

BEZPEČNOST VODÍKOVÝCH SYSTÉMŮ

THE SAFETY OF HYDROGEN SYSTEMS

Abstrakt

Vedle klimatických změn je energetická bezpečnost jedním z nejzávažnějších problémů světa. Zásoby fosilních paliv nejsou nevyčerpatelné. Vodík patří spolu s biopalivy a elektřinou k nejslibnějším palivům, která by v budoucnosti měla v oblasti dopravy nahradit ropu a snížit znečištění ovzduší a emisí oxidu uhlíku způsobených spalováním fosilních paliv.

Abstrakt

Beside climatic changes, the energy security is one of the most significant world problem. Resources of fossil fuel are not inexhaustible. Hydrogen along with biofuel and electricity are the most promising fuel for future. Suppose hydrogen will substitute oil in the field of transportation and will mitigate air pollution.

Klíčová slova: Bezpečnost a ochrana zdraví, standardy, vodík, vodíkové technologie, fosilní paliva, motorová vozidla.

Úvod

Podle zdroje Mezinárodní energetické agentury (IEA) činí roční světová spotřeba ropy 3,8 miliardy tun. Energie z fosilních zdrojů se podílí na globálním energetickém trhu 87 %.

Vedle klimatických změn je energetická bezpečnost jedním z nejzávažnějších problémů světa. Podle zveřejněné prognózy v roce 2007 (World Energy Outlook 2007) by mohlo dojít do roku 2015 k prudkému poklesu těžby ropy a s tím samozřejmě k eskalaci cen. Hlavním důvodem je především rostoucí poptávka, hlavně v Číně, Indii a středovýchodních zemích. Dalším důvodem je prudký pokles těžby na existujících ropných polích a to o 3,7 až 4,2 % ročně. Posledním důvodem je stav zásob fosilních paliv, které nejsou nevyčerpatelné. Hodnoty zásob jsou však málo transparentní. Není tajemstvím, že odhady ropných rezerv na Středním východě jsou téměř o 50 % nadhodnoceny.

Růst světové populace a stoupající prosperita obyvatel zeměkoule jsou dva hlavní faktory, které přímo ovlivňují globální energetickou situaci.

Dostupnost energetických zdrojů je klíčem nejenom k prosperitě lidstva všeobecně, ale je především klíčem k ekonomické a politické stabilitě zemí. Vyspělé státy jsou k intenzivnímu výzkumu využití alternativních zdrojů energie tlačeny zejména geopolitickou situací. 70 % dovozu ropy pochází ze zemí, které představují bezpečnostní riziko.

Obnovitelné zdroje

Vodík patří spolu s biopalivy a elektřinou k nejslibnějším palivům, která by v budoucnosti měla v oblasti dopravy nahradit ropu a snížit znečištění ovzduší a emisí oxidu uhlíku způsobených spalováním fosilních paliv zejména v dopravě. Vodík je jako nosič

¹ Ing., VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice, e-mail: miluse.vachova@vsb.cz

energie univerzálně použitelný, lze jej vyrobit nejrůznějšími způsoby z různých zdrojů, lze jej přepravovat a skladovat.

Vodík může přinést na trh obnovitelné energie, ale může být zařazen i do tradičního systému.

Možnost vyčerpání fosilních paliv v blízké budoucnosti činí z vodíku strategickou surovinou. Zásoby vodíku ve vodě jsou téměř nevyčerpatelné. Vodík má vysokou hustotu energie (vztaženo na jednotku hmotnosti). Z hlediska životního prostředí je spalování vodíku čistší než spalování fosilních paliv, vznik vody není provázen toxickými sloučeninami ani skleníkovými plyny. Vodík představuje trvale udržitelný a obnovující se energetický zdroj.

Vodík jako benzín budoucnosti

Mobilita lidstva je přímo spojena s ropou a zatím je ropa nenahraditelným druhem paliva. Vodík je velice perspektivní zdroj energie pro pohon vozidel, ale spíše než jeho přímé spalování v motoru, předpokládá se využití vodíku v palivových článcích, které bez emisí produkují elektřinu a zároveň teplo. Z mnoha konstrukčních typů současných palivových článků se pro pohon aut jeví jako nejvhodnější články PEMFC, které místo tekutého elektrolytu obsahují polymerovou membránu. Místo čistého vodíku se používá metanol, který lze poměrně jednoduše vyrábět synteticky. Metanol se před vstupem do palivového článku upravuje na plyn s vysokým obsahem vodíku. Palivový článek pracuje s 50 - 80 % účinností a elektrický proud zde vzniká reakcí vodíku s kyslíkem. Odpadem je pouze vodní pára.

I když je využití vodíku v dopravě velmi perspektivní, zatím je drahé. Vodík je nejhojnější látkou ve vesmíru i na naší planetě, je však vždy vázán v nějaké sloučenině a jeho oddělení vyžaduje energii. Takže vodík je nutno vyrábět. Ke skutečnému zlomu, který umožní nasazení vodíkových technologií v širokém měřítku, by mohlo dojít až v horizontu 15 - 20 let. Výroba vodíku je zatím 4x dražší než výroba benzínu nebo nafta a výroba vodíkových palivových článků je nyní 10x dražší než výroba současných spalovacích systémů. Ekonomickou slabinou je vysoká cena katalyzátorů z drahých kovů. Samotná výroba není jediným problémem. Velké investice si vyžádá i skladovací infrastruktura vodíku a vodíkových plnicích zařízení, která by zajistila dostupnost podobně jako současná síť čerpacích stanic na benzín s lehkými nádržemi bez tlaku.

Vlastnosti vodíku

Čistý vodík je téměř bezbarvý, bez chuti a zápachu. Je netoxický. Může však způsobit dušení. Následkem vdechování vodíku může dojít i ke vzniku hořlavé směsi v těle.

Působením vodíku na kovové materiály dochází k fenoménu známému jako vodíková křehkost. Nejméně odolné jsou vůči křehnutí nízkolegované oceli. Železo se rozrušuje vodíkem nejenom při jeho elektrolytickém vylučování na povrchu kovu, ale i účinkem molekulárního vodíku při vyšších teplotách a tlaku. Vodík difunduje do kovu a zeslabuje kovovou mřížkovou strukturu. Při teplotách blízkých okolní teplotě je řada kovových materiálů citlivá na vodíkovou křehkost, zejména těch, které mají kubickou krystalickou mřížku.

Při teplotách nad 473° C mnoho nízkolegovaných ocelí může trpět jiným fenoménem známým jako vodíkový útok (napadení). Je to nereversibilní znehodnocení ocelové mikrostruktury způsobené chemickou reakcí vodíku a částmi uhlíku v oceli, které mají za následek tvorbu metanu.

Molekuly plynného vodíku jsou menší než molekuly všech ostatních plynů a mohou prostupovat mnoha materiály, které jsou vzduchotěsné nebo nepropustné pro jiné plyny.

Tato vlastnost zhoršuje schopnost skladování vodíku oproti ostatním plynům. Ú kapalného vodíku dochází k velmi rychlému vypařování, neboť bod varu je extrémně nízký. Vodík je ve směsi se vzduchem hořlavý. Nicméně malá molekulová velikost, která zvyšuje pravděpodobnost netěsnosti, má také za následek velmi vysokou rozptylnost, takže vodík se velmi rychle zředí. Výsledkem toho je značně omezená oblast hořlavosti. Vodík je výrazně lehčí než vzduch a má tendenci stoupat. Proto i při rozliti kapalného vodíku pomine nebezpečí již krátce po vypaření. Naproti tomu uniklý benzín nebo nafta se vypařuje pomalu, čímž se prodlužuje délka trvání nebezpečí požáru. Při malých netěsnostech se rozptýl vodíku ve vzduchu ještě podpoří přítomností proudu vzduchu, čímž klesá nebezpečí požáru.

Bezpečnost vodíkových technologií

Tvorba právních předpisů a standardů v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci jsou neodmyslitelnou součástí vodíkových technologií a využití vodíku jako významného nosiče energie a paliva budoucnosti, čistého, bezpečného a efektivního energetického systému ve světě. Účinná legislativa v oblasti vodíkových technologií a využití vodíku pro komerční účely je jednou z podmínek funkčnosti vodíkového energetického systému. Zaručení bezpečnosti ve všech stádiích rozvoje vodíkových technologií a využití vodíku je cílem a předpokladem tvorby zákonů a standardů.

Vzhledem k tomu, že nejnovější výzkumy v EU a ve světě se soustřeďují především na využití vodíku v dopravě jako paliva, je bezpečnost a ochrana zdraví prioritně řešena v této oblasti.

Mezinárodní standard ISO/TC 197 „Vodíkové technologie“ řeší standardizaci v oblasti systémů a zařízení pro výrobu, skladování, dopravu, měření a použití vodíku.

Primárním cílem tohoto standardu jsou požadavky na bezpečnost vodíkových technologií a využití vodíku jako paliva. Standard ISO/TC 197 definuje rizika spojená zejména s výrobou, skladováním a transportem vodíku. Cílem standardu je přiblížit přijatelnost vodíkových technologií jako paliva budoucnosti a to jak k tvorbě regulativů, tak ke vzdělávání široké veřejnosti.

Jedinečné vlastnosti vodíku, které ho činí vhodným jako nosiče energie nebo palivo, vyžadují vhodná technická a provozní opatření k zamezení vzniku mimořádných událostí. Kombinace vlastností vodíku a jeho chování vymezuje potenciální nebezpečí, kterým čelí obsluhy.

Základní rizika související s vodíkovými systémy lze kategorizovat takto:

1. riziko hoření, vznícení, exploze,
2. riziko překročení tlaku,
3. riziko spojené s nízkou teplotou,
4. vodíková křehkost,
5. působení vodíku na lidský organizmus při přímém kontaktu nebo při expozici.

Tato rizika by měla být vzata v úvahu vždy při vyhodnocování rizik spojených s vodíkovými systémy. Identifikace a evaluace rizik je základním předpokladem zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci při výrobě, skladování, transportu a spotřebě vodíku. Znalost vlastností vodíku a bezpečnostních opatření je základním kritériem pro bezpečnost vodíkových technologií a jeho využití pro komerční účely.

Riziko hoření

Základním rizikem vodíkového systému je jeho nekontrolovatelné hoření při jeho náhodném úniku. Vysoká pravděpodobnost úniku vodíku, vzhledem k jeho vlastnostem,

a následně tvorba hořlavé směsi může vést při iniciaci k uvolnění velké energie a následně k hoření nebo k explozi. Aby došlo k hoření vodíku, musí být přítomny 2 základní elementy; oxidant (např. vzduch) a zdroj iniciace (např. otevřený oheň, horký povrch, tření, statické jiskření, které je pod prahem lidského vnímání a pod). Každý z těchto elementů nezbytných k hoření reprezentuje jednu ze tří stran trojúhelníku, koncept zvaný “ fire trianagl“. Směs vodíku a oxidantu je zápalná v širokém rozmezí koncentrace, tlaku a teploty. V závislosti na poměru uvolněného vodíku od zdroje, oheň se může projevit jako plamen svíce nebo jako vysokotlaká tryska. Vodíkový plamen vyzařuje podstatně méně tepla a prakticky nemá žádný vizuální efekt. Na druhé straně plamen vyzařuje silné ultrafialové záření. Teplo uvolněné z hoření vodíku může být velmi destruktivní k okolí. V uzavřeném prostoru hoření vodíku ve směsi se vzduchem může mít za následek vzrůst tlaku až 8 x nad iniciační tlak. Kromě uvolněné energie a horkého plynu, je z hlediska bezpečnosti nezbytné zohlednit i tato rizika:

1. plamen vodíku je téměř neviditelný za denního i umělého světla,
2. člověk vyvíjecí se teplo při hoření vodíku fyzicky nevnímá, pokud nepřijde přímo do kontaktu s ohnivým plynem,
3. plamen vodíku je doprovázen i UV zářením.

Existuje několik režimů vodíkového hoření: oheň u zdroje, náhlé vznícení, exploze. Každý z nich reprezentuje potenciální nebezpečí a záleží pouze na okolnostech, jak je vodík vystaven působení oxidantu.

Vodíkový plamen za vhodných podmínek může být spalován 2 rozdílnými procesy: náhlé vznícení nebo výbuch (explose). Naším fyzikálním smyslem je exploze nerozeznatelná od náhlého vznícení.

S ohledem na snadnost iniciace hořlavé směsi, většina opatření k redukci rizika vznícení vodíku spočívá v separaci vodíku od oxidandu.

Při standardním využití je vodík vystaven vzduchu jako všudypřítomného oxidačního činidla.

Riziko vznícení

Plamen při náhlém vznícení se šíří hořlavým médiem v rozmezí menším než rychlost zvuku v nehořlavém médiu. Kriteria hořlavosti při vznícení jsou stejná jako pro hoření. Přítomnost omezujícího povrchu jako např. potrubí nebo stěny tlakové nádoby mohou zvýšit tlak a zvětšit rychlost plamene na stovky m/sec v procesu známém jako plamenová akcelerace. Když plamen dosáhne vysoké rychlosti a turbulence, proces vznícení přejde v explozi. Tento proces se nazývá DDT (deflagration-to-detonation transition).

Riziko exploze

Proces exploze (výbuchu) se od procesu vznícení liší v tom, že tlaková vlna je integrální ke spalovacímu procesu. Výbuch se šíří v rozmezí větším než je rychlost zvuku uvnitř nehořlavého média, od 1500 do 2000 m/sec za tvorby vysokého tlaku.

Výbuch potřebuje ke svému vzniku bohatší výbušnou směs a zdroj iniciace s podstatně větší energií než pro vznícení nebo hoření. Směs pevného oxidantu a kapalného vodíku může být za určitých podmínek vysoce třaskavá. Tento proces není zatím dost dobře popsán.

Riziko tlaku

Mnoho vodíkových zařízení obsahuje plynný vodík pod vysokým tlakem. Stlačený vodík představuje některá nebezpečí, především v souvislosti s překročení tlaku. Plynný vodík skladovaný pod velmi vysokým tlakem může mít značnou potenciální stohovací energii. Uvolněním této energie může dojít k explozi. U vodíku v kapalné fázi je nebezpečí

vzrůstu objemu při změně na plynný vodík a toto nebezpečí vzrůstá pro plynný vodík, který je ohříván z kapalně teploty na pokojovou teplotu.

Riziko teploty

Nebezpečí vzniká při ochlazování vodíku na teplotu kapalného vodíku a to zejména u materiálů. Ochlazováním dochází k dramatickým změnám specifických vlastností materiálů, jako je tažnost a tvárnost, specifická teplota a smršťování materiálu.

Z bezpečnostního hlediska je nutno vzít v úvahu strukturální vlastnosti materiálů. Důsledky možného selhání z titulu změny specifických vlastností materiálu mohou mít za následek únik kapalného vodíku do vnitřního i do vnějšího systému.

Vodíková křehkost

Materiály nádrží, tlakových nádob nebo jiných zařízení mohou při dlouhodobém působení vodíku ztratit svoji strukturální odolnost. Dříve než vodík difunduje do kovové struktury materiálu, musí se jeho molekuly rozložit na atomy. Při teplotách blízkých okolní teplotě je řada kovových materiálů citlivá na vodíkovou křehkost, zejména těch, které mají kubickou krystalickou mřížku. Toto je problém zejména mnoha feritických ocelí, které jsou vystaveny mechanickým tlakům. Tento proces probíhá na kovovém povrchu, přednostně na povrchových defektech nebo na jiných osově stlačených bodech. Vodíková křehkost je vyvolána procesem místní plastické deformace. Nečistoty, jako například sirovodík, se rozštěpí na atomy vodíku dokonce rychleji než molekulární vodík.

Zdravotní rizika

Při přímém styku s plynným nebo kapalným vodíkem může dojít k místnímu znečistlivění až k mrazivému štípání. Při dlouhodobé expozici celého těla může dojít k hypotermii. Jedná se o tzv. studené popálení. Pracovníci by se neměli dotýkat studených kovových částí a měly by nosit osobní ochranný oděv.

Přímý kontakt s plamenem vodíku může vést k vážným popáleninám. Vzhledem k tomu, že plamenem je téměř v denním světle neviditelný a jeho teplota téměř nevnímátná i při těsném přiblížení se k plameni, nebezpečí popálení je o to vyšší.

Vodík není jedovatý, ale riziko zadušení existuje, zvláště v uzavřeném prostoru.

Bezpečnostní opatření, řízení rizik

Vzhledem k vlastnostem a chování vodíku jsou bezpečnostní opatření navržena zejména v oblasti technického řešení. Nejspolehlivějším řešením je omezit činnost operátorů na minimum a plně automatizovat provoz vodíkových systémů. Automatizovaný provoz zahrnuje i dálkový monitoring kritických informací, dálkové ovládání, automatické omezování provozních podmínek (např. tlaku nebo rychlosti toku), zapnutí automatického zabezpečovacího zařízení při detekci vodíku (uzavření ventilu, uzavření nebo otevření ventilace apod.).

Vodíkové systémy musí mít varovná a výstražná zařízení, která jsou nezbytná pro varování operátorů v případě jakékoliv abnormálních podmínek, špatné funkce nebo selhání.

Výběr vhodných konstrukčních materiálů

Zařízení pro vodík musí být z vhodných materiálů pro vodík a pro podmínky, kterým je materiál vystaven. Použité materiály musí být navzájem kompatibilní a musí odpovídat podmínkám užití. Materiály používané pro vodíkové systémy mohou být jak kovové, tak nekovové. Z bezpečnostního hlediska je při výběru materiálu nutno přihlížet k vlastnostem vodíku jako je vodíková křehkost, vliv teploty, propustnost a pórovitost a kompatibilita různých materiálů, pokud jsou společně použity. Návrh zařízení pro vodíkový systém s nízkou teplotou musí počítat s napětím v komponentech způsobený termální expanzí nebo kontrakcí. Jsou poměrně dost velké diference v celkové lineární kontrakci mezi různými materiály obsahující polymery, které mají podstatně větší kontrakce než kov. Výběr materiálů musí reflektovat termální expanzi různých materiálů.

Primárním cílem provozu vodíkových systémů z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci musí být:

1. eliminace nebo minimalizace lidského selhání,
2. návrh takového technického řešení, které zabezpečí řádný chod zařízení i v případě lidské chyby.

V praxi to znamená:

1. minimalizovat množství skladovaného vodíku,
2. separovat vodík od oxidantů, nebezpečných materiálů a zařízení (vybavení),
3. vyloučit lidského činitele z provozu vodíkových systémů (potencionálního vzniku ohně, exploze, vzplanutí) v případě jeho selhání,
4. odvětrání a ventily lokalizovat nad ostatní zařízení,
5. zabránit vzniku hořlavé směsi akumulaci vodíku v prostorách například pod střechou, kabinách, krytech zařízení nebo kapotě (krytu motoru),
6. minimalizovat vystavení osob nežádoucím vlivům vodíku (limitováním času expozice, použitím OOPP, vybavením výstražným a varovným zařízením např. detektory ohně, detektory vodíku apod.),
7. udržování pořádku na pracovištích, volné průchozí a únikové cesty, odklizení odpadu a nečistot,
8. dodržování bezpečnostních provozních požadavků.

Vodíková křehkost, vodíkový útok

Všeobecně lze vodíkovou křehkost zmírnit nebo redukovat:

1. omezením tvrdosti,
2. snížením úrovně působení tlaku,
3. minimalizací zbytkového tlaku například svárem a žiháním,
4. vyloučení nebo minimalizací studených plastických deformací při operacích jako jsou ohýbání nebo tváření materiálů za studena,
5. eliminací situací, které mohou vést k místní únavě materiálu v komponentech, které jsou vystaveny velkému počtu zatížení (o vodíku je známo, že podstatně urychluje možnost iniciace a šíření únavových trhlin ve struktuře),
6. používání austenitické oceli, která je všeobecně méně citlivá na vodíkovou křehkost a má vynikající houževnatost vůči kryogenné teplotě,
7. využíváním testovací metody specifikované v ISO 11114-4 k výběru kovového materiálu odolného vůči vodíkové křehkosti.

Používání organických materiálů jako těsnění. Většina polymerů nezpůsobuje problémy v kontaktu s vodíkem, i když vodík může difundovat těmito materiály mnohem snadněji než kovem. Množství difundujícího vodíku obvykle není takové, aby vytvořilo zápalnou směs mimo nádrž, ale za delší časové období může dojít ke ztrátě plynu nebo zničení izolace.

Vláknem ztužené polymery (FRP) jsou důležitými materiály pro tlakové nádoby. Kovová vložka je obvykle umístěná uvnitř nádoby, takže FRP materiál není v přímém kontaktu s vodíkem.

Z hlediska bezpečnosti technických zařízení by skladovací zařízení na vodík mělo být:

1. navrženo, smontováno, testováno podle standardů a zákonů platných pro tlakové nádoby,
2. vyrobeno z vhodných materiálů,
3. chráněno vhodnou izolací (zvláště tekutý vodík v kontejnerech),
4. vybaveno uzavíracím ventilem na vypouštěcí straně,
5. vybaveno kontrolním systémem tlaku,
6. vybaveno schváleným a vyzkoušeným vypouštěcím systémem,
7. vybaveno zařízením na ochranu překročení povoleného tlaku,
8. umístěno ve vzdálenosti podle standardu,
9. viditelně označeno nápisem „Vodík“, „Tekutý vodík“, „Hořlavý plyn“.

Nádrže na tekutý vodík by měly být pravidelně kontrolovány z důvodu hromadění nečistot (kyslík nebo dusík).

Ochrana proti překročení tlaku

Všeobecná bezpečnostní opatření pro rozvod plynného a tekutého vodíku:

1. neumísťovat rozvody pod vedením elektrické sítě,
2. rozvody nezakopávat pod zem,
3. používat odpovídající materiál pro rozvod,
4. navrhovat, montovat a testovat rozvody vodíku v souladu s platnými standardy a právními předpisy,
5. chránit potrubí vhodnými tepelnými izolanty (zejména tekutý vodík),
6. rozvody opatřit nápisy s upozorněním na druh protékajícího média a směr toku,
7. používat vhodné zařízení pro snižování tlaku.

Přednostně potrubí spojovat svařováním nebo tvrdým pájením, příruby nebo potrubí se závity používat pouze podle provozních podmínek. Těsnící kroužky nebo těsnící konopí jsou vhodné pro zařízení plynného vodíku. Některé z těchto typů spojů však nejsou vhodné pro nízké teploty. Bajonetové spoje se používají pro potrubí tekutého vodíku. Nekovová potrubí se používají pro krátkodobé využití za předpokladu adekvátní ventilace a detekce vodíku.

Podmínky pro čištění

Vodíkový systém včetně komponentů musí být navržen a instalován tak, aby umožnil řádné čištění a údržbu. Čištěním se musí odstranit mastnoty, oleje a jiné organické materiály, rez, svařence, okuje apod. Při čištění se přednostně používá pára nebo horká voda, saponátová odmašťovadla (alkalická nebo kyselá-moření). Rez a okuje se odstraňují mechanicky.

Prevence hoření, vznícení, exploze

Zabránění tvorbě hořlavé směsi je klíčovým opatřením k prevenci proti vznícení, hoření a explozi vodíku. Toho lze dosáhnout separací vodíku a vzduchu jako oxidantu. Základní preventivní opatření jsou:

1. systém musí být pročištěn inertním plynem k odstranění vzduchu před vpuštěním vodíku,
2. systém musí být periodicky testován na netěsnosti,
3. technologie, kde vodík je odvětrán do atmosféry, musí mít vhodný odvětrací systém a správně umístěný,
4. uzavřené prostory, kde může dojít k nahromadění vodíku, musí mít odpovídající ventilaci (větrání) k zabránění tvorby hořlavé směsi,
5. vodíkový systém, zejména tekutý vodík, musí být udržován pod předepsaným tlakem k zabránění vstupu venkovního vzduchu,
6. tlakové nádoby ke skladování tekutého vodíku musí být ohřívány z důvodu nečistot jako vzduch a opatřeny vhodnými filtry k zachycení nečistot.

Školení, výcvik, kontrola, monitorování

Vodík je klasifikován jako nebezpečný materiál vzhledem k jeho vlastnostem a chování. Při práci s vodíkem musí být dodrženy všechny požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Obsluhy zařízení, pomocný personál, odpovědné osoby musí být detailně seznámeny s technologickými postupy, obsluhou zařízení, pracovním prostředím, pracovními podmínkami a zejména se všemi identifikovanými riziky a technickými a jinými opatřeními k eliminaci rizik. Zaměstnanci musí být vybaveni osobními ochrannými pracovními prostředky, kde povaha rizika toto vyžaduje. Součástí školení musí být i seznámení s evakuačním plánem a opatřeními pro mimořádné události.

Školení musí být periodicky opakováno a dodržování bezpečnostních předpisů a bezpečného chování na pracovišti musí být vyžadováno.

Všechny komponenty vodíkového systému musí být periodicky podrobovány kontrole, revizím, údržbě a opravám.

Identifikace a vyhodnocování rizik je základním předpokladem bezpečnosti vodíkových technologií.

Závěr

Vodík jako alternativa k fosilním zdrojům paliva je velmi perspektivní. Jeho komerčním využitím v dopravě, nebude zatíženo životní prostředí. Jeho výroba, skladování a doprava vzhledem k jeho vlastnostem si vyžadují specifické požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví, zejména v oblasti technické bezpečnosti tj. výběru materiálu a zabezpečovacích prvků.

Seznam literatury

Knižní dílo

- [1] **Balajka, J.:** *Vodík a jiné nové nosiče energie*. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1982, 303 s.

Článek ve sborníku

- [1] **Sloboda, A., Bednarčík, M.:** *Vodík – Alternatívne palivo* .In New trends in safety and health 2008, *mezinárodní konference*: TU Košice: s. 236-240. ISBN-978-80-553-0099-3
- [2] **Kuhejdová, V., Sloboda, A.:** *Bezpečnosť konštrukcie vodíkových pohonov*. In New trends in safety and health 2008: *mezinárodní konference*: TU Košice: s.226-231. ISBN-978-80-553-0099-3
- [3] **Horák, B., Sloboda, A., Bugár, T.:** *Realizovateľnosť a aspekty algoritmickej riadenia prevádzky malých spaľovacích motorů na vodíkové palivo s chudou smesí*. In Workshop Hydrogen technologies, fuel cells and applications HT-FCA 2006: VŠB-TUO, FEI s.31-35. ISBN 80-248-1179-0.