláška č. 146/2024 Sb., o požadavcích na výstavbu**. Vyhláška podrobněji upravuje základní aspekty hmotného stavebního práva a rozvíjí tak základní požadavky na výstavbu, kterými jsou požadavky na vymezení pozemků, na umístování staveb a technické požadavky na stavby a zároveň se snaží zachovat maximální univerzálnost jejich využití. Dále zohledňuje přístupnost staveb pro osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace ve vazbě na čl. 9 Úmluvy OSN o právech osob se zdravotním postižením, jedná se o základní požadavek na bezpečnost při užívání, provozu a údržbě každé stavby.
- **Technická pravidla TPG zařízení pro plnění nádob plyny G 304 03** Plnicí stanice stlačeného vodíku pro mobilní zařízení Český plynárenský svaz 2020. Dokument stanovuje základní podmínky pro stavbu nových plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení, zejména pro silniční dopravu. Využívá zkušenosti z obdobných instalací a předpisů pro CNG a LPG, zkušenosti z projektování, stavby, provozu a údržby prvních plnicích stanic v České republice a mezinárodně uznávaných technických standardů, ke kterým se Česká republika přihlásila. Pravidla jsou určena zejména pro majitele, provozovatele nebo uživatele vodíkových čerpacích stanic, shrnují nezbytné procesy, definují legislativní i technické podmínky pro výstavbu plnicích stanic stlačeného vodíku v ČR a jejich následný provoz a údržbu. Součástí dokumentu jsou i odkazy na právní a technické normy, které souvisejí s danou problematikou.
- **Nařízení vlády č. 406/2004 Sb. o bližších požadavcích na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu**. Ukládá zaměstnavatelům, jejichž provoz spadá do skupiny provozů, ve kterých nelze zcela vyloučit vznik nebezpečné výbušné atmosféry, povinnost přijímat technická a organizační opatření s cílem:
 - předcházet vzniku výbušné atmosféry,
 - zabránit iniciaci výbušné atmosféry,
 - snížit škodlivé účinky výbuchu takovým způsobem, aby byla zajištěna bezpečnost zaměstnanců.

Zaměstnavatel, jakožto subjekt zodpovídající za zajištění bezpečnosti práce, je povinen přijímat technická a organizační opatření přiměřená povaze provozu, a to na základě provedení důkladné analýzy rizik.

Cílem těchto opatření je především předcházení vzniku výbušné atmosféry. Nelze-li při provozu vznik výbušných atmosfér vyloučit, je zaměstnavatel povinen učinit opatření s cílem eliminace účinných zdrojů iniciace přítomných výbušných atmosfér.

- **Nařízení vlády č. 375/2017 Sb., o vzhledu, umístění a provedení bezpečnostních značek a značení a zavedení signálů** – zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje vzhled, umístění a provedení bezpečnostních značek a značení a zavedení signálů.

2.4 Metodika ÚJV (2019)

Metodika ÚJV (Ústav jaderného výzkumu Řež, 2019). Významným dokumentem, který komplexně řeší podmínky pro výstavbu a provoz vodíkových čerpacích stanic v ČR, je **Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení**. Dokument je uznán jako přezkoušená metodika certifikátem číslo 002/18 vystaveným TÜV NORD dne 17. prosince 2018.

Metodiku doporučuje i Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky a uvádí ji jako dokument pro posuzování požární bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic.

Dokument představuje v současnosti **ucelené vodítko pro projektanty, investory a úřady**. Definuje např.:

- **doporučené bezpečnostní vzdálenosti** (např. min. 5 m od oplocení, 10 m od obytných budov, oddělení kompresorů od zásobníků),
- požadavky na klasifikaci nebezpečných prostorů (zóny 0, 1, 2),
- návrhy na větrání technologických místností,
- modelové scénáře havárií (únik, výbuch, požár),
- ochranu proti statické elektřině a atmosférickým výbojům,
- postupy pro větrání a odfukování vodíku,
- požadavky na **detekci úniků** a zabezpečovací systémy.

Tyto požadavky jsou inspirovány zkušenostmi s CNG a LPG, ale rozšířené o specifika vodíku, jehož molekula je nejmenší ze všech plynů a snadno uniká i drobnými netěsnostmi.

Metodika stanoví základní podmínky pro projektování, umístování, realizaci, zkoušení a provoz čerpacích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení (vozidla, pracovní stroje apod.). Vztahuje se výhradně na plnění stlačeného vodíku do mobilních zařízení a nevztahuje se na plnění technických plynů. Dokument neřeší problematiku on-site výroby vodíku ani použití kapalného vodíku.

Součástí metodiky jsou i **vzorové obrázky a tabulky**, které poskytují vizuální přehled požadavků – například umístění odfukových ventilů nebo schémata klasifikace prostor [11].

2.5 Normativní základ v České republice

Požadavky na bezpečnost při provozu a požární bezpečnost vodíkových čerpacích stanic jsou obsaženy zejména v těchto ČSN:

ČSN 73 6060 (736060); Čerpací stanice pohonných hmot. Norma stanovuje kritéria pro umísťování čerpacích stanic a hygienická, technická a technologická kritéria pro navrhování nových čerpacích stanic a pro změny na stávajících čerpacích stanicích. Platí pro plnicí stanice H₂(vodíkové čerpací stanice). Dále platí i pro čerpací stanice pohonných hmot a čerpací stanice zkapalněných ropných plynů (LPG) které jsou její součástí nebo se vyskytují v její blízkosti.

ČSN ISO 19880-1 (656525); Plyný vodík – Čerpací stanice – Část 1: Obecné požadavky, srpen 2025. Norma stanovuje minimální požadavky na bezpečnost, konstrukci, instalaci, uvedení do provozu, provoz, kontrolu a údržbu veřejných a neveřejných čerpacích stanic, které umožňují plnění plyného vodíku do silničních vozidel o malém výkonu (např. elektrická vozidla s palivovými články). Přesto, že norma je zaměřena na plnění paliva do silničních vozidel na vodík o malém výkonu, zahrnuje také požadavky a návody pro plnění paliva do silničních vozidel o středním a velkém výkonu (např. autobusy, nákladní automobily).

ČSN EN ISO 17268 (656521); Plyný vodík – Plnicí rozhraní pozemních vozidel. Norma specifikuje požadavky na plnicí rozhraní (konektory) pozemních vozidel na plyné vodíkové palivo. Definuje konstrukční, bezpečnostní a provozní charakteristiky spojovacích zařízení, která se používají k doplňování vodíku do vozidel.

ČSN EN ISO 19353 (833251); Bezpečnost strojních zařízení – Požární prevence a požární ochrana. Norma, která se zabývá požární prevencí a ochranou u strojních zařízení. Tato norma stanovuje metody pro identifikaci a posouzení rizik požáru strojního zařízení, včetně základních pojmů a metodiky technických opatření. Poskytuje také pokyny pro snižování rizika požáru strojního zařízení na přijatelnou úroveň prostřednictvím konstrukce stroje a pokynů pro obsluhu.

ČSN 38 6405(386405) Plynová zařízení. Zásady provozu – Norma platí pro obsluhu, provádění kontrol a revizí, vedení provozního deníku, zpracování místního provozního řádu a provoz plynových zařízení, včetně dovezených, provozovaných organizacemi. Norma neplatí pro taxativně vyjmenovaných 12 druhů plynových zařízení, např. pro přepouštění plynů, pro chladicí a mrazicí zařízení, pro použití čpavku v zemědělství, pro svářečské a pájecí soupravy, řezací a pálicí stroje a další. Rozsáhlá norma obsahuje požadavky především na provádění obsluhy a oprav a (nejrozsáhlejší část) stanovuje společné bezpečnostní zásady vztahující se zejména na odvětvování, odplynění, meze výbušnosti, kontrolu ovzduší a zjišťování netěsností.

ČSN 73 0810 (730810); Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení – Klíčová norma v oblasti požární bezpečnosti staveb, která stanovuje základní požadavky a koordinuje principy požární bezpečnosti staveb v České republice. Tato norma zajišťuje soulad s evropskými normami (ČSN EN řady 13501) Norma upřesňuje požadavky na stavební výrobky a stavební konstrukce, popř. na požárně bezpečnostní zařízení ve vztahu k ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty a ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty a k navazujícím normám, podle nichž je navrhována požární bezpečnost stavebních a technologických objektů v ČR. Definuje

společné požadavky na požární odolnost, klasifikaci stavebních konstrukcí, šachet, kanálů a ventilačních systémů.

ČSN 73 0804 (730804); Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Jedná se o zásadní normu pro posuzování požární bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic. Norma platí pro projektování požární bezpečnosti nových stavebních objektů, jejich částí a prostorů určených pro výrobu a pro projektování změn staveb stávajících výrobních objektů a prostorů, pokud změny staveb vyžadují podle ČSN 73 0834 Požární bezpečnost staveb – Změny staveb postup podle této normy.

Při projektování změn staveb platí tato norma pro měněné části (popř. provozy) objektů, přičemž změnou stavby nesmí dojít ke snížení požární bezpečnosti celého objektu, zejména ke snížení bezpečnosti osob nebo ke ztížení zásahu jednotek požární ochrany. Norma platí pro ty změny staveb, které podléhají územnímu nebo stavebnímu řízení.

Pro projektování výrobních objektů a technologií, pro které platí samostatné technické normy nebo předpisy obsahující požadavky požární bezpečnosti staveb, platí tato norma v rozsahu, ve kterém se příslušné technické normy nebo předpisy na ni odvolávají.

ČSN 73 0802 (730802); Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Norma platí pro projektování požární bezpečnosti nových stavebních nevýrobních objektů a pro projektování změn staveb stávajících nevýrobních objektů a prostorů, pokud změny staveb vyžadují podle ČSN 73 0834 postup podle této normy. Při projektování změn staveb platí tato norma pro měněné části (popř. provozy) objektů, přičemž změnou stavby nesmí dojít ke snížení požární bezpečnosti celého objektu, zejména ke snížení bezpečnosti osob nebo ke ztížení zásahu požárních jednotek. Norma platí pro ty změny staveb, které podléhají stavebnímu zákonu a kolaudačnímu řízení. Pro projektování objektů, pro které platí samostatné technické normy nebo jiné předpisy, obsahující požadavky požární bezpečnosti staveb, platí tato norma v rozsahu, ve kterém se příslušné technické normy nebo předpisy na ni odvolávají. Odstupové vzdálenosti, stanovené podle této normy, se nevztahují na sklady plynů a výbušin.

ČSN 73 0831 (730831) Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory. Norma stanovuje základní požadavky pro projektování požární bezpečnosti nových shromažďovacích prostorů, pro projektování stavebních změn stávajících shromažďovacích prostorů a pro projektování změn staveb, jimiž se upravují prostory jiného účelu na shromažďovací prostory, pokud tyto změny podléhají stavebnímu kolaudačnímu řízení podle stavebního zákona Shromažďovacím prostorem podle této normy je prostor pro shromáždění osob, ve kterém počet a hustota osob převyšují mezní normové hodnoty. Norma stanoví specifické požadavky požární bezpečnosti na shromažďovací prostory, popř. na objekty, v nichž jsou tyto prostory umístěny, v návaznosti na ČSN 73 0802, pro tyto prostory a objekty platí všechna ustanovení ČSN 73 0802, pokud nejsou v této normě nahrazena odchýlnými ustanoveními. Norma stanoví především podrobná kritéria evakuace osob z prostorů s vysokým soustředěním osob při jejich vysoké hustotě na ploše a směřuje k eliminaci vlivů, které ohrožují únik osob, tedy zejména těch, které mohou vyvolat nebo zvyšovat paniku při požáru.

ČSN 73 0875 (730875) Požární bezpečnost staveb – Stanovení podmínek pro navrhování elektrické požární signalizace (EPS) v rámci požárně bezpečnostního řešení. Norma platí pro stanovení podmínek pro návrh elektrické požární signalizace, pro vypracování požárně bezpečnostního řešení,

kteří je součástí projektové dokumentace při projektování nových stavebních objektů a při projektování změn stávajících objektů a technologických souborů, a to zejména v návaznosti na požárně bezpečnostní řešení. Norma platí pro stavby a jejich změny v návaznosti na ČSN 73 0802 pro nevýrobní objekty a ČSN 73 0804 pro výrobní objekty a na normy řady ČSN 73 08xx. Konkrétní návrh a realizační dokumentace EPS se provádí podle ČSN 34 2710 v návaznosti na tuto normu.

ČSN 73 0848(730848) Požární bezpečnost staveb – Kabelové rozvody. Norma stanovuje požadavky na kabelové rozvody z hlediska požární bezpečnosti staveb, a to v návaznosti na normy pro navrhování požární bezpečnosti staveb řady ČSN 73 08xx. Kromě požadavků na kabelové trasy z hlediska požární bezpečnosti stanovuje požadavky na funkčnost kabelových tras, které napájí elektrická zařízení, která musí zůstat funkční v případě požáru. Dále norma stanovuje požadavky na kabely, vodiče a kabelové trasy z hlediska tříd reakce na oheň, které v případě požáru nemusí být funkční. Stanovuje také požadavky na prostory kabelových rozvodů z hlediska požární bezpečnosti. V normě jsou rovněž stanoveny upřesňující požadavky na zajištění provozu (dodávky elektrické energie) pro elektrická zařízení s požadovanou funkcí při požáru v případě požáru.

ČSN 34 2710 (342710) Elektrická požární signalizace (EPS) - Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba. Tato norma stanoví zásady pro navrhování, montáž, uvedení do provozu, kontroly, údržbu a opravy systému EPS platné pro nové stavební objekty a technologické soubory (včetně jejich částí a prostorů), změny stávajících stavebních objektů a technologických souborů (včetně jejich částí a prostorů), změny v užívání stávajících stavebních objektů a technologických souborů (včetně jejich částí a prostorů), zajištění provozuschopnosti, údržby a oprav instalovaných systémů EPS. Stanovení podmínek pro navrhování systému EPS v rámci požárně bezpečnostního řešení řeší ČSN 73 0875. Norma platí pro systémy EPS sloužící k zajištění včasné detekce a signalizace vznikajícího požáru, ke spolehlivému samočinnému ovládnutí či monitorování stavu zařízení požární ochrany připojených na výstupy ústředny EPS (např. ovládaná a doplňující požárně bezpečnostní zařízení) a k samočinnému zabezpečení dalších opatření (např. vypnutí strojů, uzavření potrubních či dopravních systémů, přenos požárního poplachu na vzdálenou ohlašovnu požárů), a to buď přímo nebo prostřednictvím doplňujících zařízení (např. zařízení dálkového přenosu (ZDP), klíčový trezor požární ochrany (KTPO), obslužné pole požární ochrany (OPPO)). Norma také platí pro navrhování objektů a technologických souborů (včetně jejich částí a prostorů) v rozsahu, ve kterém se na ně české technické normy nebo právní předpisy odvolávají.

ČSN 65 0202 (650202) Hořlavé kapaliny. Plnění a stáčení. Výdejní čerpací stanice. Platí pro projektování nových plnicích a stáčecích stanovišť hořlavých kapalin a topných olejů, výdejních čerpacích stanic s výdejními stojany nebo stáčecími a výdejními bloky, letištních tankovacích stanic a tankovacích stanic pro vnitrozemská plavidla a stanoví základní konstrukční požadavky pro nově konstruované výdejní stojany. Platí dále pro projektování změn staveb nebo technologických zařízení plnicích a stáčecích stanovišť čerpacích a tankovacích stanic, a to pro měněné části objektů nebo technologických zařízení. Neplatí v podstatě pro projektování a provoz drážních objektů. Neplatí rovněž pro čerpací stanice a plnění a stáčení zkapalněných uhlovodíkových plynů.

ČSN EN IEC 60079-0 ed.5 (332320); Výbušné atmosféry – Část 0: Zařízení – Obecné požadavky. Norma stanoví všeobecné požadavky na konstrukci, zkoušení a označování Ex zařízení a Ex součástí, určených pro použití ve výbušných atmosférách (Ex – Explosion-proof – zařízení jsou určena pro

použití v prostředích, kde existuje riziko výbuchu, například v dolech, chemických závodech nebo na jiných pracovištích s výbušnou atmosférou plynů, par nebo hořlavých prachů. Tato zařízení, certifikovaná podle evropských směrnic ATEX, jsou konstruována tak, aby zabránila vznícení a explozi v těchto nebezpečných zónách). Norma uvádí dodatečné požadavky na zkoušky pro Ex zařízení, která pracují mimo normální rozsah teplot.

ČSN EN IEC 60079-10-1 ed.3 (332320) Výbušné atmosféry – Část 10-1: Určování nebezpečných prostorů – Výbušné plynné atmosféry. Jedná se o normu, která stanovuje postupy pro určování a klasifikaci nebezpečných prostorů s výbušnými plynnými atmosférami. Norma popisuje metodu pro hodnocení zdrojů úniku hořlavých látek a definuje, jak zařadit prostory na základě pravděpodobnosti vzniku a trvání výbušné plynné atmosféry. Nezabývá se však důsledky vznícení výbušné atmosféry.

ČSN EN 60079-14 ed. 4 (332320); 2014 Výbušné atmosféry – Část 14: Návrh, výběr a zřizování elektrických instalací. Norma obsahuje specifické požadavky pro navrhování, výběr, zřizování a výchozí revize elektrických instalací v nebezpečných prostorech nebo prostorech souvisejících s výbušnými atmosférami.

ČSN EN 62305-1 Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy. Stanovuje obecné principy, včetně informací o nebezpečí blesku, jeho parametrech a ochraně staveb a osob před jeho účinky. Norma pokrývá principy ochrany před bleskem pro stavby, jejich instalace a obsah, stejně jako inženýrské sítě připojené ke stavbě.

ČSN ISO 14687(656520) Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu. Dokument specifikuje minimální kvalitativní charakteristiky vodíkového paliva, které se distribuuje pro využití v dopravních a stacionárních aplikacích.

ČSN EN 16942+A1(656565) Paliva – Identifikace kompatibility vozidla – Grafické vyjádření informací pro spotřebitele. Evropská norma stanoví harmonizované identifikační štítky kapalných a plynných paliv na trhu. Požadavky v této normě jsou nastaveny pro potřeby uživatelů, obsahují doplnění informací o kompatibilitě vozidel a paliv, která jsou uváděna na trh. Identifikační štítky jsou určeny k vizualizaci na výdejních stojanech a čerpacích stanicích, na vozidlech, u prodejců motorových vozidel a v příručkách pro spotřebitele

ČSN ISO 3864-1 Grafické značky – Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky – Část 1: Zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení. Stanovuje bezpečnostní identifikační barvy a zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení k použití na pracovištích a ve veřejných prostorech za účelem prevence nehod, požární ochrany, informací o zdravotním riziku a o nouzové evakuaci. Stanovuje také základní zásady pro přípravu norem obsahujících bezpečnostní značky. Stanovuje také základní zásady pro přípravu norem obsahujících bezpečnostní značky. Tato část ISO 3864 je použitelná na všech místech, kde je potřeba řešit otázky bezpečnosti v souvislosti s lidmi. Nevztahuje se však na signalizace používané pro řízení železniční, silniční, říční, námořní a letecké dopravy a obecně řečeno na ta odvětví, podléhající řízení podle odlišných pravidel.

Pro další rozvoj oblasti požární bezpečnosti vodíkových technologií je nutné legislativně ukotvit elektrolyzéry, harmonizovat národní normy s ISO/EN a posílit metodickou podporu úřadům i hasičům.

3 Specifické vlastnosti vodíku z hlediska požární ochrany

3.1 Fyzikální a chemické parametry vodíku

Vodík je unikátní svou jednoduchostí a současně komplexním dopadem na požární bezpečnost. Jeho molární hmotnost 2 g/mol z něj dělá nejlehčí plyn, což má zásadní dopady na jeho chování v prostředí čerpací stanice. Hustota 0,0899 kg/m³ při normálních podmínkách znamená, že se při úniku šíří mnohem rychleji než jiné plyny [30].

Tabulka 1: Porovnání vybraných vlastností vodíku a jiných paliv

Parametr	Vodík (H ₂)	Metan (CH ₄)	LPG	Benzínové páry
Molární hmotnost (g/mol)	2	16	~44	~100
Hustota (kg/m ³)	0,0899	0,656	2,0	3–4
Dolní mez výbušnosti (obj. %)	4	5	2	1,4
Horní mez výbušnosti (obj. %)	75	15	9,5	7,6
Energie zapálení (mJ)	0,02	0,29	0,25	0,24
Teplota vznícení (°C)	585	650	500	280

Poznámka: Hodnoty v tabulce uvedené se v jednotlivých zdrojích mohou lehce lišit.

Z tabulky je patrné, že vodík má:

- **nejnižší energii zapálení** – zapálí se i od minimální jiskry,
- **nejširší rozsah výbušnosti** – v praxi je proto snazší dosáhnout zápalné směsi,
- **nejnižší hustotu** – uniká vzhůru, což může být výhodou ve volném prostoru, ale rizikem v uzavřených objektech.

3.2 Difuzivita a únikové chování

Vodík se díky své malé molekule a vysoké difuzivitě šíří **asi 4× rychleji než metan**. To má dva protichůdné efekty:

- **výhoda:** rychlé rozptýlení ve volném prostoru → menší pravděpodobnost dlouhodobé akumulace při venkovních únikových scénářích,
- **nevýhoda:** schopnost pronikat i mikroskopickými netěsnostmi → obtížná absolutní těsnost technologických celků.

Z hlediska konstrukce je proto vhodné využívat **vysoce kvalitní ventily, armatury a spoje** a provádět pravidelnou tlakotěsnou zkoušku celé soustavy [30].

3.3 Charakteristiky hoření

Plamen vodíku má odlišné vlastnosti než plamen uhlovodíkových paliv:

- je téměř **neviditelný** pro lidské oko, protože vyzařuje převážně v ultrafialové oblasti,
- **nízká sálavost** → okolí plamene není tak ohříváno, riziko přenosu požáru na sousední objekty je nižší,
- **koncentrace tepla v horní části plamene** → ohrožení konstrukcí nad místem hoření,
- **délka plamene** – při vysokotlakých únicích může dosahovat několika metrů, přičemž základna plamene zůstává málo viditelná.

Z poznatků zásahových jednotek z mezinárodních incidentů havárií (Norsko – Sandvika 2019, Japonsko - 2016, USA – Kalifornie) vyplývá, že největším rizikem je **neviditelnost plamene**. Doporučuje se proto nasazení **termokamer a infračervených detektorů** pro jeho identifikaci [31].

3.4 Výbuchové charakteristiky

Vodík se může stát výbušným nejen při běžných únikových scénářích, ale i při **náhlém odlehčení tlaku**. Vysoká rychlost šíření plamene (udává se v řádu stovek až tisíců cm/s), že exploze může být velmi destruktivní i při relativně malém množství plynu.

Například při úniku pouhých 1 kg vodíku může vzniknout zápalná směs o objemu až jednotek tisíců m³. V případě zapálení v uzavřeném prostoru to může odpovídat energii několika kilogramů TNT.

3.5 Materiálové aspekty a vodíkové křehnutí

Jedním z méně známých rizik je **vodíkové křehnutí (hydrogen embrittlement)**. Molekuly vodíku difundují do kovových materiálů a oslabují jejich mechanickou pevnost. Tento jev se týká zejména:

- ocelových tlakových lahví,
- potrubních rozvodů,
- ventilů a spojek.

3.6 Kryogenní vlastnosti

Při skladování kapalného vodíku je nutné počítat s teplotou –253 °C. To přináší **kryogenní rizika**:

- omrzliny při kontaktu s kůží,
- zvýšené křehnutí materiálů při extrémně nízkých teplotách,
- rychlé odpaření kapalného vodíku → tvorba velkého zápalného oblaku.

Proto se doporučuje využívat speciální **izolované nádrže a nutné technologické vybavení** z důvodu přirozeně vysoké míry odparu vodíku až 5 % za den.

Specifické vlastnosti vodíku – lehkost, difuzivita, široké rozmezí výbušnosti, nízká energie zapálení, neviditelný plamen, křehnutí materiálů a kryogenní rizika – představují komplexní soubor výzev pro požární bezpečnost. Tyto charakteristiky činí vodík zásadně odlišným od tradičních paliv a vyžadují:

- přísné technické normy (detekce, větrání, odfukové systémy),
- odolné materiály a pravidelné kontroly,
- vyškolené hasičské zásahové jednotky s odpovídajícím vybavením,

otevřenou komunikaci s veřejností, aby byla posílena důvěra v bezpečnost této technologie [30].

4 Požární scénáře a modelování rizik [30]

4.1 Úvod do problematiky scénářů

Pojem **požární scénář** se v inženýringu požární bezpečnosti používá k označení hypotetického, ale realistického průběhu mimořádné události. V případě vodíkových stanic jsou požární scénáře důležitější než u tradičních palivových technologií, protože:

- vodíková infrastruktura je nová a chybí dostatek dlouhodobých provozních zkušeností,
- vlastnosti vodíku (šíře výbušnosti, difuzivita, neviditelný plamen) zvyšují komplexnost rizik,
- veřejnost vnímá vodík s jistou mírou obav, takže transparentní modelování rizik je klíčové i pro budování důvěry.

Požární scénáře by měly zahrnovat nejen běžné provozní poruchy, ale i extrémní události – například souběh více selhání nebo zásah stanice externím faktorem, např. bleskem, dopravní nehodou atd.

4.2 Malý únik ve volném prostoru

Popis scénáře

Jedná se o situaci, kdy vodík uniká v relativně malém množství – například netěsný ventil nebo mikroprasklina v potrubí. Plyn uniká do atmosféry, rychle stoupá a ředí se.

Rizika

- riziko je relativně nízké, pokud je zajištěna dobrá ventilace,
- pokud by však došlo k zapálení, vzniká **úzký plamen vysoké teploty**, který může popálit osoby v blízkosti, aniž by si plamene osoby všimly (kvůli jeho neviditelnosti).

Návrh opatření

- automatické odstavení technologie při detekci úniku,
- rozmístění detektorů v nejvyšších částech prostoru,
- školení obsluhy – obsluha musí vědět, že absence viditelného plamene neznamená bezpečí.

4.3 Velký únik ve volném prostoru

Popis scénáře

Selhání vysokotlakého potrubí, prasknutí hadice nebo ventilů → masivní únik plynu. Vodík se uvolňuje rychle, vytváří oblak, který může dosáhnout značné výšky.

Rizika

- v otevřeném prostoru se vodík rozptýluje, ale než k tomu dojde, může v určité výšce vzniknout zápalná vrstva,

- při zapálení vzniká prudký požár s vysokým plamenem, který je nebezpečný i pro nadzemní konstrukce (např. elektrické vedení, střechy budov).

Návrh opatření

- volný prostor nad stanicí – nedoporučuje se zastřešení, protože by bránilo disperzi,
- odfukové ventily orientované svisle vzhůru,
- dostatečné vzdálenosti od budov, které by mohly být zasaženy plamenem.

4.4 Únik v uzavřeném prostoru

Popis scénáře

Vodík uniká v technologickém kontejneru nebo strojovně. Plyn se hromadí pod stropem, aniž by byl vizuálně detekovatelný. Jakmile koncentrace dosáhne 4–75 %, vzniká vysoce riziková směs.

Rizika

- při zapálení dochází k **explozivnímu hoření** – tlaková vlna může poškodit konstrukci i okolí,
- je to **nejkritičtější scénář**, protože záchrana osob uvnitř je obtížná,
- podobné exploze byly pozorovány i při úniku zemního plynu, ale u vodíku jsou účinky prudší kvůli rychlejšímu šíření plamene.

Návrh opatření

- nucené větrání technologických prostor (ventilace s vysokou výměnou vzduchu),
- instalace detektorů vodíku v horních partiích Nastavení detektorů se provádí na 10 % LEL, tedy 0,4 % obj. H₂ ve vzduchu.
- automatické odpojení elektřiny a uzavření přívodu při zjištění úniku.

4.5 Požár tlakové nádoby – „jet fire – tryskový požár“

Popis scénáře

Pokud vodík uniká z tlakové nádoby a ihned se zapálí, vzniká úzký a intenzivní plamen – tzv. „jet fire“. U plynného vodíku má požár typu „jet – fire“ zvláště nebezpečné vlastnosti, kdy může v závislosti na podmínkách vznikat poměrně dlouhý plamen (metry až desítky metrů). Tento plamen ovšem není téměř vidět kvůli absenci sazí, na rozdíl od plamene hořícího uhlovodíku, a z plamene se jen málo tepla šíří zářením. Uvnitř plamene je spalováním vodíku dosahováno vysokých hodnot tepla, které není prakticky předáváno dále jinak než spaliny. Z výše uvedených faktů vyplývá, že tento typ požáru je zvláště nebezpečný pro zdraví osob, které plamen prakticky nevidí a tepelně necítí až do okamžiku plného zasažení. Ohrožené osoby procházející oblastí ohroženou takovým plamenem do ní mohou přímo vstoupit a utrpět vážné popáleniny.

Rizika

- plamen má teplotu přes 2 000 °C,

- dokáže rychle oslabit konstrukce a způsobit sekundární havárii,
- nebezpečí pro osoby spočívá v neviditelnosti plamene u základny – člověk může vstoupit přímo do ohně.

Návrh opatření

- orientace nádob a ventilů tak, aby proud plynu směřoval bezpečným směrem,
- protipožární clony oddělující jednotlivé části technologie,
- školení IZS – zásahové složky musí vědět, že plamen je viditelný až ve vyšší části.

4.6 Exploze tlakové nádoby (BLEVE)

Popis scénáře

Pokud nádoba s vodíkem není schopna uvolnit tlak (např. při poruše pojistného ventilu) a dojde k jejímu zahřátí, nastane BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Je to fyzikální exploze způsobená náhlým roztržením natlakované nádoby, která obsahuje kapalinu s teplotou vyšší než její normální bod varu. V důsledku poruchy nádoby dochází k rychlé expanzi páry z přehřáté kapaliny, což vede k uvolnění obrovského množství energie a destruktivnímu výbuchu. Typickým scénářem je poškození nádoby s hořlavým médiem teplem z požáru, případně výpadkem aktivního chlazení v kombinaci s poruchou technologie odvětrávání odparu, což způsobí vnitřní přehřátí, oslabení materiálu a následné roztržení.

Rizika

- exploze nádoby rozmetá fragmenty do okolí rychlostí stovek metrů za sekundu,
- kromě tlakové vlny hrozí i devastující účinky střepin,
- jde o scénář s nejvyšší závažností, i když s relativně nízkou pravděpodobností.

Návrh opatření

- povinné odlehčovací ventily,
- odfuková potrubí vedená vzhůru,
- chlazení nádrží v případě požáru.

4.7 Únik a požár kapalného vodíku – LH₂

Popis scénáře

Vodík v kapalném stavu se odpařuje při teplotě –253 °C. Při náhodném úniku se rychle odpaří velké množství plynu.

Rizika

- vznik mohutného oblaku zápalné směsi,
- kryogenní popáleniny a křehnutí materiálů,
- při zapálení obrovský plamen, který je viditelný na velkou vzdálenost.

Návrh opatření

- speciální kryogenní nádrže s dvojitou stěnou,
- havarijní odfukové systémy s vysokou kapacitou,
- přísná pravidla pro manipulaci (pouze vyškolený personál).

4.8 Posouzení rizika

Posouzení rizika je celkový proces identifikace rizika, analýza rizika, hodnocení rizika a zmírňování rizika. Posouzení umožňuje vlastníkům a projektantům vodíkové čerpací stanice operativně řešit zmírnění specifických rizik pro konkrétní stanici. Posouzením rizika lze zmírnit požadovaná normativní opatření, pokud celkové riziko systému zůstává pod zvolenou mezí přijatelnosti (akceptační kritérium rizika).

Posouzení rizika pro vodíkovou čerpací stanici musí být provedeno vždy, kromě případu, kdy stanice splňují normativní předpisy, které příslušná rizika řeší. Posouzení rizika má prokázat, že použité minimalizační opatření jsou vhodná k dosažení požadované úrovně rizika. Návod pro provádění posouzení rizika uvádí např. ISO 31000, IEC 31010 nebo ISO 12100.

Doporučuje se, aby posouzení rizika prováděné pro vodíkové čerpací stanice bylo kvantitativní (QRA) nebo semikvantitativní. Použití QRA může umožnit (např. pomocí opatření zmírňování) menší bezpečné vzdálenosti nebo zjednodušené uspořádání čerpací stanice. Semikvantitativní posouzení rizika poskytuje strukturovaný způsob, jak seřadit rizika podle jejich pravděpodobnosti, závažnosti nebo obojího (kritičnost) a seřadit činnosti ke snížení rizika z hlediska jejich efektivnosti. Toho se dosáhne prostřednictvím předem definovaného bodovacího systému, který umožňuje rozvrhnout vnímané riziko do kategorií, přičemž mezi kategoriemi existuje logická a explicitní hierarchie. Semikvantitativní posouzení rizika se obecně používá tam, kde je snaha optimalizovat rozvržení dostupných zdrojů, aby se minimalizoval dopad skupiny rizik. Doporučení jsou uvedena v příloze A ČSN ISO 19880-1.

Posouzení rizika má prokázat, že zvažovaná opatření ke zmírňování jsou vhodná k dosažení požadovaného snížení pravděpodobnosti nebo následků každého definovaného scénáře.

4.9 Metody a nástroje pro modelování rizik

Modelování rizik má praktické využití při schvalování projektů z bezpečnostních a požárně bezpečnostních hledisek.

Modelování rizik v požární bezpečnosti zahrnuje použití pokročilých modelů a výpočtových metod k posouzení požárního rizika a návrhu spolehlivých konstrukčních a technických řešení budov. Cílem je ekonomicky optimalizovat požární ochranu, zajistit stabilitu konstrukcí a bezpečnost osob. Tento proces zahrnuje ověřování modelů (validaci a verifikaci), stanovení požárního zatížení a výpočet stupně požární bezpečnosti budovy, který pak určuje požadavky na požární odolnost konstrukcí.

Modelování umožňuje posoudit pravděpodobnou intenzitu požáru a jeho šíření v posuzovaném objektu na základě jeho charakteru a provozu.

Používají se:

- **matematické modely** – např. pro výpočet plamene při jet fire,
- **CFD simulace** – modelování proudění plynu a tepla v reálném prostředí,
- **experimentální data** – testy prováděné v zahraničních výzkumných centrech (např. v Německu a Japonsku).

Příklady vhodných nástrojů pro modelování bezpečnostních rizik:

1. **KFX-Exsim** – nástroj CFD, používaný pro modelování ventilace, rozptyl plynů a simulaci požáru v bezpečnostní analýze včetně modulu výbuchu,
2. **FLACS** – nástroj CFD, používaný pro modelování ventilace, rozptyl plynů a simulace výbuchu v bezpečnostních analýzách včetně modulu požáru,
3. **NET – Tools** – nástroj pro online výpočet nebezpečných vzdáleností pro nevznícené úniky, tryskové požáry, tlakovou vlnu a jádro výbuchu po prasknutí zásobníku vodíku při požáru, techniky zmírňování deflagrace atd.,
4. **Phast/Phast Risk** – softwarový nástroj pro analýzu nebezpečí procesu pro všechny etapy návrhu a provozu, který zkoumá postup potenciálního incidentu od počátečního úniku až po analýzu rozptylu do vzdáleného pole, včetně modelování hladinového šíření a vypařování a výbušných a toxických účinků,
5. **HyRAM** – soubor nástrojů pro deterministické a pravděpodobnostní posuzování rizika pro vodíkovou infrastrukturu,
6. **SAFETI: SAFETI-NL** – softwarový nástroj používaný pro kvantitativní výpočty posuzování rizika v Nizozemsku.

Výsledky modelování rizik mohou také sloužit pro:

- stanovení bezpečnostních vzdáleností,
- určení optimálního rozmístění technologií,
- navržení havarijních plánů.

Metodika ÚJV Řež (2019) obsahuje příklady těchto modelů a doporučuje je jako základ pro projektování [11].

4.10 Význam požárních scénářů pro návrh a zásahy

Požární scénáře mají přímý dopad na:

- **projektanty** – určují dispoziční řešení stanice,
- **státní úřady** – slouží jako podklad pro povolovací a schvalovací procesy,
- **zásahové složky** – pomáhají při přípravě taktických plánů.

Projekt **HyResponder (2021)** zdůrazňuje, že zásahové jednotky musí mít znalost těchto požárních scénářů. Bez ní by nebyly schopny efektivně zasáhnout. Například:

- **hořící únik se nehasí**, ale uzavírá se přívod,
- při **BLEVE** je klíčová evakuace,
- při **úniku v uzavřeném prostoru** je nutné okamžité větrání.

Analýza scénářů a modelování rizik jsou pilířem bezpečnosti vodíkových stanic. Umožňují:

- navrhnout technická opatření,
- definovat bezpečnostní vzdálenosti,
- připravit havarijní plány a zásahové postupy.

Největší výzvy představují požární scénáře:

- úniky v uzavřených prostorech,
- jet fire,
- a BLEVE.

Díky kombinaci norem, pokročilého modelování a zkušeností z praxe lze rizika řídit tak, aby vodíkové stanice byly vnímány jako bezpečné a spolehlivé [30].

5 Příklady nehod a poučení z praxe

5.1 Proč je důležité učit se z nehod

Každý, kdo se pohybuje v oblasti požární bezpečnosti, ví, že **nejlepším učitelem je reálná událost**. Teorie, normy a simulace jsou nezbytné, ale nikdy nemohou obsáhnout všechny možné kombinace chyb, selhání a vnějších vlivů. Nehoda proto funguje jako „tvrdá realita“, která ukáže, co skutečně nefunguje.

V historii průmyslu máme mnoho příkladů, kdy jedna nehoda změnila celý obor. Havárie v italském Sevesu (1976) vedla k přijetí směrnic SEVESO v celé Evropě. Katastrofa v Bhopálu (1984) změnila pohled na průmyslovou bezpečnost v rozvojových zemích. V jaderném průmyslu Three Mile Island (1979) a Černobyl (1986) ukázaly, že lidský faktor je stejně důležitý jako technika.

Vodíkové technologie jsou v tomto ohledu na začátku cesty. Nehody z poslední dekády, i když často menšího rozsahu, se stávají **stavebními kameny norem a metodik**. Pokud bychom je ignorovali, opakovali bychom stejné chyby.

5.1.1 Norsko – Sandvika (2019)

Exploze stanice způsobená závadou ventilu. Výbuch byl tak silný, že jeho tlaková vlna dokázala vystřelit airbagy všem okolo stojícím autům. Právě vystřelené airbagy mají na svědomí jediná dvě lehká zranění. Samotná čerpací stanice byla v té době prázdná, takže nedošlo k žádným obětem na životech. Hasiči zápasili s ohněm cca čtyři hodiny.

Průběh incidentu

1. Na stanici došlo k selhání vysokotlakého ventilu.
2. Vodík začal unikat do okolí, množství bylo značné.
3. Plyn se akumuloval v prostoru kolem technologie.
4. Došlo k iniciaci – pravděpodobně jiskrou ze zařízení nebo elektrické instalace.
5. Následovala exploze, která vytvořila tlakový ráz a poškodila blízké budovy.

Dopady

- Dva lidé byli lehce zraněni.
- Obyvatelé v okolí byli evakuováni.
- Veřejnost reagovala obavami, média mluvila o „vodíkové bombě“.
- Provozovatel Ineratec uzavřel dočasně všechny stanice svého typu v celé Evropě.

Analýza a reakce

- Inspekce ukázala, že ventil měl konstrukční vadu.
- Norský úřad pro bezpečnost vyžadoval, aby se všechny ventily stejného typu vyměnily.
- Výrobci komponent začali zavádět přísnější **certifikační procesy**.

Poučení

- I jedna vadná součástka může zastavit celý trh.
- Veřejnost reaguje velmi citlivě – po incidentu klesla poptávka po vodíkových autech.
- Incident se promítl i do evropských diskusí o tom, jak rychle a bezpečně budovat infrastrukturu.

5.1.2 USA – Kalifornie (2017–2019)

Incidenty na experimentálních stanicích ukázaly význam kvalitního větrání prostorů s vodíkovými technologiemi. Kalifornie zpřísnila uplatňování ISO/TS 19880-1, norma představuje vodítko v oblasti výkonů a bezpečnosti pro vodíkové plnicí stanice včetně jejich rozhraní s vozidlem. Pokrývá procesy od výroby a dodávky vodíku po jeho stlačování, uchovávání a plnění vodíkových vozidel. Tato technická specifikace je primárně určena pro lehká silniční palivočlánková vozidla. Přiměřeně ji však lze aplikovat i pro jiná vozidla, jako jsou například palivočlánkové autobusy, tramvaje nebo manipulační vozíky.

Průběh

- Na několika experimentálních stanicích došlo k **menším explozím v technologických kontejnerech**.
- Vodík unikál, hromadil se pod stropem a při kontaktu se zdrojem iniciace explodoval.

Dopady

- Nebyly zaznamenány oběti na životech.
- Došlo k finančním škodám a omezení provozu.
- Média incidenty prezentovala spíše věcně, ale ukázala na slabiny infrastruktury.

Reakce

- Kalifornie zpřísnila povinné uplatňování normy **ISO/TS 19880-1**.
- Byly posíleny požadavky na ventilaci a detekci.
- Provozovatelé museli častěji kalibrovat senzory.

Poučení

- Největším rizikem jsou **uzavřené prostory**.
- Umístění senzorů musí odpovídat fyzikálním vlastnostem vodíku – detektory musí být vždy nahoře.
- Incidenty ukázaly, že bezpečnost není statická, ale musí se neustále přizpůsobovat novým zkušenostem.

5.1.3 Další zkušenosti ze světa

- **Německo** – drobné incidenty spojené se špatnou manipulací s plnicí pistolí. Závěr: uživatelský komfort a školení zákazníků jsou důležité.
- **Jižní Korea** – po několika požárech stát zavedl přísnější inspekce tlakových nádob a ventilů.

- **Francie** – pilotní stanice ukázaly, že nejslabším článkem jsou **kompresory**, které selhávají při dlouhodobém provozu.

5.2 Paralely z jiných technologií

Historie ukazuje, že podobným vývojem prošla i jiná paliva:

- **LPG** – v začátcích obavy z exploze nádrží. Dnes standardní součást čerpacích stanic, vybavená přetlakovými ventily.
- **CNG** – problémy s akumulací plynu v garážích. Řešením se stala povinná detekce a ventilace.
- **Chemický průmysl** – dlouhodobě pracuje s vodíkem v rafinériích. Jejich zkušenosti s prevencí havárií jsou dnes využívány i pro čerpací stanice.

Obecná poučení:

- **Technická kvalita rozhoduje** – i malý ventil může způsobit explozi.
- **Uzavřené prostory jsou kritické** – ventilace a detekce jsou absolutní prioritou.
- **Normy se učí z nehod** – ISO 17268 a ISO/TS 19880-1 byly zpřísněny až po konkrétních incidentech.
- **Veřejnost reaguje citlivě** – v Norsku se po jediné nehodě zastavil rozvoj celé infrastruktury.
- **Školení a prevence** – zásahové jednotky, obsluha i zákazníci musí vědět, jak se chovat.

Nehody nejsou selháním technologie, ale příležitostí k jejímu zlepšení. Ukazují, kde jsou slabá místa, a pomáhají nastavit normy a postupy. Vodíková infrastruktura je díky nim **bezpečnější než před pěti lety** – právě proto, že se poučila.

5.3 Poučení z případů nehod

Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že nehody na vodíkových čerpacích stanicích bývají spojeny s únikem plynu a jeho následným vznícením. Mezi hlavní příčiny patří netěsnosti v potrubí a selhání ventilů. Případy nehod ukazují, že i v zemích s vyspělou infrastrukturou není riziko nulové a že klíčovým faktorem je **kvalita komponent a pravidelná údržba**.

5.4 Případová studie PwC (2023–2024) Česká republika

Případová studie PwC z konce roku 2023 a začátku roku 2024, kterou nechal vypracovat Svaz průmyslu a dopravy ČR s podporou firmy Orlen Unipetrol, konstatuje, že České republice ujíždí vlak v rozvoji vodíkové infrastruktury a přípravě na přechod na vodík, i přes existující národní vodíkovou strategii. Studie zdůrazňuje potřebu urychlit rozvoj obnovitelného vodíku, využít i nízkouhlíkový vodík a připravit podmínky pro jeho budoucí využití v průmyslu a dopravě, zejména pak pro případné využití plynové sítě pro přepravu vodíku. V České republice zatím k velkým nehodám nedošlo. Nicméně studie upozorňuje na rizika spojená s elektrolyzéry, které vyrábějí vodík přímo na stanici.

Rizika

- Elektrolyzátor je nový typ technologie, který zatím není právně jasně zařazen.

- Pokud by došlo k úniku uvnitř budovy, hrozí exploze podobně jako v Kalifornii.
- Nedostatek legislativní opory komplikuje i havarijní připravenost hasičů.

Poučení

- Je nutné legislativně ukotvit elektrolyzéry v Energetickém zákoně.
- Hasiči potřebují jasné postupy pro zásah.
- Prevence musí být nastavena dříve, než dojde k první velké nehodě.

6 Technická opatření k prevenci požárů a výbuchů na vodíkových stanicích

6.1 Filozofie bezpečnosti – proč jsou opatření nezbytná

Požární bezpečnost vodíkových čerpacích stanic je téma, které na první pohled může působit čistě technicky, avšak ve skutečnosti jde o komplexní disciplínu, která zahrnuje i psychologii bezpečnosti, důvěru veřejnosti a v neposlední řadě také **ekonomiku provozu**. Pokud by veřejnost nabyla dojmu, že stanice jsou nebezpečné, celý rozvoj vodíkové mobility by se zpomalil nebo zcela zastavil. Proto se do návrhu a provozu stanic promítá filozofie tzv. **vícevrstvé ochrany (defence in depth)**. Ta spočívá v tom, že ani jedna ochranná bariéra není považována za stoprocentně spolehlivou. Bezpečnost je zajištěna až kombinací více vrstev opatření – technických, organizačních i legislativních.

Metodika ÚJV Řež (2019) k tomu uvádí, že na rozdíl od čerpacích stanic na fosilní paliva nelze spoléhat na zkušenosti z minulosti, protože vlastnosti vodíku se zásadně liší. Z toho důvodu je nutné přistupovat k projektování s ještě vyšší mírou předběžné opatrnosti.

6.2 Obecná bezpečnostní doporučení pro vodíkové čerpací stanice

V rámci řešení obecné bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic je zapotřebí vytvořit obecné strategie zmírňování rizik [12]:

- minimalizace potenciálu pro tvorbu výbušné směsi,
- minimalizace potenciálu vznícení (od řízených i spontánních zdrojů vznícení),
- zmírňování účinků hořlavého plynu pocházejícího z instalace čerpací stanice,
- zmírňování dopadu případného vnějšího požáru na instalaci čerpací stanice,
- snížení fyzikálních účinků výbuchu způsobeného potenciálními úniky nebo netěsnostmi,
- minimalizace fyzického omezení vodíkových systémů,
- maximalizace přirozeného větrání,
- uplatnění bezpečnostních vzdáleností.

6.3 Nejčastější možné zdroje vznícení vodíku

Nejčastější zdroje vznícení vodíku:

- zásah bleskem,
- statická elektřina (včetně oděvů),
- mechanické jiskry (např. pohybující se části, nástroje nevhodné do výbušného prostředí),
- otevřené plameny,
- horké povrchy (např. přehřátí adiabatickou kompresí),
- elektrické součásti a instalace,

- nechráněné kabely pod napětím.

6.4 Bezpečnostní vzdálenosti a dispoziční řešení

Prvním krokem při návrhu stanice je **umístění jednotlivých technologických celků**. Tyto požadavky mohou na první pohled působit přehnaně přísně – například odstup 10 metrů od obytných budov – avšak jsou výsledkem **modelování havarijních scénářů**. Byly provedeny simulace různých typů úniků a výbuchů (např. v ÚJV Řež) a vyhodnocení jejich dopadů na okolí. Výsledky jasně ukázaly, že právě vzdálenost a oddělení jednotlivých částí výrazně zvyšují šanci, že i při havárii bude riziko pro okolí přijatelné [12].

V praxi to znamená, že projektant musí často řešit dilema mezi bezpečnostními požadavky a prostorovými možnostmi. V hustě zastavěných městských lokalitách proto přichází ke slovu **protipožární stěny a ochranné clony**, které nahrazují nedostatek prostoru a umožňují snížit reálné odstupy. Tento přístup je známý i z Německa či Japonska, kde stanice často vznikají přímo v areálech stávajících čerpacích stanic na klasická paliva.

6.5 Detekce úniků a význam větrání

Vodík je specifický v tom, že jej nelze **vidět, cítit ani slyšet**. Tím se liší od většiny ostatních paliv, kde se únik projeví zápachem, kouřem či vizuální stopou. To znamená, že pokud by stanice nebyla vybavena senzory, unikající vodík by mohl nepozorovaně vytvořit výbušnou směs, a první známkou problému by byla až exploze.

Proto je instalace detektorů v horních partiích technologických prostor naprostou nutností. Ve spojení s větracími systémy tvoří detekce základní **aktivní ochrannou bariéru**. V případě zjištění úniku se spustí alarm, aktivuje větrání a technologie se automaticky odstaví. Díky tomu je možné riziko výrazně omezit ještě před vznikem kritické situace [12].

Zkušenosti ukazují, že redundantní systémy – tedy kombinace různých typů detektorů – zvyšují spolehlivost. Společnost Parker Hannifin, mezinárodní lídr v oblasti technologií a systémů pro řízení pohybu s více než 50 lety zkušeností v odvětví vodíkových řešení, doporučuje kombinovat senzory založené na katalytickém principu s infračervenými čidly. Pokud jeden typ selže, druhý stále poskytne včasné varování.

6.6 Odfukové a odlehčovací systémy

Dalším zásadním opatřením jsou **odlehčovací ventily** a odfuková potrubí. Ty mají často dvojí roli: jednak zabráňují destruktivnímu přetlaku nádob, jednak umožňují **řízené uvolnění plynu** při havárii.

Pokud by nádoba nebyla vybavena ventilem, v případě požáru by došlo k rychlému zvýšení tlaku a následnému výbuchu, tzv. BLEVE. Ten má devastující účinky – tlaková vlna může poškodit nejen technologii, ale i okolní objekty. Přetlakové ventily tomu zabráňují tím, že odvedou plyn kontrolovaně vzhůru. To sebou nese i psychologický efekt – obyvatelé v okolí stanice vnímají viditelný únik jako důkaz „poruchy“, přestože jde o řízené bezpečnostní opatření. Proto je důležitá i komunikace s veřejností, aby se předešlo nedorozuměním.

6.7 Ochrana proti zdrojům iniciace

Vodík má **extrémně nízkou energii zapálení – 0,02 mJ**. To je méně než energie, kterou vyprodukuje lidské tělo při dotyku kovové kliky po přechodu po koberci. Jinými slovy – **obyčejná statická jiskra** může zapálit unikající plyn.

Z toho důvodu musí být veškerá zařízení na stanici uzemněna a obsluha musí používat antistatické prostředky. Elektrická zařízení instalovaná v prostoru s rizikem výbuchu musí být provedena v provedení "Ex" dle norem ČSN EN 60079. Provedení "Ex" dle souboru norem ČSN EN 60079 se týká elektrických zařízení a komponentů určených pro použití ve výbušných prostředích. Hlavním cílem je zajistit bezpečnost zařízení tak, aby nemohlo zapálit výbušnou směs plynů, par nebo prachu. Normy definují obecné požadavky na konstrukci, zkoušení a označování těchto zařízení, včetně specifických požadavků pro různé typy ochrany proti výbuchu a pro zóny s různým stupněm nebezpečí [27].

Nezbytností je důsledné řešení ochrany před bleskem – úder blesku může působit stovky milionů voltů a znamenat by jistou explozi, pokud by zasáhl nezajištěnou nádrž.

6.8 Chlazení a řízení teploty

Na rozdíl od jiných plynů se vodík při protlačení otvorem **zahřívá**, nikoli ochlazuje. Tento jev (Joule–Thomsonův efekt) znamená, že bez předchlazení by tlaková nádrž ve vozidle mohla překročit povolenou teplotu a tím by došlo k jejímu poškození.

Proto se dnes standardně používá **předchlazení na –40 °C**. Tato technologie není triviální – vyžaduje robustní chladicí jednotky, které musí fungovat nepřetržitě a při velkých výkonech. Právě chlazení patřilo mezi oblasti, kde první generace stanic selhávala, protože systémy nebyly konstruovány na nepřetržitý provoz. Postupem času však výrobci technologie zdokonalili, a dnes jsou schopni zajistit tankování srovnatelně rychlé jako u benzínu – přibližně 3 minuty pro osobní automobil.

6.9 Filtrace a kvalita plynu

Na první pohled se může zdát, že kvalita vodíku souvisí pouze s životností palivových článků. Ve skutečnosti má však i **bezpečnostní dimenzi**. Pokud by vodík obsahoval např. vodní páru, mohlo by docházet ke kondenzaci a následné korozi potrubí nebo ventilů, což by zvýšilo riziko netěsností. Příměsi uhlovodíků by zase mohly ovlivnit hořlavostní vlastnosti směsi a vést k nečekanému chování při úniku.

Proto norma ISO 14687 stanovuje čistotu 99,97 %. Norma rovněž definuje přípustná množství patnácti nečistot, které ovlivňují bezpečnost a životnost palivových článků. Společnost Parker Hannifin upozorňuje, že je nezbytné mít filtrační a sušicí systémy instalované v několika stupních [18].

6.10 Prediktivní údržba a monitoring

Historické zkušenosti ukazují, že nejčastější příčinou incidentů nebyly „katastrofické havárie“, ale **drobná selhání komponent**, která nebyla včas odhalena. Například uvolněná armatura nebo netěsný ventil mohou způsobit únik, který se pak v nevhodném prostředí stane zárodkem exploze.

Proto se v posledních letech prosazuje **prediktivní údržba** – tedy monitoring stavu zařízení v reálném čase. Senzory sledují vibrace kompresorů, teploty, průtoky a systém vyhodnocuje odchylky. Pokud zaznamená neobvyklé chování, informuje obsluhu ještě před tím, než dojde k havárii.

6.11 Aktivní a pasivní protipožární ochrana

Aktivní protipožární ochrana vodíkových čerpacích stanic zahrnuje automatické systémy, které se spustí v případě požáru. Jedná se zejména o:

- Detekci požáru: Systémy pro včasnou detekci hoření nebo úniku plynu.
- Automatické hašení: Systémy, které v případě detekce požáru aktivují hašení (např. vodní mlha, speciální hasicí látky).
- Úniková zařízení: Systémy, které mohou automaticky vypnout dodávku vodíku nebo jiné ohrožující procesy.

Pasivní protipožární ochrana má zabránit vzniku a šíření požáru. Zahrnuje:

- Stavební uspořádání: Dodržování předepsaných odstupových vzdáleností mezi technologickými částmi vodíkové čerpací stanice a dalšími objekty, které mají zabránit rychlému šíření požáru.
- Požární odolnost stavebních prvků: Použití materiálů a konstrukcí s definovanou odolností proti ohni, které dokáží po stanovenou dobu zadržet šíření plamenů, kouře a tepla.
- Zabezpečení potrubí: Vzduchotěsné spoje potrubí s použitím nehořlavých těsnění a pevné upevnění závěsnými systémy s ověřenou požární odolností.
- Ochrana nádrží a výdejních míst: Specifické technické parametry a uspořádání těchto částí vodíkové čerpací stanice s cílem omezit rizika spojená s vodíkem.
- Vybavení věcnými prostředky: Viditelně umístěné přenosné hasicí přístroje a další vybavení, které slouží k hašení požáru.

Specifikem je doporučení nehasit samotný vodíkový plamen, ale zaměřit se na **uzavření přívodu plynu a chlazení okolí**. Pokud totiž ventil funguje správně, plamen představuje menší riziko než nekontrolovaný únik nehořícího vodíku, který by mohl explodovat.

Technická opatření k prevenci požárů a výbuchů na vodíkových čerpacích stanicích tvoří provázaný celek. Jejich účelem není pouze splnit předpisy, ale především posílit **důvěru veřejnosti i úřadů**, že vodíková mobilita je bezpečná a udržitelná. Jen tak lze dosáhnout toho, aby se vodíkové technologie staly skutečně součástí každodenní dopravy [30].

6.12 Povinnosti provozovatelů vodíkových čerpacích stanic v oblasti požární bezpečnost

Provozovatel vodíkové čerpací stanice musí v rámci PBR (Požárně bezpečnostní řešení) doložit zejména [4]:

- analýzu rizik a výpočty bezpečnostních vzdáleností,
- klasifikaci nebezpečných prostorů podle ČSN EN 60079,
- návrh opatření proti výbuchu,
- dokumentaci o instalaci detektorů a odfukových systémů,
- školení obsluhy a plán havarijní připravenosti.

6.13 Dotčené státní orgány:

- **Hasičský záchranný sbor ČR** – posuzuje požárně bezpečnostní řešení.
- **Stavební úřady** – vydávají stavební povolení.
- **Ministerstvo životního prostředí** – posuzuje EIA (posouzení vlivu na životní prostředí).
- **ČIŽP (Česká inspekce životního prostředí)** – kontroluje dodržování zákona o prevenci závažných havárií.

6.14 Nedostatky současné legislativy

- Absence jasného legislativního rámce → právní nejistota investorů.
- Chybějící jednotné metodické pokyny pro úřady.
- Nezařazení elektrolyzérů do energetického zákona.
- Nízká priorita vodíkových projektů v ČR oproti Německu či Nizozemsku.

7 Role hasičů a zásahových jednotek

7.1 Proč jsou zásahové složky nepostradatelné

Vodíkové čerpací stanice představují technologii, která kombinuje **pokročilé inženýrství s veřejným prostorem**. Na jedné straně stojí moderní zařízení – elektrolyzéry, kompresory, zásobníky a sofistikované řídicí systémy. Na druhé straně běžní uživatelé – řidiči autobusů, nákladních vozidel i osobních automobilů, kteří přicházejí se stanicí denně do kontaktu.

Ani nejpokročilejší bezpečnostní technologie však nikdy nemůže zcela vyloučit možnost selhání. Může jít o drobnou netěsnost, výrobní vadu ventilu, lidskou chybu obsluhy nebo nepředvídatelný vnější zásah (např. dopravní nehodu či blesk). Proto je **zásahová složka IZS** poslední a často rozhodující linií obrany.

Jak uvádí program **HyResponder (2021)**, bezpečnostní opatření jsou pouze jednou stranou mince. Tou druhou je schopnost hasičů a záchranářů rychle, profesionálně a koordinovaně reagovat [30].

7.2 Srovnání s jinými palivy

Historie ukazuje, že i zavedení dnes běžných paliv – benzínu, nafty, LPG nebo CNG – bylo v počátcích spojeno s obavami. Například u LPG se veřejnost obávala exploze tlakových nádrží, u CNG zase úniku plynu do garáží. Postupem času se však podařilo díky technickým opatřením a profesionalitě hasičů vytvořit pocit bezpečí.

Podobný proces čeká i vodík. Rozdíl je v tom, že vodík má odlišné vlastnosti (neviditelný plamen, extrémně nízká energie zapálení, široký rozsah výbušnosti), které kladou na zásahové složky nové požadavky. Proto se i taktika zásahu musí odlišovat od zkušeností s jinými palivy.

7.3 Školení a vzdělávání – struktura a obsah

Projekt **HyResponder (2021)** vytvořil modulární vzdělávací program, který se dělí do tří částí:

1. Základní e-learning
 - určený pro všechny hasiče a záchranáře,
 - obsahuje interaktivní kurzy o fyzikálních vlastnostech vodíku, legislativě, normách a typických scénářích.
2. Praktický výcvik
 - zaměřen na taktické postupy při zásahu,
 - zahrnuje simulace úniku, požáru a výbuchu,
 - probíhá v kontrolovaném prostředí s využitím trenažérů.
3. Pokročilý specializovaný výcvik
 - určený pro velitele zásahu a specializované jednotky,
 - zahrnuje práci s termokamerami, rozhodování při BLEVE, evakuaci obyvatelstva,
 - řeší i koordinaci s médii a veřejností.

Každý hasič by měl minimálně absolvovat základní úroveň, jednotky v lokalitách s vodíkovými čerpacími stanicemi by měly pravidelně cvičit i praktické zásahy [30].

7.4 Vybavení zásahových jednotek

Úspěšný zásah se neobejde bez specifického vybavení:

- **termokamery** – nezbytné pro detekci plamene,
- **antistatické obleky a obuv** – ochrana proti jiskrám,
- **dýchací technika** – ochrana proti možným vedlejším produktům hoření,
- **hasicí přístroje třídy C** – určeny pro požáry plynů,
- **měřicí přístroje pro koncentraci vodíku** – přenosné detektory, které ukazují, zda se hasiči pohybují v nebezpečné zóně.

Moderní jednotky by měly být vybaveny také **komunikační technologií** propojenou s provozním systémem stanice. Díky tomu mají velitelé zásahu okamžitý přístup k informacím o stavu nádrží, tlaku a funkci odlehčovacích ventilů [30].

7.5 Rizika pro složky IZS

Projekt **HyResponder (2021)** identifikoval několik klíčových rizik pro zasahující hasiče:

- **neviditelný plamen** – nutnost termokamer,
- **velmi nízká energie zapálení** – nutnost antistatických obleků a uzemnění,
- **taktika zásahu** – doporučení nehasit hořící vodík, ale především **odstavit přívod plynu**,
- **specifika palubních nádrží vozidel** – práce s tlaky až 700 bar a ventily pro odlehčení.

Hasiči proto musí být školeni nejen v práci s vodíkovými technologiemi, ale i ve znalosti konstrukce vozidel a čerpacích stanic.

7.6 Taktické zásady zásahu

Požáry vodíku nemají být hašeny, dokud únik přetrvává. Zdroj vodíku má být uzavřen, pokud je to možné. Pokud nelze zdroj vodíku izolovat od místa úniku, je potřeba nechat vodíkový požár hořet, dokud se vodíkové palivo zcela nespotřebuje.

Hašení požáru vodíku před úplným spotřebováním vodíkového paliva může ve svém důsledku vést k vytvoření výbušné směsi. Hasicí zařízení se mají používat pouze k zabránění šíření požáru vodíku, např. ke chlazení okolního vybavení nebo k chlazení zásobníku vodíku, aby nedošlo k poškození nádob. Voda z hasicího systému nemá být přiváděna ani směřována do odvodu zásobníku vodíkového systému. Po dohašení požáru musí být z odvodu zásobníků vodíkového systému vypuštěna nahromaděná voda a před uvedením do provozu zásobníky zkontrolovány [30].

Zásah u vodíkové čerpací stanice se řídí jinými prioritami než zásah u čerpací stanice s tradičními palivy (benzín, nafta):

- **hořící únik se obvykle nehasí**, ale stabilizuje – uzavřením přívodu,
- **ochlazování nádrží** je prvořadé, aby nedošlo k BLEVE,
- **větrání uzavřených prostorů** je nezbytné před vstupem,
- **evakuace obyvatelstva** se provádí v dostatečné vzdálenosti, stanovené modelováním,
- **komunikace s obsluhou stanice** je klíčová – obsluha zná technologie a může poskytnout cenné informace.

7.7 Spolupráce s provozovateli a preventivní cvičení

Jedním z hlavních doporučení je pravidelná spolupráce mezi provozovatelem stanice a místními hasiči. Tato spolupráce zahrnuje:

- seznámení hasičů s technologií stanice,
- pravidelná cvičení přímo na stanici,
- **aktualizaci havarijních plánů**, které musí být v souladu s legislativou (Zákon č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi).

Preventivní cvičení mají význam i pro veřejnost – lidé vidí, že hasiči jsou připraveni, a roste jejich důvěra v technologii.

Incidenty ve světě ukázaly, jak zásadní je připravenost hasičů a také skutečnost, že teoretická znalost nestačí – klíčová je **praktická zkušenost**.

Role hasičů a zásahových jednotek u vodíkových čerpacích stanic je komplexní a zahrnuje:

- technickou připravenost (znalost specifik vodíku),
- organizační spolupráci (provozovatel – IZS),
- psychologické zvládání paniky a komunikaci s veřejností,
- mezinárodní sdílení zkušeností.

Bez profesionálně vyškolených složek IZS by nebylo možné vodíkovou infrastrukturu bezpečně rozvíjet. Program **HyResponder (2021)** poskytuje základní rámec, který by měl být implementován i v České republice.

Vodíkový požár je pro laika prakticky „neviditelný“ – chybí kouř, sálavé teplo i tradiční vizuální znaky. To může vyvolávat **paniku a nejistotu**. Proto hasiči musí nejen technicky zvládnout zásah, ale také umět komunikovat s veřejností:

- vysvětlit, proč není nutné hasit plamen, ale spíše uzavřít přívod,
- informovat, že evakuace je preventivní a neznamená katastrofu,
- ukázat, že mají situaci pod kontrolou.

Důležitá je i komunikace s médii – pokud je zásah prezentován profesionálně, posiluje to důvěru společnosti v bezpečnost vodíkových technologií [30].

7.8 Budoucí výzvy pro zasahující jednotky

- **Rozšíření infrastruktury** – s rostoucím počtem stanic bude nutné vyškolit více jednotek IZS po celé republice.
- **Integrace nových technologií** – s nástupem kapalného vodíku a vyšších tlaků (až 1000 bar) se rizika zvýší a bude nutné upravit taktiku zásahů.
- **Virtuální výcvik** – do budoucna se očekává širší využití virtuální reality a simulátorů, které umožní bezpečný trénink bez reálného ohrožení.
- **Spolupráce na mezinárodní úrovni** – incidenty neznají hranice, proto je nutné sdílet zkušenosti napříč Evropou.

8 Hlavní zásady požární bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic

- Požární bezpečnost vodíkových čerpacích stanic v České republice se v obecné rovině řeší zejména podle Stavebního zákona č. 283/2021 Sb., zákona č. 133/1985 Sb. (o požární ochraně), Vyhlášky č. 246/2001 Sb., o požární prevenci, Vyhlášky č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb., Vyhlášky č. 146/2024 Sb., o požadavcích na výstavbu a Technických pravidel TPG zařízení pro plnění nádob plyny G 304 03 Plnicí stanice stlačeného vodíku pro mobilní zařízení.
- Z hlediska normativních podkladů se jedná zejména o ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – společné požadavky, ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – výrobní objekty, ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty a další související normy řady ČSN 73 08xx.
- V případě společného provozu vodíkové čerpací stanice s čerpací stanicí kapalných pohonných hmot a zkapalněného uhlovodíkového plynu (LPG), stlačeného nebo zkapalněného zemního plynu (CNG, LNG) se postupuje také podle norem ČSN 65 0202 Hořlavé kapaliny. Plnění a stáčení výdejní čerpací stanic a ČSN 73 6060 Čerpací stanice pohonných hmot, s odchylkami v těchto normách uvedenými.
- Používané materiály, výrobky a technologie musí splňovat požadavky Zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, zejména v oblasti bezpečnosti a spolehlivosti z hlediska odolnosti materiálu vůči vodíku. Splnění tohoto požadavku musí být prokázáno, např. posouzením shody a vydáním prohlášení o shodě.
- Klasifikace nebezpečných prostorů vodíkové čerpací stanice se provádí podle ČSN EN IEC 60079-0 ed.5 (332320); Výbušné atmosféry. V těchto případech se uvedené bezpečnostní prostory považují za minimální. Vhodnými opatřeními, doloženými výpočty podle této normy, je možné nebezpečné prostory stanovené v těchto pravidlech zmenšit.

Dispoziční uspořádání vodíkové čerpací stanice musí snížit na přijatelnou úroveň možnost výskytu poškození nebo zranění v důsledku činností prováděných na čerpací stanici nebo vně objektu čerpací stanice. Mají být specifikována a přijata také opatření k minimalizaci vlivu událostí, které mohou potencionálně nastat v okolí čerpací stanice. Tyto události mohou zahrnovat nebezpečí požárů skladovaného paliva nebo jiných hořlavých materiálů, včetně budov, na čerpací stanici nebo v jejím okolí, poškození nárazem pohybujících se vozidel nebo i další nebezpečí vlivem prostředí (např. padající stromy, letící předměty v důsledku větrných poryvů atd.) [12].

Obecné uspořádání instalací pro skladování, zpracování a dodávku vodíku má umožňovat neomezený přístup a výstup (výjezd) pro obsluhu čerpací stanice, personál údržby, dodavatele a složky záchranného systému. Pozornost je nutno věnovat především:

- Přehlednosti instalace pro provozní obsluhu jak z provozní budovy (pokud je), tak z instalací dodávky vodíku.
- Přehlednému uspořádání přístupových cest, výjezdů a povrchové úpravy místa s ohledem na nebezpečí kolize.

- Přístupnost instalace v případě hašení požáru.
- Evakuačnímu zařízení v případě incidentů.
- Instalace mají být udržovány bez zbytků vegetace a jiných hořlavých materiálů. Pod zásobníky vodíku se nesmí hromadit žádné hořlavé materiály.

Dispoziční uspořádání vodíkové čerpací stanice musí zahrnovat přiměřené bezpečné vzdálenosti. Bezpečnou vzdáleností se rozumí vzdálenost do přijatelné úrovně rizika nebo minimální vzdálenost mezi zdrojem nebezpečí a objektem (člověk, vybavení nebo prostředí), určená na základě informací o riziku, která zmírní účinek pravděpodobně předvídatelného incidentu a zabrání eskalaci menšího incidentu na incident větší (s ohledem na všechna zavedená zmírňování a bezpečnostní opatření). Jsou zde zahrnuty i účinky zdrojů nebezpečí za hranicemi čerpací stanice [12], [13].

Pozn. V různých předpisech a pracovních postupech termín „bezpečná vzdálenost“ často zahrnuje mnoho typů vzdáleností, např.: ochranné vzdálenosti, volné vzdálenosti, vzdálenosti uspořádání instalace, vzdálenost k vnějším zdrojům rizika a vzdálenosti, ve kterých platí omezení (omezující vzdálenosti).

Vodíkové čerpací stanice musí být navrženy a provozovány tak, aby při záměrném nebo neúmyslném uvolňování hořlavého plynu během normální činnosti bylo zabráněno tvorbě hořlavé nebo výbušné atmosféry [12].

Při tvorbě projektu vodíkové čerpací stanice je zapotřebí respektovat požadavky Směrnic ATEX (2014/34/EU a 1999/92/ES) a nařízení vlády č. 406/2004 Sb., které se týká minimálních požadavků na zvýšení bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků při práci v prostředích s nebezpečím výbuchu. Dokumenty, zpracované podle těchto předpisů, musí být součástí projektové dokumentace a dokumentace požární ochrany vodíkové čerpací stanice.

Projektová dokumentace stavby, jejíž je požárně bezpečnostní řešení nedílnou součástí, musí obsahovat technická opatření ke snížení rizika vzniku požáru. Provozní předpisy a dokumentace požární ochrany stavby musí obsahovat organizační opatření ke snížení rizika požáru [4], [5].

Kromě nebezpečí souvisejících s dodávkou, skladováním a výdejem vodíku v místě čerpací stanice musí být řešena i další nebezpečí, jejichž zdrojem není vodík. Jedná se o opatření přijatá k ochraně před nebezpečími [10], [9], [1].

- Práce ve výškách.
- Udušení.
- Nouzové únikové cesty z opláštění nebo podzemních prostorů.
- Úraz elektrickým proudem.
- Pohybující se strojní zařízení.
- Opatření proti odhození hadic.
- Hluk.

Vodíkové čerpací stanice musí být navrženy a provozovány tak, aby při záměrném nebo neúmyslném uvolňování hořlavého plynu během normální činnosti bylo zabráněno, pokud možno, tvorbě hořlavé nebo výbušné atmosféry [12].

V případě společného provozu vodíkové čerpací stanice s čerpací stanicí kapalných pohonných hmot a zkapalněného uhlovodíkového plynu (LPG), stlačeného nebo zkapalněného zemního plynu (CNG, LNG) se doporučuje, aby čerpací stanice byla vybavena vodním skrápěcím sprinklerovým hasicím systémem pro chlazení vybavení stanice, které je vystaveno požáru, nebo prostředky pro nouzový odfuk zásobníků vodíku.

Budovy s vodíkovými systémy včetně jejich opláštění musí být navrženy z nehořlavých materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2 [20].

- Požárně technické požadavky na požární odolnost stěn, stropů, výplní otvorů (dveře, okna) a podlah musí být uvedeny v požárně bezpečnostním řešení a vyplývají z posouzení rizika.
- Návrh budov včetně opláštění musí respektovat podmínky prostředí vhodné pro místo instalace. Je zapotřebí zahrnout i možnost silného deště, záplav, vítr, sníh a seizmické zatížení.
- Opláštění budov musí splňovat požadavky IEC 60529 k zabránění vnikání vody, nečistot a prachu.
- Vybavení plynného vodíku a vyrovnávací zásobníky na střeše obytné budovy musí být splňovat doporučení k zabránění eskalace případného požáru budovy:
 - musí být zajištěna opatření k zamezení přetlaku (protržení) systémů skladování vodíku v případě požáru. To lze zajistit např. systémy detekce požáru, nouzovým zařízením k vyprázdnění zásobníku, instalací sprinklerových hasicích zařízení, případně instalací tepelně aktivovaných zařízení pro snižování tlaku (TPRD)
 - nosné konstrukce pod vodíkovým vybavením a skladovací úložnou plochou a nosné konstrukce střechy musí mít požární odolnost minimálně takovou, jakou má budova pod nimi.
- Dveře nouzových východů musí být zřetelně označeny a snadno přístupné.
- Instalovaná elektrická zařízení, nacházející se v prostředí s nebezpečím výbuchu, musí splňovat požadavky ČSN EN 60079-14 ed.4. Havarijný vypínač se řeší jako vypínací prvek CENTRAL STOP nebo TOTAL STOP, podle požadavků ČSN 73 0848. V případě, že se jedná o rekonstrukci nebo rozšíření stávající čerpací stanice kapalných pohonných hmot, kdy se nově umísťuje i vodíková čerpací stanice a místní podmínky (stávající rozvody elektroinstalace a systém vypínání elektrických zařízení) neumožní vypínat současně z jednoho místa i stávající zařízení (např. plnicí stanice CNG, LPG), je možné postupovat odchylně, viz ČSN 73 0848.
- Přístroje pro detekci vodíku, používané v systémech pro snímání a monitorování koncentrace vodíku v uzavřeném prostoru, musí vyhovovat požadavkům na přesnost podle ISO 26142.
- Nejmenší bezpečnostní vzdálenosti zdrojových zásobníků, vysokotlakých zásobníků a výdejných zařízení od ostatních objektů a zařízení jsou uvedeny v Příloze 6, TPG 304 03. Tyto vzdálenosti

Ize považovat bez dalšího prokazování za dostatečné. Další odstupové vzdálenosti podle normy ČSN 73 6060 jsou uvedeny v Příloze 12 TPG 304 03.

Pro snížení požadavku na bezpečnostní vzdálenosti může být použita protipožární bariéra, která musí být vyrobena z vhodných žáruvzdorných materiálů. Příklady bezpečných vzdáleností, které lze zkrátit použitím protipožární bariéry [12]:

- budovy z hořlavých materiálů,
 - hořlavé kapaliny umístěné nad zemí,
 - sklady hořlavého materiálu,
 - nadzemní zásobníky hořlavých plynů,
 - tryskové plameny po vznícení vodíku unikajícího z čerpací stanice,
 - přetlak po opožděném vznícení vodíku unikajícího z čerpací stanice,
 - plošné požáry po vznícení unikajícího oleje.
- Seznam dalších možných zmírňujících opatření je uveden v příloze B ČSN ISO 19880-1.
- Požadavky na stěny, které jsou určeny ke zmírňování požáru nebo přetlaku, se určují dle posouzení rizika. Je nutné vzít v úvahu i účinky přetlaku generovaného kolem bariéry nevzníceným nebo vzníceným únikem.
- Žádné stěny, které mají fungovat jako protipožární bariéra, nemají zahrnovat prostředky pro uvolnění přetlaku.
- Pokud je protipožární stěna použita ve spojení s venkovním systémem skladování, nemá vytvářet další překážky a rizika pro personál v případě možných incidentů.
- Výdejní zařízení se instalují na volném prostranství pod přístřeškem provedeným z nehořlavých materiálů (třída reakce na oheň A1, A2). Musí být umístěna tak, aby byla snadno viditelná z místa obsluhy vodíkové čerpací stanice nebo byla kontrolovatelná kamerovým systémem. Tankující vozidla nemají projíždět nebezpečnými prostory (Zónou 1 a 2), které jsou kolem nich. Rozsah nebezpečných prostorů je znázorněn v Přílohách 7 a 8, TPG 304 03. Z hlediska klimatických zatížení musí být přístřešek navržen pro rychlost větru 160 km/h, zatížení střechy sněhem 100 kg/m² a s přihlédnutím k seismické odolnosti.
- Plocha pro plnění paliva musí být vyrobena z nehořlavých materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2.
- Plocha pro plnění paliva musí být navržena tak, aby umožňovala elektrické uzemnění před připojením plnicí koncovky k vozidlu.
- Konstrukční základy výdejního stojanu a prostoru pro plnění paliva musí být vyrobeny z nehořlavých materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2.
- Výdejní stojany musí být chráněny před nárazem vozidla v souladu s posouzením rizika. Ochrana proti nárazu musí být vhodná pro předpokládaný typ a rychlost vozidel v blízkosti vodíkového

vybavení. Typickým způsobem ochrany jsou zvýšené plnicí ostrůvky a dostatečně pevné vhodně umístěné patníky. Výdejní stojany a zásobník vodíku nemají být umístěny v přímé linii provozu, např. vjezdu nebo výjezdu z čerpací stanice.

- Návrh a provedení vodíkové čerpací stanice musí minimalizovat potřebu manévrování vozidla, aby se zásadně snížilo riziko nebezpečné situace vznikající např. při nutnosti couvání vozidla. Pohyb vozidla na stanici musí být jasně označen podle značek a symbolů. Pokyny k ochraně výdejních stojanů při provozu vozidel jsou uvedeny také v příloze G ČSN ISO 19880-1.
- Umístění výdejního zařízení musí být v souladu s ČSN EN 1317-1 (737001) Silniční záchytné systémy – Část 1: Terminologie a obecná kritéria pro zkušební metody. Doporučuje se umístění na betonovém ostrůvku vyvýšeném nad vozovkou nejméně 150 mm, vzdálenost výdejního zařízení od hrany ostrůvku nejméně 200 mm ve směru souběžném ve směru jízdy vozidel a 800 mm ve směru kolmém k jízdě. Umístění se doporučuje doplnit vhodnými ocelovými zábranami o výšce nejméně 800 mm z trubek o průměru minimálně 60 mm. Plocha stanoviště vozidla čerpajícího plyn musí být zpevněná s maximálním spádem terénu 0,5 %. Pozemní komunikace v areálu vodíkové čerpací stanice musí mít bezprašný povrch. Jejich podélný sklon v místech určených ke stání vozidel nesmí být větší než 5 % (s přihlédnutím k ČSN 73 6060 Čerpací stanice pohonných hmot).
- Kolem výdejního stojanu je uvažována, bez dalšího prokazování, do vzdálenosti 0,2 m všemi směry a do výše 1 m nad horní okraj výdejního stojanu, zóna 2. Uvnitř skříňe plynové části výdejního stojanu je, bez dalšího prokazování, zóna 1. Kolem plnicí rychlospojky do vzdálenosti 0,25 m je při jejím zapojování na mobilní zařízení, odpojování z vozidla a po dobu plnění zóna 1 (viz Přílohy 7 a 8 TPG 304 03). Výrobce výdejního stojanu může ve schvalovací dokumentaci stanovit jiný rozsah nebezpečných prostorů, doložený výpočtem nebo jinými doklady podle konstrukce stojanu i s doplňujícími zařízeními, jako je např. karetní terminál, v souladu s ČSN EN IEC 60079-10-1 ed. 3 (332320) Výbušné atmosféry – Část 10-1: Určování nebezpečných prostorů – Výbušné plynné atmosféry.
- Bezpečnostní vzdálenosti zdrojových zásobníků stlačeného vodíku od ostatních objektů a zařízení vodíkové čerpací stanice jsou definovány v Příloze 9 TPG 304 03 (obrázky 1 až 8). Jsou členěny podle velikosti zásoby vodíku a podle způsobu zásobování.
- Požadavky na přirozené větrání uzavřených prostor vodíkové čerpací stanice:
 - Navrhují se neuzavíratelné větrací otvory, opatřené sítím nebo mřížkou s rozměry otvorů 0,5 až 1 cm² situované do volného prostoru.
 - Větrací otvory se umísťují pod stropem a těsně nad podlahou protilehlých stěn; volná plocha větracích otvorů u podlahy nemá být menší než 0,5 % vnitřní půdorysné plochy místnosti, nejméně však 100 cm², u stropu nejméně dvojnásobek.
- Provozní větrání se navrhuje minimálně na 5násobnou výměnu objemu vzduchu za hodinu.
- Kompresory a jejich příslušenství nebo i vysokotlaké zásobníky se instalují v samostatných objektech, provozních objektech, přístavcích, skříních nebo na volném prostranství. Musí být dostatečně zajištěny proti přístupu nepovolaných osob. Nesmějí být umístěny v průchodech,

průjezdech, na schodištích, v únikových cestách a v místech, kde by bránily volnému průchodu nebo průjezdu.

- Místnosti sousedící s prostory, kde jsou umístěny kompresory a jejich příslušenství a vysokotlakové zásobníky, musí mít požárně dělicí konstrukce splňující kritéria REI/EI 90 DP1. Tyto místnosti nesmějí sloužit k bydlení ani ubytování a nesmí být shromažďovacím prostorem VP2/SP2 podle ČSN 73 0831.
- Vodíkové čerpací stanice se vybavují požárně bezpečnostními zařízeními a věcnými prostředky požární ochrany podle požadavků vyplývajících ze schváleného požárně bezpečnostního řešení.
- Přístupové komunikace pro hasiče a záchranné složky musí být provedeny v souladu s požadavky požárně bezpečnostního řešení.
- Čerpací stanice musí být navržena tak, aby měl obsluhující personál kdykoli snadný přístup a únikové cesty pro nouzové případy. Přístup ke kritickému vybavení (např. k ovládacím ventilům) musí být omezen pouze na oprávněné osoby. Nouzové východy musí být neustále volné.
- Pokud je stanice oplocena k zabránění přístupu nepovolaných osob a je nutný průchod, který umožní přístup bez překážek do uzavřeného prostoru a únik z něj, musí být minimální volná vzdálenost mezi plotem a vodíkovým vybavením 0,8 m. K oplocení se nesmí používat dřevo ani jiné hořlavé materiály.
- Požárně bezpečnostní řešení musí definovat stavy nouze, havárie a jiné nestandardní stavy čerpací stanice. Potrubí stlačeného vodíku musí obsahovat automatický uzavírací ventil, který v těchto situacích automaticky přeruší dodávku vodíku do výdejního zařízení.
- Na vodíkové čerpací stanici musí být k dispozici schéma zařízení čerpací stanice, návod pro obsluhu, **provozní řád** podle ČSN 38 6405 Plynová zařízení, zásady provozu a **požární řád** ve smyslu zákona č. 133/1985 Sb. a vyhlášky č. 246/2001 Sb.
- V blízkosti každého výdejního zařízení stlačeného vodíku se na viditelném místě umístí tabulka se zákazem plnění nepovolanými osobami a s pokyny k plnění uživatelem. Doporučuje se provedení alespoň ve dvou světových jazycích, v příhraničních oblastech i v jazycích sousedních zemí.

U každého výdejního místa stlačeného vodíku musí být na výdejním stojanu označení výrobku ve shodě s ČSN EN 16942+A1 (656565) Paliva – Identifikace kompatibility vozidla – Grafické vyjádření informací pro spotřebitele a ujištění, že palivo vyhovuje ČSN ISO 14687 (656520) Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu [28]. Výdejní stojan musí bezchybně pracovat v následujících podmínkách:

- teplota okolí mezi $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- maximální pracovní tlak musí být menší nebo roven 125 % nominálního pracovního tlaku, např. pro 350 bar maximálně 437,5 bar a pro 700 bar maximálně 875 bar;
- výdejní stojan nesmí plnit nádrž mobilního zařízení, která má menší zbytkový tlak než 5 bar;

- minimální teplota vodíku je $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a maximální $85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- maximální průtok vodíku při plnění nesmí překročit 60 g/s ;
- výdejní stojan musí být uzemněn vzhledem k ploše, na které při plnění stojí mobilní zařízení.
- V průběhu plnění musí být vypnut motor mobilního zařízení, které musí být zajištěno proti pohybu. V průběhu plnění smí být u výdejního zařízení ve vyznačeném prostoru pouze plněné mobilní zařízení.
- Výdejní zařízení musí být v mimoprovozní době zajištěno proti zneužití způsobem popsáním v místním provozním řádu.
- Před uvedením vodíkové čerpací stanice do provozu musí být provozovatelem zpracována dokumentace podle nařízení vlády č. 406/2004 Sb. z důvodu zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu.
- V prostoru vodíkové čerpací stanice, vymezeném vzdálenostmi podle Příloh 5, 7, 8 a 9 TPG 304 03, popř. nebezpečnými prostory (zóna 1 nebo zóna 2), je zakázáno kouřit a zacházet s otevřeným ohněm. Tento zákaz musí být umístěn na viditelném místě. Používají se bezpečnostní značky a tabulky podle ČSN ISO 3864, ISO 7010, ISO 17398, IEC 60417 a nařízení vlády č. 375/2017 Sb.
- Výstražné značky, provozní pokyny, typové štítky, označení a identifikační štítky mají mít dostatečnou odolnost pro příslušné prostředí, včetně povětrnostních vlivů.
- Umístění výstražných značek má být takové, aby identifikovaly nebezpečí definovaná posouzením rizika ve smyslu čl. 5.2 ČSN ISO 19880-1.

Jedná se zejména o varování před následujícími typy nebezpečí:

- hořlavé kapaliny;
- nebezpečné prostory, ve kterých se mohou tvořit hořlavé směsi;
- kapaliny pod tlakem;
- elektrická nebezpečí;
- obsah z vypouštěcích ventilů;
- horké nebo studené povrchy;
- mechanická nebezpečí.
- v místech, kde je to vhodné, má být nebezpečný prostor označen a na přístupech k vodíkové čerpací stanici mají být umístěny následující výstražné značky:
 - „Stlačený vodík“;
 - „Zákaz kouření, otevřeného ohně nebo jiných zdrojů vznícení“;
 - „Nepovolaným vstup zakázán“.

Výstražné značky mají být vhodně umístěny a viditelné, zejména na místech přístupu k čerpací stanici.

Doporučuje se provedení výstražných značek ve dvou světových jazycích, v příhraničních oblastech i v jazycích sousedních zemí.

Přesný obsah výstražných značek je uveden v čl. 13.2 ČSN ISO 19880-1.

9 Doporučení a budoucí trendy v bezpečnosti vodíkových čerpacích stanic

9.1 Legislativní a normativní vývoj

Budoucí bezpečnost vodíkových čerpacích nebude dána jen technologiemi, ale i právním rámcem.

V ČR je nutné:

- novelizovat **Energetický zákon (č. 458/2000 Sb.)** tak, aby zahrnoval elektrolyzéry,
- sladit české normy s ISO/EN, zejména s **ČSN ISO 19880-1 (656525)**,
- zpracovat vodíkovou infrastrukturu do **Stavebního zákona**,
- doplnit metodiky pro integrovaný záchranný systém.

V EU:

- lze očekávat zpřísnění směrnic **ATEX** a rozšíření směrnic **SEVESO III** na elektrolyzéry,
- zavedení povinné certifikace stanic podle ČSN ISO 19880-1 (656525),
- harmonizaci bezpečnostních pravidel napříč členskými státy.

Bez jasného právního rámce zůstane výstavba zdlouhavá a nejistá, což odradí investory.

9.2 Prevence a nové bezpečnostní technologie

Budoucí stanice budou muset využívat kombinaci klasických a inovativních prvků:

- **inteligentní senzory** – schopné odlišit falešné poplachy, kombinující více detekčních metod, schopné detekovat i mikro-úniky,
- **automatické ventily s autodiagnostikou**, které se samy uzavřou při netěsnosti,
- **integrované hasicí systémy** – vodní mlha + inertní plyny, řízené na základě dat z detektorů,
- **robotické inspekce** – drony a autonomní roboty pro kontrolu spojů, ventilů a nádrží,
- **digitální dvojčata** – virtuální modely stanic, na kterých lze simulovat havárie a testovat reakce systému.

9.3 Školení a role lidského faktoru

Technologie sama o sobě není schopna zabezpečit stoprocentní bezpečnost vodíkových čerpacích stanic. Lidský faktor zůstává jedním z nejrizikovějších prvků. Proto budoucnost bezpečnosti musí zahrnovat také:

- **pravidelný výcvik hasičů** např. podle programu HyResponder,
- **povinná školení obsluhy stanic**, která bude mít v rukou první reakci při incidentu,
- **osvětu zákazníků** – jednoduchá pravidla bezpečného tankování (podobně jako dnes zákaz kouření či telefonování u čerpacích stanic).

Projekt HyResponder ukázal, že **společné evropské školení** je možné a přináší jednotnou úroveň připravenosti.

9.4 Společenské a psychologické aspekty

Vodíkové technologie nejsou jen otázkou inženýrství – jsou i otázkou **veřejné důvěry**. Každý incident je okamžitě medializován a může ovlivnit názor široké veřejnosti. Zkušenosti z Norska ukazují, že jediný incident může zastavit rozvoj na celé měsíce. Proto je důležité:

- komunikovat s veřejností otevřeně a transparentně,
- zdůrazňovat, že stanice jsou navrženy podle nejprísnějších standardů,
- prezentovat pozitivní příklady – úspěšné zvládnutí incidentů, bezpečné provozování stanic v zahraničí,
- vysvětlovat rozdíl mezi vnímaným a reálným rizikem.

Psychologický aspekt je často podceňován, ale jeho význam je obrovský. Lidé nemusí znát detaily ISO norem, ale musí mít pocit, že **vodíková stanice je stejně bezpečná jako benzínová pumpa**.

9.5 Digitalizace a prediktivní údržba

Moderní čerpací stanice se stávají **digitálními platformami**. Prediktivní údržba je proaktivní metoda řízení údržby, která využívá data z monitorování. Senzory monitorují tlak, teplotu, vibrace i složení plynu. Analýza dat slouží k předvídání poruch. Jejím cílem je provést údržbu v ideálním okamžiku – přesně tehdy, když je potřeba, čímž se optimalizuje výkon zařízení, minimalizují neplánované odstávky, snižují náklady a prodlužuje životnost. Data se v reálném čase vyhodnocují pomocí algoritmů a umožňují odhalit potenciální poruchy dříve, než nastanou.

9.6 Modulární stanice

Do budoucna se očekává trend **modulárních a kontejnerových řešení**. To umožní rychlejší výstavbu, snadnější kontrolu a výměnu celých bloků. Z hlediska dopadu požáru na funkční bezpečnost to znamená, že část technologie může být rychle odstavena a nahrazena novou, aniž by byla ohrožena funkčnost celé stanice.

9.7 Směry budoucího rozvoje a s tím spojené výzvy

- **Rozšiřující se síť** – více stanic znamená více míst, kde může dojít k incidentu. Je třeba zavést jednotný systém hlášení a analýzy nehod.
- **Integrace s obnovitelnými zdroji** – elektrolyzéry budou součástí lokálních energetických sítí. To zvyšuje komplexitu a propojuje požární bezpečnost s elektroenergetikou.
- **Kybernetická bezpečnost** – digitalizace přináší i nové hrozby, včetně hackerských útoků na řídicí a bezpečnostní systémy, které musí být chráněny i proti těmto zásahům.
- **Standardizace školení** – Evropa bude muset sladit výcvik hasičů a záchranářů, aby byla úroveň přípravy jednotná napříč státy.

- **Mezinárodní spolupráce** – nehody a zkušenosti musí být sdíleny napříč Evropou, aby se předešlo opakování chyb.

Budoucnost vodíkových čerpacích stanic bude úspěšná jen tehdy, pokud se spojí **technologické inovace, legislativní jistota a lidský faktor**. Bezpečnost musí být považována za investici, nikoli náklad. Každý incident ukazuje, že prevence je levnější než následky.

10 Shrnutí hlavních poznatků z oblasti požární bezpečnosti

Vodíkové čerpací stanice představují **nový typ kritické infrastruktury**, který má potenciál zásadně ovlivnit podobu dopravy a energetiky ve 21. století. Zatímco fosilní paliva dominovala minulému století, vodík se spolu s elektřinou stává symbolem přechodu k **nízkouhlíkové mobilitě a energetice**. Tento proces je podpořen nejen technologickým vývojem, ale i klimatickou politikou EU a jednotlivých států, včetně České republiky.

S každou novou technologií však přicházejí i **nová rizika a nové otázky**. Vodík se svými specifickými vlastnostmi (extrémní lehkost, široký rozsah výbušnosti, nízká energie zapálení, neviditelný plamen) vyžaduje odlišný přístup k požární bezpečnosti než klasická paliva. To klade zvýšené nároky na projektanty, provozovatele, legislativce, ale také na hasiče a další složky IZS.

- **Specifické vlastnosti vodíku** vyžadují, aby byly stanice projektovány s důrazem na těsnost, ventilaci, detekci a ochranu před zdroji iniciace.
- **Legislativní rámec v ČR** je zatím nedostatečný. Chybí jasné ukotvení elektrolyzérů, jednotné metodické pokyny pro úřady i harmonizace s evropskými normami (ISO/EN).
- **Technická opatření** zahrnují široké spektrum prvků – od odlehčovacích ventilů, odfukových systémů a dusíkových inertizačních systémů přes prediktivní údržbu až po kombinované požární ochranné systémy.
- **Požární scénáře a modelování rizik** jsou základem každého návrhu. Bez nich nelze stanovit bezpečnostní vzdálenosti ani taktiku zásahu.
- **Role hasičů a IZS** je klíčová. Bez školení, vybavení a pravidelných cvičení nelze rizika efektivně zvládat. HyResponder (2021) ukázal cestu k evropskému standardu.
- **Reálné nehody** (Norsko, Japonsko, USA) ukázaly, že největším rizikem jsou často drobné komponenty, lidský faktor a nedostatečná prevence. Zároveň ale potvrdily, že z každého incidentu lze vytěžit poučení, které posílí normy a metodiky.
- **Budoucí trendy** zahrnují vyšší plnicí tlaky, kapalný vodík, modulární stanice, digitalizaci a prediktivní údržbu. Tyto inovace přinesou nové příležitosti, ale i nové požadavky na bezpečnost.

10.1 Technická, legislativní a organizační doporučení

Na základě analýzy lze formulovat konkrétní doporučení:

a) Technická

- zavádět **víceúrovňové detekční systémy** kombinující různé principy (IR, katalytické, ultrazvukové),
- rozvíjet **prediktivní údržbu** a systém vzdáleného monitoringu,
- podporovat vývoj **odolnějších materiálů** proti vodíkovému křehnutí,
- standardizovat **modulární konstrukci stanic**, která umožní rychlou výměnu celků,
- investovat do **digitálních dvojčat** a simulačních nástrojů, které umožní testovat **scénáře ještě před výstavbou**.

b) Legislativní

- novelizovat **Energetický zákon** a zahrnout elektrolyzéry mezi energetickou infrastrukturu,
- doplnit **Stavební zákon** o zvláštní kategorii pro vodíkové čerpací stanice,
- sladit české normy s ISO/EN,
- zavést povinnou **certifikaci stanic** podle mezinárodních standardů,
- posílit **role Hasičského záchranného sboru ČR** při posuzování projektů a schvalování havarijních plánů.

c) Organizační

- zavést povinná **pravidelná cvičení** s IZS na všech stanicích,
- vytvořit **národní databázi incidentů** a „near miss“ událostí, která umožní sdílení zkušeností, (near miss“ událost, „**skoronehoda**“, situace, kdy došlo k narušení bezpečnosti, ale bez následků na zdraví nebo majetku, avšak *potenciálně* mohlo dojít ke zranění či škodě),
- zajistit financování pro **školení obsluhy a úředníků** stavebních úřadů a inspekcí,
- podpořit výzkum a vývoj v oblasti **vodíkové bezpečnosti** (např. ve spolupráci s ÚJV Řež a univerzitami).

10.2 Bezpečnost jako klíč k rozvoji

Bezpečnost není doplňkem, ale **základní podmínkou rozvoje vodíkových technologií**. Bez ní nebude možné získat povolení, investory ani podporu veřejnosti. Technologické inovace, legislativní změny a školení hasičů jsou proto investicí do budoucnosti – investicí, která se vrátí v podobě stabilního a bezpečného rozvoje.

Vodíkové čerpací stanice mohou být v příštích desetiletích stejně běžné jako dnešní čerpací pumpy. K tomu je ale nutné, aby byly vnímány jako **bezpečné, spolehlivé a důvěryhodné**.

Jak zdůrazňuje **PwC (2023)**, legislativní nedostatky (např. nezařazení elektrolyzérů do energetického zákona) zpomalují výstavbu infrastruktury. Přitom právě **požární bezpečnost** je jedním z klíčových aspektů, který úřady i veřejnost sledují. Nedostatečná regulace nebo špatná komunikace rizik by mohla ohrozit důvěru v celé odvětví.

Z těchto důvodů je požární bezpečnost nutné chápat jako **ústřední téma** rozvoje vodíkové mobility. Nejde pouze o technickou disciplínu, ale o faktor, který ovlivní rychlost a rozsah nasazení vodíkových technologií v ČR i v Evropě.

11 Seznam použité literatury

1. Zákon č. 250/2021 Sb., o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení
2. Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot
3. Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií
4. Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně
5. Stavební zákon č. 283/2021 Sb.
6. Vyhláška č. 246/2001 Sb., o požární prevenci
7. Vyhláška č. 146/2024 Sb., o požadavcích na výstavbu
8. Technická pravidla TPG zařízení pro plnění nádob plyny G 304 03 Plnicí stanice stlačeného vodíku pro mobilní zařízení Český plynárenský svaz 2020.
9. Nařízení vlády č. 406/2004 Sb. o bližších požadavcích na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu
10. Nařízení vlády č. 375/2017 Sb., o vzhledu, umístění a provedení bezpečnostních značek a značení a zavedení signálů
11. Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení. Ústav jaderného výzkumu Řež, 2019
12. ČSN ISO 19880-1 (656525); Plynový vodík – Čerpací stanice – Část 1: Obecné požadavky, srpen 2025.
13. ČSN 73 6060 (736060); Čerpací stanice pohonných hmot.
14. ČSN EN ISO 19353 (833251); Bezpečnost strojních zařízení – Požární prevence a požární ochrana
15. ČSN EN 17127 (697280) - Venkovní výdejní vodíkové čerpací stanice na plynový vodík s plnicími protokoly
16. ČSN EN IEC 60079 (řada) – Výbušné atmosféry
17. ČSN 38 6405(386405) Plynová zařízení. Zásady provozu
18. ČSN ISO 14687(656520) Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu
19. ČSN 73 0810 (730810); Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
20. ČSN 73 0804 (730804); Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty
21. ČSN 73 0802 (730802); Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
22. ČSN 73 0831 (730831) Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory
23. ČSN 73 0875 (730875) Požární bezpečnost staveb – Stanovení podmínek pro navrhování elektrické požární signalizace (EPS) v rámci požárně bezpečnostního řešení
24. ČSN 34 2710 (342710) Elektrická požární signalizace (EPS) - Projektování, montáž, užívání, provoz, kontrola, servis a údržba
25. ČSN 73 0848(730848) Požární bezpečnost staveb – Kabelové rozvody

26. ČSN 65 0202 (650202) Hořlavé kapaliny. Plnění a stáčení. Výdejní čerpací stanice.
27. ČSN EN 62305-1 Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy.
28. ČSN EN 16942+A1(656565) Paliva – Identifikace kompatibility vozidla – Grafické vyjádření informací pro spotřebitele
29. ČSN ISO 3864-1 Grafické značky – Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky – Část 1: Zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení
30. Hy Responder – Evropský program školení školitelů pro zásahové jednotky
31. Případová studie PwC, Svaz průmyslu a dopravy ČR, 2023.

Vyjádření ke způsobu užití textu:

Tento materiál byl zpracován jako interní doplňkový text k problematice posuzování požární bezpečnosti vodíkových plnicích stanic. Tento materiál nepředstavuje ani legislativní ani jinak návodný nebo závazný materiál, ale vznikl jako podklad pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic.