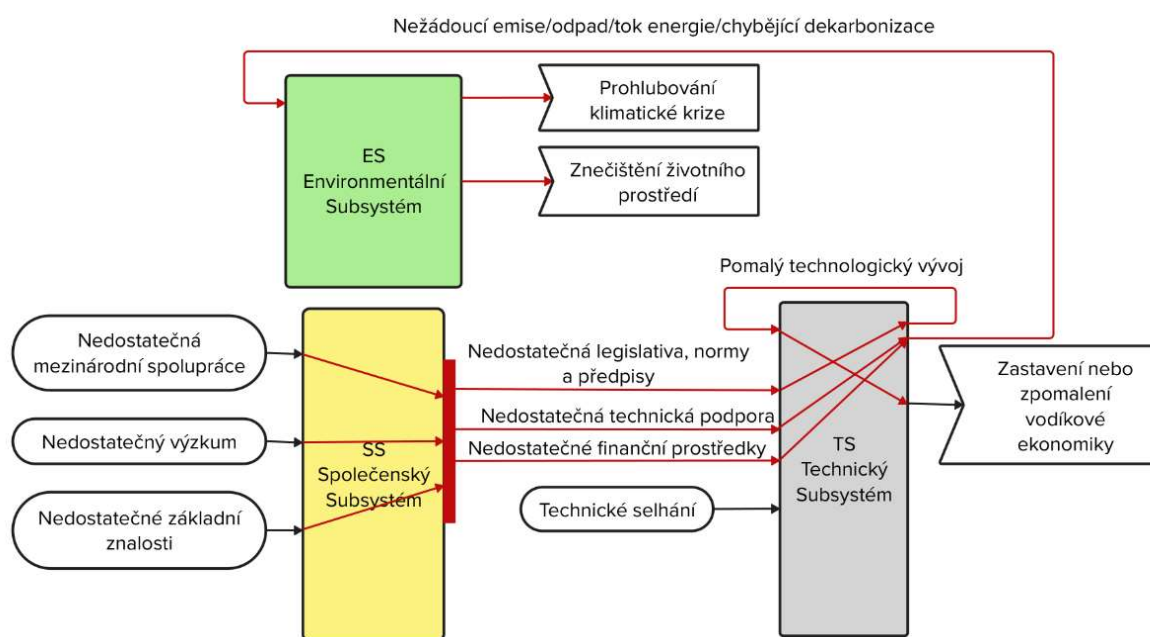


Metodika komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR



Tento výstup byl vytvořen v rámci projektu „Komplexní vodíková bezpečnost v Moravskoslezském kraji, č. TK05010075“, který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Théta.

Abstrakt

Tato metodika představuje aplikaci komplexních technik řízení rizik založených na metodologii MOSAR, které umožňují holistický pohled na bezpečnost vodíku a úzce související bezpečnostní, zabezpečovací a udržitelné problémy. Rozsah rizik spojených s vodíkovým průmyslem je širší než pouze cíle prevence nehod, eliminace technologických poruch a/nebo plánování externích a interních mimořádných událostí. Rizika spojená s vodíkovým průmyslem zahrnují rychle nastupující rizika až po riziko selhání udržitelnosti a zahrnují jak pozitivní, tak negativní zpětné vazby mezi vodíkovými procesy, okolními technologiemi, lidskou společností a životním prostředím. Výzva spočívá v tom, že analýza systému komplexní vodíkové ekonomiky, bezpečnosti, zabezpečení a udržitelnosti vyžaduje schopnost analyzovat jak interakce mezi velkými podsystémy, jako je například mezi přírodním nebo společenským prostředím a vodíkovou ekonomikou, tak poskytovat podrobné technologické analýzy na úrovni procesů, aby se daly kombinovat, a současně se vyhnout situaci, že analytické výsledky nejsou dostatečně souhrnné k tomu, aby byly rozumně použitelné.

Francouzská metoda MADS/MOSAR byla upravena pro bezpečnostní a zabezpečovací potřeby vodíkové ekonomiky jako součást resilientní společnosti. Důležitou částí je porozumění interakcím a zpětným vazbám mezi podsystémy, jak pozitivními, tak negativními. Studium bezpečnosti vodíku vyžaduje komplexní porozumění, které překračuje technická rizika. Mimo oblast technologických složitostí tato metoda řeší ekonomické složitosti, společenskou dynamiku a konkurenční prostředí, aby osvětlila mnohostranná rizika spojená s vodíkovými technologiemi. Byly nalezeny tři základní podsystémy, Technický (TS), Environmentální (ES) a Sociální (SS), a jejich interakce byly analyzovány. Výsledné interakce jsou vizualizovány.

V rámci řízení rizik je třeba zohlednit všechny tři podsystémy při identifikaci rizik spojených s poškozením životního prostředí, protože rychlost a kvalita rozvoje energie z vodíku je úzce spojena s aktuálním hodnotovým systémem lidské společnosti a nástroji k jeho podpoře. Tyto procesy také zahrnují výzvy, z nichž některé jsou specifické pro zabezpečení v kontextu vodíkové ekonomiky. Metodologie umožňuje aplikaci výsledků analýzy rizik do procesu prevence a připravenosti a k budování odolnosti.

Metodika je koncipována jako cyklický a iterativní proces, který klade důraz na včasnou a komplexní analýzu rizik. Proces je rozdělen do logických fází, počínaje definováním a akceptací záměru, přes využití široké škály analytických nástrojů pro předběžné posouzení, až po podrobnou technickou analýzu a realizaci pilotních projektů.

Metodika komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR

Obsah

1. ÚVOD.....	4
2. PRINCIPY ŘÍZENÍ RIZIK	5
3. PRINCIP ANALÝZY RIZIK KOMPLEXNÍHO VODÍKOVÉHO ENERGETICKÉHO SYSTÉMU POMOCÍ METODIKY MOSAR	7
4. POSTUP ŘEŠENÍ NAVRŽENOU METODIKOU “H2SAFETY”	13
4.1. STANOVENÍ A POPIS KONTEXTU A CÍLŮ PROJEKTU, ZÁMĚRU	15
4.2. SESTAVENÍ PRACOVNÍHO TÝMU, PORADNÍ SKUPINY PRO PŘÍPRAVU A HODNOCENÍ RIZIK PROVOZU	16
4.3. PŘEDBĚŽNÁ IDENTIFIKACE A VYHODNOCENÍ VSTUPNÍCH RIZIK PROVOZU.....	18
4.4. PŘEHODNOCENÍ ZÁMĚRU	25
4.5. PODROBNĚJŠÍ ANALÝZA RIZIK (MOSAR, TECHNIKY POSUZOVÁNÍ RIZIK)	27
4.6. FORMALIZACE PILOTNÍHO PROJEKTU NA VYUŽITÍ H2.....	33
4.7. REALIZAČNÍ FÁZE PILOTNÍHO PROJEKTU	36
4.8. TESTOVÁNÍ, MONITORING DÍLČÍCH VÝSTUPŮ APLIKACE	39
4.9. VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT Z APLIKACE ZÁMĚRU.....	42
4.10. ROZHODNUTÍ O POKRAČOVÁNÍ ČI ZASTAVENÍ ZÁMĚRU V OBLASTI H2SAFETY.....	45
4.11. STANDARDIZACE, SDÍLENÍ NOVÝCH ZNALOSTÍ A CYKLICKÉ PŘEZKOUMÁNÍ PROVOZOVANÉ TECHNOLOGIE ČI NOVĚ REALIZOVANÉHO ZÁMĚRU.....	49
5. PREVENCE A PŘIPRAVENOST.....	50
6. RIZIKA ZMĚN VE VNÍMÁNÍ HODNOT VE SPOLEČNOSTI	51
6.1. ZMĚNY VE VNÍMÁNÍ HODNOT VE VODÍKOVÉ ENERGETICE	52
7. ZÁVĚR	56
8. REFERENCE.....	56

1. Úvod

Historie bezpečnosti vodíku sahá od raných "Charlièrových" vodíkových balónů až po současný výzkum vodíku jako potenciálního čistého energetického nosiče a účinného chemického činidla. Vzhledem k jeho vysokému obsahu energie a reaktivitě je vodík nebezpečný. Zkušenosti lidí s vodíkem jako prvkem jsou dlouhé; vodík byl objeven irským alchymistou Robertem Boylem kolem roku 1670 a elektrolytická výroba vodíku je známa od roku 1800. Obrácená reakce, proces, při kterém se vodík a kyslík kombinují pomocí platinových elektrod k vytvoření vody a elektřiny, byla vynalezena kolem roku 1839 německo-švýcarským chemikem Christianem Friedrichem Schönbeinem. Nicméně prakticky použitelný vodíkový palivový článek byl vyvinut až v roce 1959 na univerzitě v Cambridge, což začalo otevírat možnosti využití vodíku jako prostředku pro přenos a uchování energie. Paralelně s rozvojem sektoru vodíkové energetiky roste také zájem o jeho bezpečnost a tedy i o bezpečnost vodíku [3].

Historie bezpečnosti vodíku je dlouhá a jeho vnímání společností je různorodé. Vodík byl použit v balónech místo horkého vzduchu v roce 1783, brzy následovala první smrtelná nehoda s vodíkovým balónem v roce 1785, způsobená požárem. Od první poloviny minulého století se vodík používá v různých průmyslových odvětvích: pro výrobu amoniaku a methanolu, jako redukční činidlo v chemickém průmyslu, v metalurgii; nehody s vodíkem v těchto odvětvích průmyslu, stejně jako nehody, při kterých byl vodík neúmyslně produkován, jsou známy, ale není jich mnoho. Databáze ARIA BARPI francouzského Ministerstva ekologické transformace a územní soudržnosti upozorňuje na 201 nehod označených jako "vodíková exploze" a 69 jako "vodíkový požár". Veřejnost a společnost obvykle tyto rizika přijímají, důvěřují spíše úzké skupině odborníků. Větší pozornost přitahují nehody kosmických lodí a vzducholodí jako je požár Hindenburgu (1937) [11] a exploze raketoplánu Challenger (1986); takové nehody jsou spektakulární, atraktivní pro média a vyvolávají emocionální události. Katastrofa Hindenburgu spolu s pokrokem letadel, těžších než vzduch, významně přispěly k opuštění vzducholodí jako hlavních prostředků letecké dopravy, nicméně po nehodě Challengeru nevznikl veřejný odpor proti využívání vodíku. Důležitou roli sehrálo to, že potřeba silného a lehkého zdroje energie pro rakety je zřejmá a lepší náhrada neexistuje.

Nicméně, jak se technologie vodíku posunuly vpřed, incidenty jako požáry a exploze během jejich vývoje, testování a provozu zdůraznily kritický význam bezpečnosti. Zejména zkušenosti získané z aplikací vodíku ve vzducholodích, jaderném a raketovém průmyslu sehrály klíčovou roli při utváření bezpečnostních úvah. Tradičně se průmyslová bezpečnost zaměřovala na procedurální aspekty, současný pohled na bezpečnost vodíku ji vnímá spíše jako multidimenzionální koncept, který překračuje dodržování průmyslových procesů. Tento komplexní pohled je klíčový, protože vodík nabývá na významu v koncepci vodíkové ekonomiky, kde je viděn jako klíčové čisté palivo a důležitá součást zelené energetické resilience společnosti [2].

Mění se situace v průmyslu vodíku a energetice, současná a budoucí, přináší nové podmínky ve vnímání bezpečnosti vodíku. Objem produkováného, skladovaného a zpracovávaného vodíku dramaticky vzroste, stejně jako počet instalací [5], a místo relativně úzké skupiny odborníků trénovaných a zkušených v oblasti bezpečnosti vodíku se do procesu zapojí široká skupina lidí s různými znalostmi a zkušenosti a dále mnoho pracovníků a také veřejnost, která je vystavená rizikům spojených s vodíkem. Omezení bezpečnosti vodíku na technologické nehody se stává nedostatečným a objevuje se potřeba širšího bezpečnostního přístupu, který vyžaduje chápání vodíkové energetiky jako infrastruktury zahrnující celý její dodavatelský řetězec a životní cyklus. V oblasti řízení rizik se objevují další typy nebezpečí, scénářů a

zranitelností v důsledku vzájemných propojení a potřeby porozumění složitým systémům interakce mezi technologiemi, lidskou společností a přírodním prostředím [14].

Rostoucí globální důraz na vodík (H_2) jako klíčový pilíř dekarbonizace energetiky a dopravy přináší na scénu nejen obrovské příležitosti, ale i specifická a komplexní bezpečnostní rizika. Vodík, jako vysoce hořlavá a snadno difundující látka, vyžaduje mimořádně rigorózní a systematický přístup k řízení bezpečnosti, který je nutné integrovat do celého životního cyklu projektu, a to již od prvotního nápadu až po dlouhodobý provoz a údržbu.

Níže předkládané kroky aplikace metodiky H2Safety, včetně možného využití původně francouzského přístupu MOSAR, představuje strukturovaný rámec pro efektivní řízení projektových záměrů v oblasti vodíkové bezpečnosti. V rámci těchto záměrů se může jednat zejména o implementaci nových technologií, výstavbu infrastruktury, nebo rozvoj interních bezpečnostních standardů. Hlavním cílem metodiky je minimalizovat rizika spojená s H_2 a zároveň zajistit personální kontinuitu a institucionální paměť v rychle se vyvíjícím oboru.

Metodika je koncipována jako cyklický a iterativní proces, který klade důraz na včasnou a komplexní analýzu rizik. Proces je rozdělen do logických fází, počínaje definováním a akceptací záměru, přes využití široké škály analytických nástrojů (od MOSAR, matice RISKAN, SWOT až po CBA a specializované indexové metody) pro předběžné posouzení, až po podrobnou technickou analýzu (HAZOP, FMEA) a realizaci pilotních projektů.

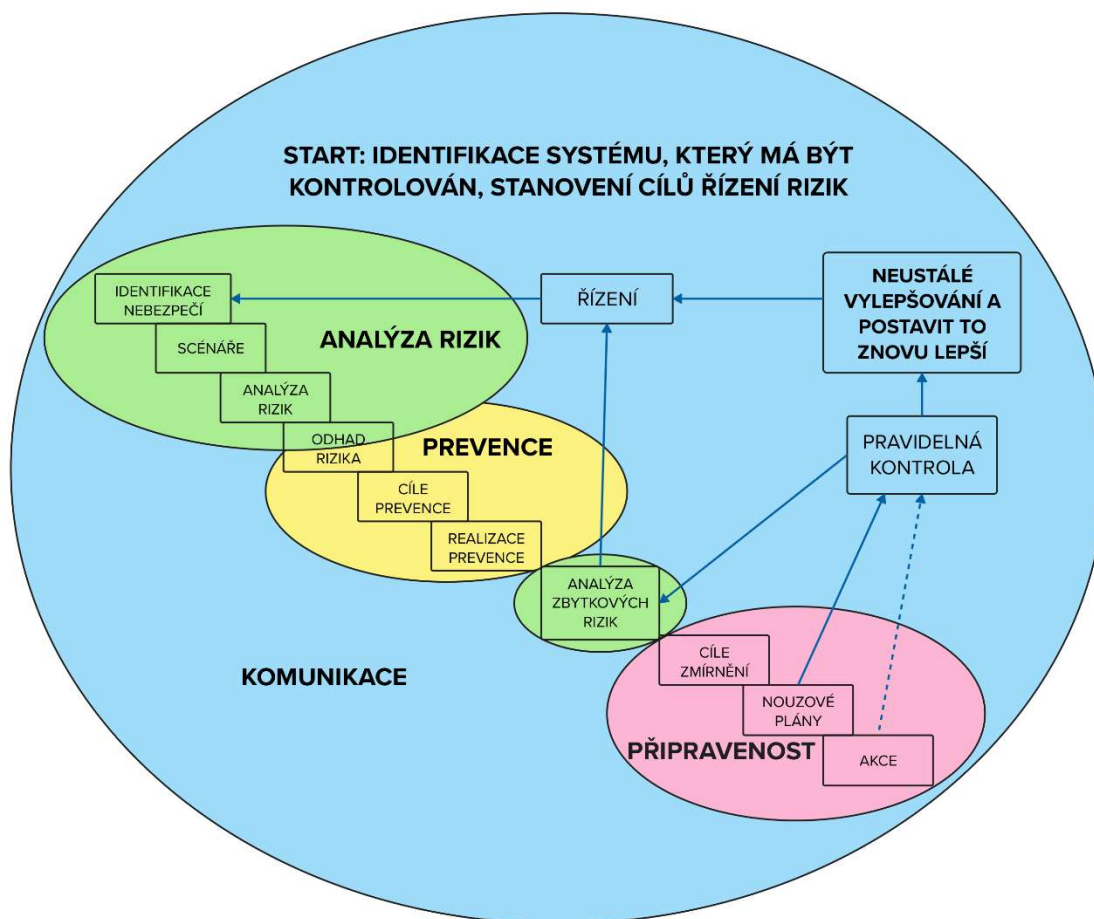
Klíčovým prvkem je opakované přehodnocování záměru (viz kroky 5, 6 a 10) na základě reálných výsledků, dostupných zdrojů a aktuálních znalostí. To by mělo autorům nových záměrů či projektů v oblasti využití H_2 pomoci efektivně alokovat finance, lidské zdroje a odborné znalosti, předcházet ztrátě paměti (zajistit předávání know-how odcházejících odborníků) a minimalizovat riziko investice do neověřených nebo příliš rizikových technologií.

Metodika může sloužit také jako interní standard pro transformaci bezpečnostních požadavků do hmatatelných a udržitelných provozních postupů.

Tato metodika představuje aplikaci technik řízení rizik založených na metodě MOSAR, které umožňují holistický pohled na bezpečnost vodíku a úzce spojené bezpečnostní problémy, odolnost a udržitelnost.

2. Principy řízení rizik

Bezpečnost, stejně jako zabezpečení a udržitelnost, se může lišit od omezeného řízení rizik prostřednictvím deterministického přístupu k pravděpodobnostnímu řízení rizik a budování odolnosti. Při zkoumání výzev bezpečnosti vodíku by měly být respektovány obecné zásady řízení rizik. Principy řízení rizik (viz. Obrázek 1) představují rámec pro posouzení hrozeb našim cílům a objevení a odstranění určitých mezer v kontrole bezpečnosti. Některé nedostatky v praktickém používání tohoto rámce lze v praxi identifikovat přímo, typicky přeskokováním určitých částí procesu řízení rizik. Příkladem může být opomenutí části prevence a zaměření se pouze na připravenost, nebo naopak podceňování kontinuálního zlepšování nebo špatná komunikace.



Obrázek 1: Řízení rizik – základní schéma

Specifické otázky bezpečnosti vodíku v kontextu transformace energetického systému z uhlíkového na vodíkový jsou zmíněny v kontextu [9]. Pro praktickou aplikaci řízení rizik jsou základní principy znázorněny viz. Obrázek 1. Následováním procesu od horního levého rohu začíná iniciační proces stanovením cílů řízení rizik, definováním limitů systému, který má být analyzován, a stanovením kontextu. Zde vzniká první výzva. Mnoho nástrojů, technik a publikací o bezpečnosti vodíku předpokládá, že bezpečnostní cíle jsou primárně zaměřeny na prevenci nehod, eliminaci technologických poruch a/nebo plánování externích a interních mimořádných událostí. Systém, který je předmětem analýzy, především zahrnuje technologii vodíku a její probíhající procesy, které mohou představovat riziko pro okolní objekty a aktivity, včetně samotné technologie, pracovníků nebo poblíž žijící populace. Běžně používané scénáře zahrnují únik vodíku, jeho disperzi, zapálení a explozi. Důraz je kladen na události s rychlým nástupem (jak je definováno v Rámcové úmluvě OSN o snižování rizika katastrof), což jsou krátkodobé nehody, při kterých je proces alespoň částečně mimo kontrolu [6]. Scéna související s riziky vodíkového průmyslu je širší, zahrnuje rizika s pomalým nástupem až po riziko selhání udržitelnosti a zahrnuje jak pozitivní, tak negativní zpětné vazby mezi vodíkovými procesy, okolními technologiemi, lidskou společností a životním prostředím. To naznačuje potřebu holistického přístupu ve všech kritických krocích řízení rizik - analýze rizik, prevenci rizik, připravenosti na mimořádné události, a každý z těchto kroků přináší specifické výzvy, jak je popsáno v následujícím textu. Takový přístup vyžaduje použití analytických metod, prevence, zmírnění a připravenosti, které zahrnují složité vzájemně interagující systémy - technologii, společnost a životní prostředí. Jednou z technik umožňujících pracovat s takovými systémy je MADS/MOSAR. Akronym MADS odkazuje na "Metodu analýzy dysfunkcí systémů", a MOSAR odkazuje na "Organizovanou a systémovou metodu analýzy rizik". MADS navrhuje

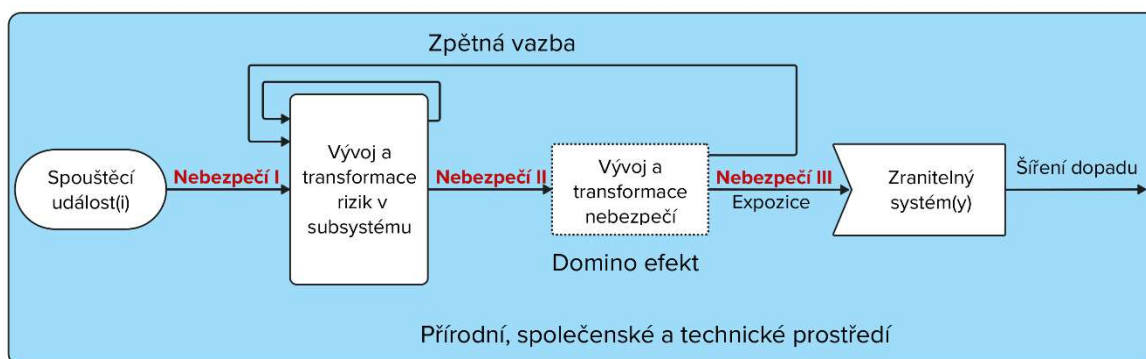
obecný model průtoku nebezpečí pro makroskopickou část analýzy, a MOSAR přináší globální převládající metodologii pro analýzu rizik [5], obě systémové a systematické.

3. Princip analýzy rizik komplexního vodíkového energetického systému pomocí metodiky MOSAR

Mnoho metodik bylo vyvinuto pro provádění analýzy rizik v průmyslovém prostředí, nicméně většina z nich je zaměřena na čistě technologický pohled, tj. na bezpečnost procesů. Komplexní systémy, jako je vodíkové hospodářství ve společenském a přírodním prostředí, vyžadují složitější a systémové nástroje pro analýzu rizik než pouze standardně používané metody pro analýzu rizik procesů. Je nutné zohlednit nejen samotnou technologii a úniky nebezpečných materiálů, ale také vztahy s okolními prostředími, jak přírodními, tak lidskými, a vzájemné zpětné vazby, jak pozitivní, tak negativní. Pro pochopení vodíkové technologie jako součásti širšího systému, tj. jako subsystému, je nezbytné do analýzy zahrnout i další klíčové subsystémy [13].

Výzva vychází ze skutečnosti, že analýza bezpečnosti, zabezpečení a udržitelnosti komplexního systému vodíkového hospodářství vyžaduje schopnost analyzovat jak interakce mezi velkými subsystémy, jako je přírodní nebo společenské prostředí a vodíkové hospodářství, tak poskytovat podrobné technologické analýzy na úrovni procesů, kombinovat je a současně se vyhnout situaci, kdy analytické výsledky nejsou dostatečně stručné, aby byly rozumně použitelné. Důležitou součástí je pochopení interakcí a zpětné vazby mezi subsystémy, a to jak pozitivních, tak negativních. Taková analýza využívá analytický model zahrnující jak celkový „makroskopický“, tak podrobný „mikroskopický“ pohled, a jednou z možností je francouzská metoda MADS/MOSAR, která byla přizpůsobena potřebám bezpečnosti a zabezpečení vodíkového hospodářství [4].

Model MOSAR je nástrojem pro systémovou metodu rozvinutí komplexních systémů a hodnocení potenciálního poškození specifických cílů. Původně byl vyvinut pro jadernou bezpečnost (INSTN, Francie) pro technologické systémy a zde je rozšířen o celkový pohled zahrnující přírodní prostředí a společnost. MOSAR umožňuje identifikovat a modelovat mechanismus vývoje nebezpečí mezi zdroji nebezpečí a takzvanými „cíli“, které představují zranitelné systémy: lidské zdraví a blahobyt, životní prostředí, majetek a vlastnictví, fungující služby a udržitelnost. Tento tok nebezpečí a transformace jsou v reálném světě realizovány pohybem a změnou materiálů a objektů, různými toky energie a přenosem informací uvnitř a mezi technologiemi, prostředími a společností. Ve společenském prostředí jsou dalším proměnným měřítkem hodnoty. To umožňuje studii procesu nebezpečí, ve kterém je zdroj nebezpečí spojen s cílem (ohroženým subjektem/objektem) prostřednictvím jevu zvaného „tok nebezpečí“. To se děje ve specifickém vztahu zvaném „pole nebezpečí“, které zohledňuje prostorovou a časovou dimenzi [2][5].



Obrázek 2: MADS model toku nebezpečí

MADS představuje zjednodušený model toku a transformace nebezpečí, je univerzální a lze jej použít pro makroskopický i mikroskopický pohled. Je vhodný pro přechod z makroskopického do mikroskopického pohledu, kdy obecný tok nebezpečí identifikovaný v makroskopickém pohledu, tj. interakce mezi subsystémy, je v mikroskopickém pohledu podrobně analyzován standardními metodami řízení bezpečnosti procesů nebo kontinuity činností. Stejný přístup se uplatňuje na společenské a environmentální systémy s ohledem na vhodné metody a přístupy [2].

Cílem MOSAR je najít možné dysfunkce a umožnit přiměřeně použitelné řízení rizik ve složitém systému. MOSAR akceptuje klíčové paradigma navržené v normě ISO 31000, kde je riziko pojímáno a definováno jako „dopad nejistoty na cíle“, což způsobuje, že slovo „riziko“ se vztahuje na pozitivní i negativní důsledky nejistoty.

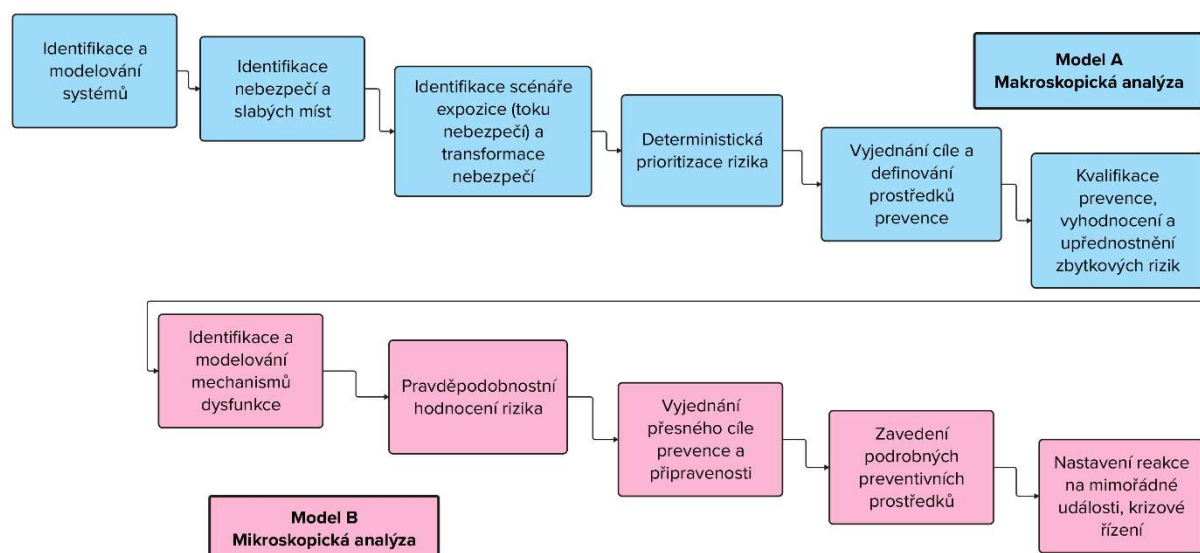
Metodika navrhuje strukturované schéma, vyčerpávající, postupné a v případě potřeby kvantitativní. Metoda MOSAR je obecný přístup, který poskytuje analýzu rizik systému a zároveň nabízí možnost identifikovat prostředky prevence, ochrany a zmírnění nezbytné k minimalizaci rizik na přijatelnou úroveň [10]. Tato metoda umožňuje identifikovat zdroje nebezpečí a zranitelnosti, scénáře nežádoucích událostí, škálovatelné hodnocení rizik a následně navrhnout bezpečnostní opatření v oblasti prevence a zmírňování následků [2].

Před samotnou analýzou složitého systému je nutné identifikovat a vymezit analyzovaný systém na subsystémy nebo části, stanovit cíle analýzy a hloubku studie. Analyzovaný systém lze vymezit na subsystémy pomocí principů založených na funkčních nebo prostorových charakteristikách. Počet subsystémů se doporučuje v rozmezí tři až šesti (maximálně 10), aby byla zachována přehlednost. Pokud je vstupní systém příliš velký nebo příliš složitý, doporučuje se použít fraktálový přístup, kdy se v prvním kroku analyzuje menší počet větších subsystémů a některé z nich se následně rozdělí tak, aby se s vybranými původními subsystémy později zacházelo jako se systémem a dále se dělily na jeho podsystémy [7].

Metoda MOSAR se skládá ze dvou modulů (obvykle označených A – makroskopický a B – mikroskopický), které pomáhají provést posouzení rizik a zavést preventivní a zmírňující opatření. Modul A je makroskopická analýza, která provádí předběžnou, obvykle deterministickou analýzu rizik systému na základě postupu, který využívá přístup černé skříňky.

Hlavním cílem modulu A je identifikace, stanovení priorit a vyhodnocení možného vývoje nežádoucích událostí. Tento modul také umožňuje stanovit priority jednotlivých rizik a v mnoha případech navrhnout preventivní opatření. Výhodou tohoto postupu je jeho relativní jednoduchost, a především možnost sledovat interakce mezi subsystémy, včetně zpětných vazeb, ať už pozitivních, nebo negativních.

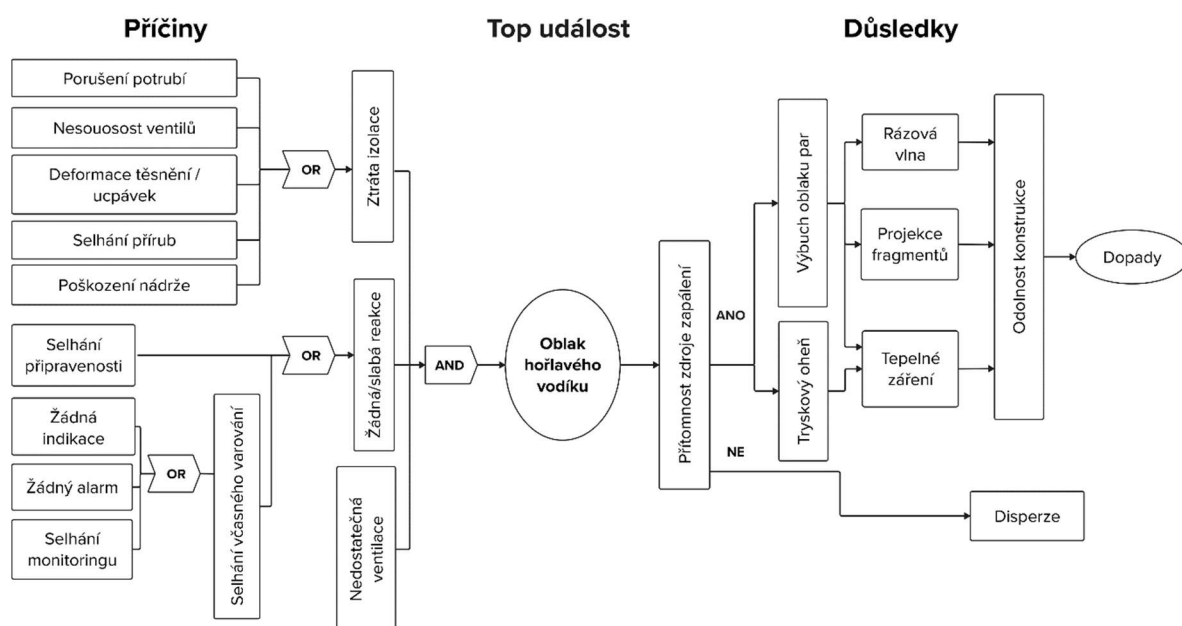
Pro každý uvolněný scénář je vytvořen soubor řetězců důsledků, který ukazuje eskalaci událostí [2]. Použití systému MOSAR odráží systémový přístup zejména v modulu A.



Obrázek 3: Vysvětlení jednotlivých kroků pro moduly A a B, kde zelená barva představuje makroskopickou analýzu (modul A) a červená barva (modul B)

Modul A se obecně zaměřuje na vztahy mezi nebezpečím jako zdrojem rizika, jeho přenosem prostřednictvím přenosu energie, materiálu a informací a probíhající transformací a zranitelností ohroženého systému, tzv. cíle. Důraz je kladen na přenosy mezi subsystémy analyzovaného celku. Výsledkem analýzy v modulu A je stanovení priorit hrozeb a identifikace jejich hlavních cest, proto je modul A klíčový pro celkovou analýzu a budování odolnosti. V mnoha případech tato analýza přímo umožňuje realizovat preventivní a zmírňující opatření, například vložení bariér do přenosů, snížením velikosti ohrožení nebo snížením zranitelnosti cílového systému, což vede k silnější prevenci a připravenosti na nežádoucí událost.

Modul B naopak především podrobně analyzuje vnitřnosti jednotlivých subsystémů, případně provádí detailní analýzu jednotlivých událostí identifikovaných v modulu A. Využívá standardní nástroje analýzy rizik, běžné v disciplínách chápání rizik, například v technologických systémech nástroje jako HAZOP, FMEA, Fault Tree Analysis (FTA) a Event Tree Analysis (ETA). Poslední dvě jmenované techniky lze vhodně kombinovat v Bow-Tie diagramu.

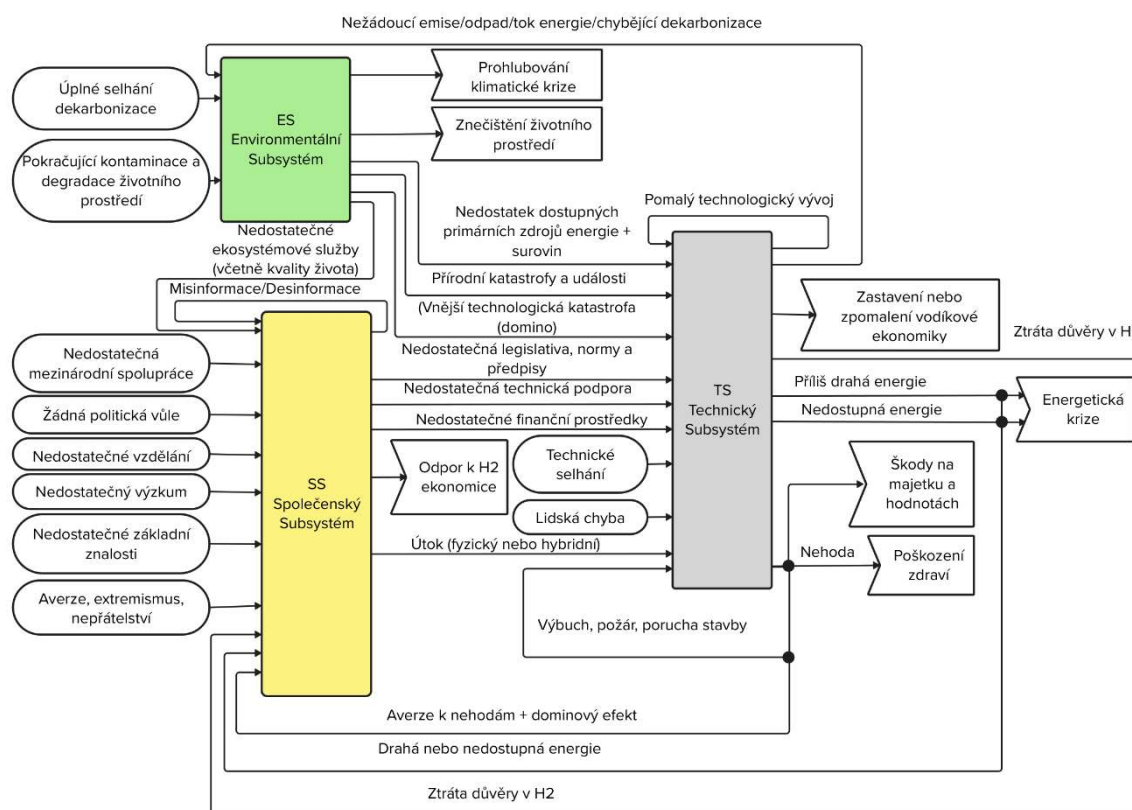


Obrázek 4: Bow-tie diagram příklad pro uvolňování vodíku a následky: Systémová identifikace a hodnocení nebezpečí a rizik

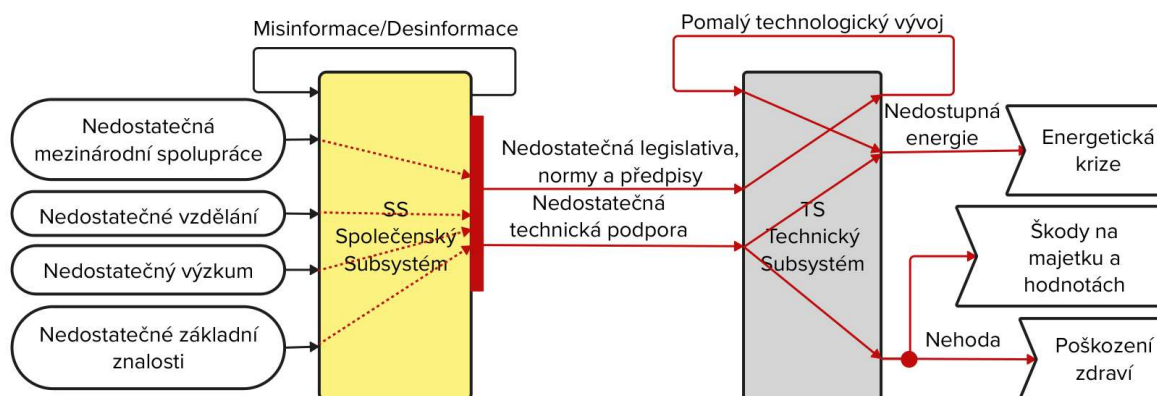
Začátek zkoumání vodíkové bezpečnosti vyžaduje komplexní porozumění, které přesahuje hranice technických rizik. Tento oddíl vychází z níže popsané analýzy, snaží se naplnit modul A a rozšiřuje jeho pohled na širší spektrum problémů. Kromě technologických složitostí se tento přístup zabývá ekonomickou složitostí, společenskou dynamikou a konkurenčním prostředím, aby osvětlil mnohostranná rizika spojená s vodíkovými technologiemi. Byly vybrány tři subsystémy, technický (TS), environmentální (ES) a sociální (SS), a byla analyzována jejich vzájemná interakce. Po dokončení modulu A jsou výsledné interakce vizualizovány viz. Obrázek 5.

Celkový diagram viz. Obrázek 3 zahrnuje mnoho interakcí vedoucích k různým typům rizik a poskytuje celkový pohled na možnosti vzniku, přenosu a transformace nebezpečí. Lze jej vnímat jako superpozici velkého počtu různých hypotetických scénářů. Při řešení prevence a připravenosti je však nutné pracovat s jednotlivými, byť stále komplexními scénáři, které lze podle potřeby od celkového schématu oddělit a řešit prevenci rizik na makroskopické úrovni, především v podobě bariér přenosu a transformace nebezpečí a zvýšení odolnosti ohroženého cíle. Příklady rozdělení konkrétního rizika uvádí Obrázek 6 a Obrázek 8.

Hospodářská rizika plynoucí z nedostatečného nebo chybějícího konzistentního a robustního regulačního rámce nelze přeceňovat. Problémy a mezery v legislativě představují nejistotu pro potenciální investory a vytvářejí překážky pro vytvoření bezpečné, zabezpečené a standardizované vodíkové infrastruktury [12].



Obrázek 5: Schéma vztahů a aspektů ovlivňujících environmentální, sociální a technické subsystémy



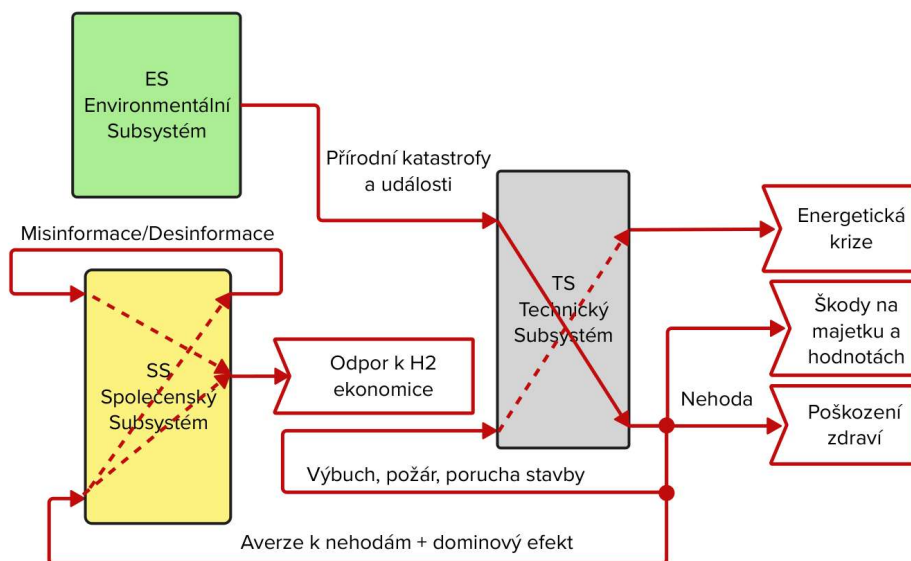
Obrázek 6: Riziko pro ekonomiku vodíkové energie vyplývající ze společenského subsystému.

Další nedostatky a výzvy jsou identifikovány v různých oblastech. Mělo by být zahrnuto prosazování komplexních regulačních rámců, zapojení tvůrců politik do řešení legislativních nedostatků a podpora spolupráce mezi zúčastněnými stranami v odvětví a regulačními orgány s cílem zajistit účinný dohled. Holistický rámec uznává potenciální protichůdné tlaky a výzvy plynoucí z konkurenčního prostředí. S rostoucím významem vodíku se může konkurence projevovat v různých formách, včetně lpění na konzervatismu, výzev vůči vnímání veřejnosti, pokusů o ovlivnění regulačního prostředí nebo snah o obranu konkurenčního technologického pokroku.

Zdůrazňování potřeby neustálých technologických inovací a výzkumu zahrnuje investice do výzkumu a vývoje s cílem zdokonalit bezpečné technologie, podporu výzkumných iniciativ založených na spolupráci, podporu inovačních uskupení v rámci vodíkového průmyslu a vytváření platform pro sdílení znalostí, aby bylo možné udržet krok s novými technologickými riziky a strategiemi jejich zmírňování. Všechny tyto aspekty úzce souvisejí s budováním odolnosti.

Vedle nedostatků ve znalostní základně, spolupráci, výzkumu a vývoji vznikají specifická rizika v komunikaci jako zpětné vazbě společnosti. Neúmyslné i záměrné šíření nepravdivých negativních informací (misinformace a dezinformace) může změnit vnímání nebezpečí a perspektivy vodíku, a tím i ochotu společnosti investovat do rozvoje vodíkového hospodářství.

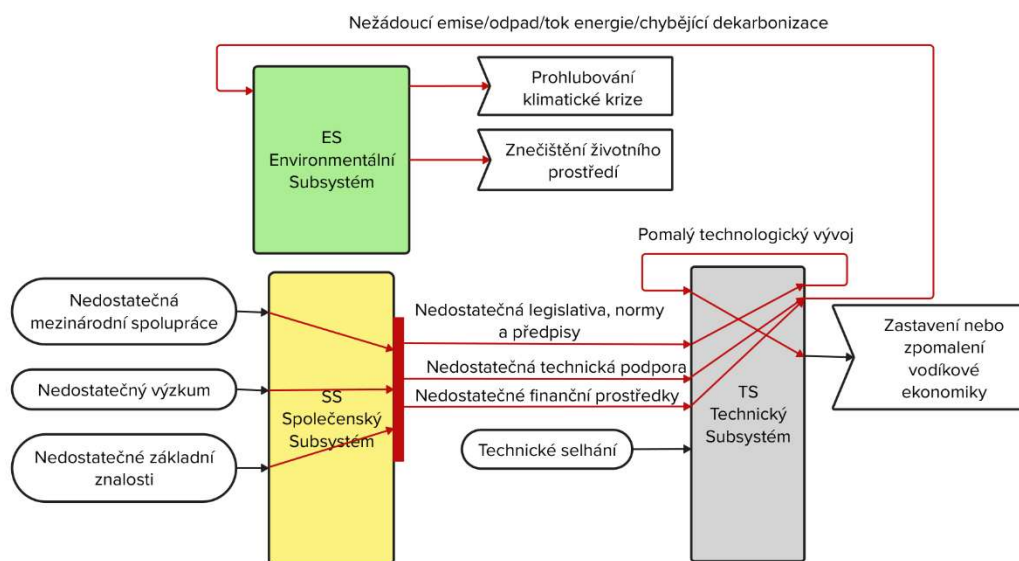
Další skupina rizik pochází z přírodních nebezpečí a je známá jako NATECH - Natural Hazards Triggering Technological Disasters (přírodní nebezpečí vyvolávající technologické katastrofy), což znamená interakci mezi přírodními katastrofickými událostmi a průmyslovými haváriemi, které vedou ke kaskádovitým technologickým katastrofám a kumulaci jejich následků. OECD i EHK OSN jako významné mezinárodní organizace zdůrazňují význam NATECHu v období změny klimatu a mohou mít dopad i na vodíkový průmysl. Následná negativní reakce společnosti může zpomalit rozvoj vodíkové energetiky. Situaci znázorňuje Obrázek 7.



Obrázek 7: NATECH vzniklá rizika

Životní prostředí není jen potenciálním zdrojem nebezpečí typu NATECH, ale může být samo ohroženo našimi ekonomickými aktivitami, jak ukazuje klimatická krize vyvolaná uhlíkovou ekonomikou. I když je potřeba vodíkové ekonomiky primárně vyvolána potřebou dekarbonizace, je nezbytné zabránit tomu, aby sekundární dopady energetické transformace způsobovaly škody na životním prostředí. K tomu může dojít nejen v důsledku neúplné dekarbonizace způsobené pomalým nebo žádným rozvojem vodíkového a jiného moderního energetického hospodářství, ale také v důsledku nových typů znečištění životního prostředí odpadem z vyvíjených technologií. Posouzení nebezpečí proto musí zahrnovat komplexní analýzu všech procesů a jejich kompletních životních cyklů. Sekundárním efektem je zpomalení vodíkového hospodářství.

V rámci řízení nebezpečí je třeba při identifikaci nebezpečí spojených s poškozením životního prostředí zohlednit všechny subsystémy (TS, ES, SS), protože rychlost a kvalita rozvoje vodíkové energetiky úzce souvisí s aktuálním hodnotovým systémem lidské společnosti a nástroji na jeho podporu. Základní interakce (tok nebezpečí) mezi subsystémy uvádí Obrázek 8.



Obrázek 8: Nebezpečí pro životní prostředí v souvislosti s vodíkovým hospodářstvím.

Tato část se zabývá nejen technickými složitostmi, ale také ekonomickými problémy, společenskou dynamikou a konkurenčními tlaky, a poskytuje tak komplexní průzkum mnohostranných nebezpečí spojených s vodíkovými technologiemi. Následující oddíly se budou zabývat podrobnými strategiemi pro identifikaci, analýzu a zmírnění těchto problémů, čímž se připraví cesta pro bezpečný a udržitelný vývoj vodíkových aplikací

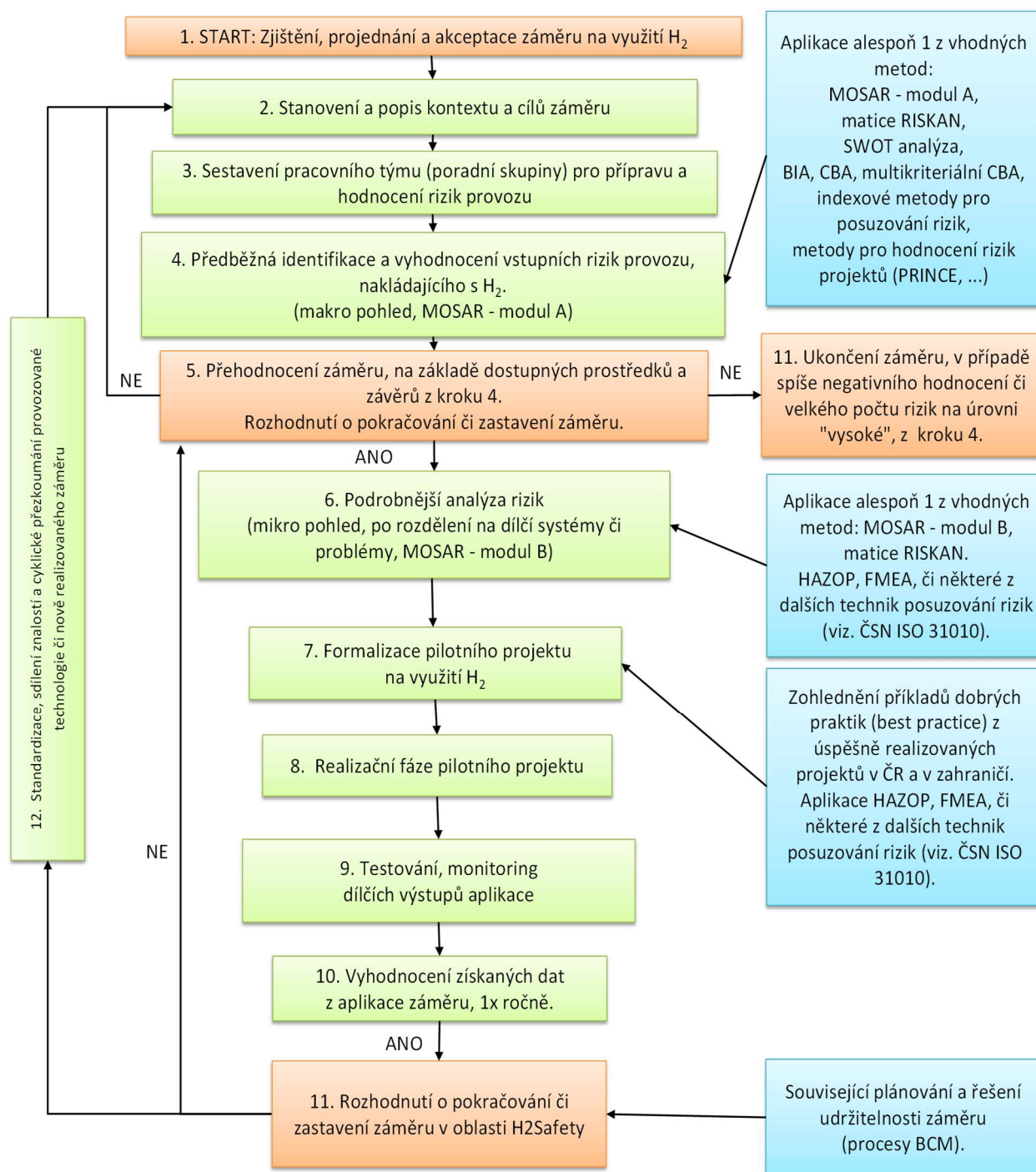
4. Postup řešení navrženou metodikou “H2Safety”

Hlavním účelem prvního kroku je zjištění, projednání a akceptace záměru v oblasti H2Safety v rámci konkrétního subjektu (tj. soukromá společnost, veřejnoprávní korporace či další specifický typ subjektu).

Níže je uvedeno schéma aplikovaného postupu metodiky H2Safety, jehož jednotlivé kroky jsou dále podrobněji rozvedeny a případně doplněny přílohami.

Legenda ke schématu:

	Rozhodovací proces
	Akční část
	Nástroje



Obrázek 9: Schéma aplikovaného postupu navržené metodiky

4.1. Stanovení a popis kontextu a cílů projektu, záměru

Cílem tohoto kroku je jasné definování důvodů: proč je projekt realizován, jaké oblasti má zahrnovat (technologie, lokality, fáze životního cyklu H₂) a jaký konkrétní stav bezpečnosti má být dosažen. Součástí tohoto kroku je v souladu s principy řízení rizik také stanovení vnitřního a vnějšího kontextu, tj. definování prostředí, v němž je projekt řešen.

Díličí kroky: detailní definice kontextu a cílů

Krok	Popis činností	Klíčový výstup
2.1. Definice vnějšího kontextu	Stanovení vnějších vlivů, které ovlivňují H2Safety. Nezbytnou součástí jsou legislativní požadavky (viz níže), očekávání stakeholderů (veřejnost, regulační orgány, dodavatelé), tržní a technologický vývoj (např. dostupnost nových senzorů, změn v normách ISO/EN).	Seznam a analýza klíčových externích rizik (regulační, reputační) a příležitostí.
2.2. Definice vnitřního kontextu	Stanovení vnitřního prostředí subjektu (ev. v rámci veřejné správy), kterého se projekt H2Safety týká. Tato část zahrnuje také stanovené dostupných zdrojů (personální, finanční, technologické), stávající bezpečnostní kulturu, současnou úroveň know-how a stanovení procesů BCM (Business Continuity Management).	Identifikace silných a slabých stránek (SWOT vstup) a stávajících mezer ve znalostech a procesech.
2.3. Formulace cílů H2Safety	Stanovení měřitelných cílů projektu. Cíle by měly být rozděleny na strategické (dlouhodobá vize bezpečnosti) a taktické (konkrétní milníky projektu). Typické cíle: Snížení pravděpodobnosti úniku H ₂ na X událostí/rok, implementace automatizované detekce ve fázi Y, dosažení shody s ATEX normami v definované zóně.	Prohlášení o cílech: kvantifikovatelné, časově omezené cíle.
2.4. Stanovení kritérií úspěchu	Definovat kritéria, podle kterých bude projekt považován za úspěšný, nad rámec pouhého dokončení. Klíčová kritéria: Technická funkčnost (např. spolehlivost detekčního systému 99,9%), Očekávané snížení rizika (např. posun ze Středního na Nízké riziko dle matice), Shoda s legislativou a přijetí řešení interními týmy.	Kritéria přijatelnosti rizik a ukazatele výkonnosti (KPI) pro H2Safety,

Vybraná česká a evropská legislativa:

Vodíková bezpečnost spadá pod široký rámec předpisů pokrývajících nebezpečné chemické látky, tlaková zařízení, ochranu před výbuchem a krizové řízení.

Legislativní předpis	Oblast a relevance pro H2Safety
Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce	Základní povinnosti BOZP, včetně zajištění bezpečného prostředí a školení zaměstnanců.

Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií (Seveso III)	Klíčové pro skladování H ₂ . Definuje povinnosti pro zařízení s velkým množstvím nebezpečných látek (včetně vodíku). Vyžaduje zpracování Bezpečnostního programu/Dokumentace o ochraně před haváriemi.
Nariadení vlády č. 406/2017 Sb. (ATEX)	Klíčové pro Ex prostředí. Stanovuje minimální požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnanců před riziky souvisejícími s výbušnou atmosférou. Zahrnuje klasifikaci zón a požadavky na zařízení.
Nariadení vlády č. 101/2005 Sb.	Požadavky na pracoviště a pracovní prostředí (např. větrání, označování nebezpečí).
Nariadení vlády č. 191/2022 Sb.,	O vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
Nariadení vlády č. 192/2022 Sb., o	O vyhrazených technických tlakových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
Zákon č. 250/2021 Sb.	O bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení. Vyžaduje revize, kontroly a oprávnění.

Další legislativní a regulační požadavky jsou uvedeny v souvisejících průvodcích bezpečnosti.

Normativní rámec (ČSN, ISO, EN):

Normativní dokument	Oblast a relevance pro H2Safety
ČSN ISO 31000	Management rizik – Základní principy a návody pro řízení rizik.
ČSN EN 31010	Management rizik – Techniky posuzování rizik (metody jako HAZOP, FMEA, které se použijí v Kroku 2).
Řada ČSN EN 60079	Normy související s elektrickými zařízeními v prostředí s nebezpečím výbuchu (Ex zóny). Klíčové pro detekční systémy a čerpadla v Ex provedení.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem – Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).

Doporučení pro krok 2: V rámci stanovení kontextu (Krok 2.1) je nezbytné provést prvotní screening podle množství skladovaného / manipulovaného vodíku. Cílem tohoto prvotního screeningu je zjištění, zda projekt spadá pod režim zákona o prevenci závažných havárií (Seveso III), což může poměrně dramaticky ovlivnit rozsah a rozpočet celého projektu.

4.2. Sestavení pracovního týmu, poradní skupiny pro přípravu a hodnocení rizik provozu

Tento krok je zaměřen zejména na činnosti související s lidským faktorem a správou kompetencí. Cílem realizace činností v rámci tohoto kroku je zajistit, aby projektový záměr H2Safety byl řízen týmem s odpovídajícími a dostatečnými multidisciplinárními znalostmi

(technickými, bezpečnostními, provozními a legislativními) a aby klíčová rozhodnutí byla konzultována s nezávislou poradní skupinou.

Účelem níže uvedených kroků je formalizace struktury týmu, definování rolí a zajištění zapojení všech klíčových interních i externích stakeholderů. Splněním uvedené by mělo být dosaženo minimalizace rizika ztráty firemní paměti a nedostatečné odbornosti. Vhodným základem je realizace alespoň některých níže uvedených dílčích kroků, v ideálním případě samozřejmě realizace všech kroků (doporučená varianta).

Dílčí kroky: tvorba a formalizace týmové struktury

Krok	Popis činností	Role a zodpovědnosti
3.1. Identifikace klíčových kompetencí	Identifikace zaměstnanců, kteří disponují unikátními znalostmi v klíčových oblastech (např. projektové řízení, údržba tlakových zařízení, elektrická zařízení/ATEX, BOZP). Zahrnout zkušené i mladší pracovníky za účelem průběžného předávání znalostí.	Manažer projektu H2Safety (vedení a reportování), inženýr pro tlaková zařízení, BOZP, provozní specialista.
3.2. Sestavení poradní skupiny	Výběr osob s rozhodovací pravomocí nebo širokou odborností, které jsou schopny projekt hodnotit, schvalovat zdroje a poskytovat nezávislý názor. Zahrnout management a externí experty.	Investor projektu (senior management, alokace zdrojů), finanční manažer, právní/legislativní expert, externí specialista na vodíkové tech., dodavatel technologií.
3.3. Formalizace týmu a kompetencí	Tvorba matice odpovědností (RACI / RASCI) pro jednotlivé fáze projektu a zdokumentovat aktuální úroveň kompetencí členů týmu v oblastech H ₂ (např. pomocí dotazníků nebo hodnocení).	Matice odpovědností (RACI / RASCI) a plán školení a rozvoje.
3.4. Příprava komunikačního plánu	Definování frekvencí, formátu a příjemce komunikace. Je nutné zajistit průběžnou komunikaci rizik (viz Krok 4) a komunikovat průběžný pokrok v rámci projektu.	Komunikační plán (intervaly setkání týmu, reporty poradní skupině, informace pro celou společnost/veřejnost).

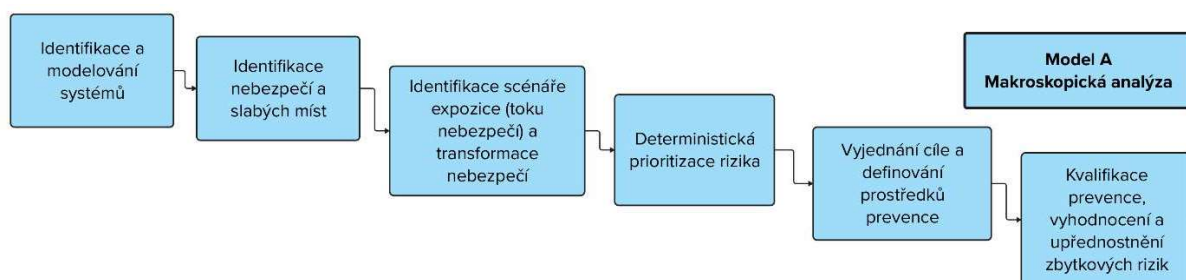
Vybraná česká legislativa a standardy organizací / firem:

Legislativní předpis / standard	Oblast a relevance pro krok 3
Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce	Určuje povinnosti zaměstnavatele v oblasti organizace práce, kvalifikace a školení zaměstnanců. Důležité pro definování rolí a odpovědností.
Zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek BOZP	Ukládá povinnost zajistit, aby zaměstnanci na pracovišti splňovali požadavky na odbornou způsobilost a kvalifikaci stanovené právními předpisy. Klíčové pro práci s H ₂ a ATEX.
ČSN ISO 10 006 (Směrnice pro management jakosti projektů)	Požaduje definici a organizaci projektu, včetně kompetencí a požadavků na lidské zdroje.
ČSN EN ISO 9001:2016 (Management kvality)	Požaduje stanovení kompetencí, školení a povědomí pro osoby vykonávající práci ovlivňující shodu s požadavky na produkt/službu.
Interní standardy HR	Firemní předpisy pro nástupnické plánování a řízení znalostí (Knowledge Management), které byly navrženy v předchozí fázi. Tyto standardy musí být aplikovány při obsazování klíčových H2Safety rolí.

Doporučení pro krok 3: Při sestavování týmu je vhodné využít stárnutí lidských zdrojů (znalostí o existujícím zařízení, procesu či dříve realizovaných projektech) ve svůj prospěch – zkušené odborníky je doporučeno formálně jmenovat mentory pro mladší specialisty v týmu, čímž bude splněn požadavek na zajištění personální kontinuity a bude minimalizováno riziko ztráty „společenské“ paměti. Je známo, že lidé a zaměstnanci mají tendenci opakovat stejné chyby na stejných procesech či technologiích, a to s periodou 5 – 20 let.

4.3. Předběžná identifikace a vyhodnocení vstupních rizik provozu

Tento krok slouží k makroskopickému (širokému) pohledu na potenciální problémy provozu v oblasti H2Safety, a to ještě ve chvíli před zahájením detailního inženýrského návrhu. Cílem je identifikovat, jaká projektová, finanční, technická a reputační rizika by mohla ohrozit úspěch záměru, nového projektu či celého provozu.



Obrázek 10 Vysvětlení jednotlivých kroků metodiky MOSAR, pro modul A (makroskopická analýza)

Za účelem realizace tohoto kroku je doporučována aplikace některé z vhodných metod/technik zmíněných níže:

- Aplikace upraveného postupu MOSAR, modul A (makroskopický přístup k analýze problému či záměru).
- Matice RISKAN, SWOT analýza, (SWOT, BIA, CBA, multikriteriální CBA, CSA, 2, 3, 5 indexová (2, 3 až 5 indexů) metoda pro hodnocení rizik projektového, s přihlédnutím k příkladům 1, 2).
- Business Impact Analýza (BIA).
- Zjednodušená Cost Benefit Analýza (CBA), multikriteriální CBA, CSA.
- Indexová metoda: 2, 3 či 5 indexová (2, 3 až 5 indexů) metoda pro hodnocení rizik projektového záměru (podobná indexové metodě pro hodnocení rizik v BOZP).
- Komunikace aspektů rizik a projektu uvnitř týmu a s potenciálními stakeholdery (ev. s veřejností).

Účelem aplikace výše uvedených metod je poskytnutí managementu rychlého a komplexního pohledu na udržitelnost a přijatelnost celého záměru. Výstupy tvoří základ pro přehodnocení projektu (krok 5). V rámci těchto kroků dochází k využití kombinace kvalitativních a kvantitativních metod za účelem filtrace rizik s cílem zaměřit se na nejpravděpodobnější a nejzávažnější hrozby.

Díličí kroky: aplikace analytických metod pro realizaci kroku 4

Krok	Popis činnosti	Doporučená metoda	Klíčové výstupy
4.1. Makroskopická analýza problému	Získání rychlého přehledu o hlavních silách, slabínách, příležitostech a hrozbách projektu H2Safety.	SWOT analýza	Přehled vnitřních silných/slabých stránek a externích příležitostí/hrozeb H2 projektu.
4.2. Zjištění kritických dopadů (incidenty)	Realizace hodnocení s cílem zjistit, jak selhání či zpoždění projektu může ovlivnit klíčové obchodní cíle, bezpečnostní shodu a provozní kontinuitu.	Business Impact Analýza (BIA) se zohledněním principu „safe-by-design“.	Stanovení předběžné maximální tolerovatelné doby přerušení záměru (angl. preliminary MTPD – Maximum Tolerable Period of Disruption) pro H ₂ infrastrukturu a

Krok	Popis činnosti	Doporučená metoda	Klíčové výstupy
			prioritizaci bezpečnostních prvků.
4.3. Hodnocení nákladů a přínosů	Realizace základního porovnání očekávaných investičních a provozních nákladů projektu oproti očekávaným přínosům (snížení rizika, úspory, reputace).	Cost-Benefit Analýza (CBA) a multikriteriální CBA	Vypočtená návratnost investice (ROI) do H2Safety a nefinanční váhy pro různé varianty řešení.
4.4. Kvantifikace projektových rizik (případně zohlednění doporučení norem ČSN ISO 21 500, ČSN ISO 21 500, případně metodika tvorba veřejných strategií.	Přiřazení indexů rizika různým aspektům projektu (např. technologická nezralost, finanční nejistota, lidské zdroje) pomocí jednoduchých indexových metod.	Indexová metoda: 2, 3 nebo 5ti indexová metoda (upravená např. dle metodiky BOZP nebo zpracovaná do šablony matice rizik *.xlsm, pomocí SW RISKAN)	Prioritizační skóre rizik, které určí/zpřesní zaměření pro hlubší analýzu (krok 6).
4.5. MOSAR modul A – makroskopický přístup	Rychlé a systematické prozkoumání všech systémových prvků a jejich vztahů s cílem odhalit neznámá rizika a mezery v systému.	MOSAR, Modul A	Seznam zjištěných systémových slabin a vztahů, které je nutné hlouběji prošetřit.
4.6. Komunikace vstupních rizik	Diskuze zjištěných rizik a příležitostí se všemi relevantními interními a externími stakeholdery.	Komunikační plán	Konsensus o hlavních hrozbách a akceptace úrovně rizika managementem.

Související česká legislativa a normy:

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 4
ČSN ISO 31000:2019 (Management rizik)	Základní norma. Poskytuje principy a obecné návody pro řízení rizika v jakékoli organizaci a kontextu, včetně definice kontextu, identifikace, analýzy a hodnocení rizik.
ČSN EN 31010:2020 (Techniky posuzování rizik)	Popisuje širokou škálu technik (včetně BIA, SWOT, CBA a různých indexových metod), které jsou vhodné pro identifikaci, analýzu a hodnocení rizik. Je to klíčový zdroj pro výběr a aplikaci metod v Kroku 4.
Zákon č. 224/2015 Sb. (Prevence havárií)	Vyžaduje analýzu rizik pro zařízení Seveso (pokud H ₂ spadá do limitů). Výstupy z Kroku 4 (BIA, indexy

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 4
	závažnosti) jsou důležitým vstupem pro detailní analýzu v pozdějších fázích.
Zákon č. 262/2006 Sb. (Zákoník práce)	Základní povinností zaměstnavatele je vyhledávat a vyhodnocovat rizika na pracovišti. Indexové metody pro rizika BOZP (upravené pro projekt) jsou s tímto úzce svázány.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovinné rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
ISO 19881:2025	Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers: Požadavky na tlakové nádoby H ₂ pro vozidla (materiál, návrh, výroba, zkoušení).
ISO 19882:2025	Gaseous hydrogen — Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers: Bezpečnostní zařízení PRD pro nádoby dle ISO 19881.
ISO 19887-1:2024	Gaseous hydrogen — Fuel system components for hydrogen-fuelled vehicles — Part 1: Land vehicles: Výkonové/bezpečnostní požadavky na ventily, injektory, aj. komponenty palivového systému.
ISO 22734-1:2025	Hydrogen generators using water electrolysis — Part 1: Safety: Bezpečnostní požadavky pro elektrolyzéry (průmysl/komerce/rezidence).
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel-processing technologies — Part 1: Safety: Bezpečnost generátorů H ₂ ze zpracování paliv (reforming atd.).
ISO/TS 19883:2017	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification: Bezpečnost PSA/VPSA jednotek pro separaci/čištění H ₂ .

Na obrázku č. 5 uvedené schéma vztahů a aspektů ovlivňujících environmentální, sociální a technické subsystémy bylo vytvořeno za účelem snazší celkové orientace napříč možnými hrozbami v oblasti vodíkové bezpečnosti (s ohledem na různé aplikace). Toto schéma bylo základem pro další návrhu seznamu možných hrozeb – viz matice RISKAN níže.

Doporučení pro krok 4: Při aplikaci metod SWOT a BIA je doporučováno integrovat znalosti získané od stárnoucích odborníků (krok 3). Jejich dlouholetá pracovní a provozní zkušenost je kritická pro přesnější určení pravděpodobnosti a dopadu skrytých rizik, která nejsou primárně zřejmá z pouhé dokumentace (např. riziko koroze v konkrétním potrubí, riziko selhání dodavatele).

Níže je uveden příklad makroskopické analýzy možných rizik souvisejících s provozem zařízení v oblasti H2Safety. Tato analýza využívá seznamů aktiv a hrozeb, kterým jsou přiřazeny číselné hodnoty a doplněny slovním popisem. Šablona pro opakovanou analýzu je přiložena formou elektronické přílohy k metodice, a to ve formátu XLSM.

V přílohách jsou rovněž připojeny předtipované seznamy aktiv a hrozeb (PDF, DOCX).

Dle základního přístupu snižování a ošetřování rizik je možno doporučit jejich snižování primárně v oblasti vysokého, případně středního rizika, přičemž cílem je minimalizace rizika až do úrovně nízkého rizika.

Vhodným řešením je také doplnění kvantifikační stupnice k indexům pravděpodobnosti hrozeb a hodnotám aktiv. Níže je přiložen návrh stupnic, které jsou modifikovatelné dle potřeb uživatelů, případně modifikovatelné pro jiné rozsahy. Dochází-li k hodnocení více objektů v rámci konkrétního provozu, pak je nezbytné aplikovat shodně kvantifikované stupnice.

Příklad úpravy:

Rozmezí hodnot aktiv 0 - 50 mil. Kč může být pro případy technologií spojených s problematikou H₂ vnímáno jako velmi malé rozmezí. Kvantifikace tohoto indexu se může dle hodnot aktiv provozovatele výrazně lišit. Škálu je pak nutno pro své potřeby upravit, avšak pro hodnocení ucelené části provozu vždy shodně.

Příklad makroskopické analýzy, s pomocí přístupu MOSAR a matice RISKAN (T-Soft):

 RIZIKOVÝ KALKULÁTOR 				Aktiva																									
Hodnoty aktiv		2	2			2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2											
						Střední		Střední		Střední		Střední		Nízká		Střední		Nízká		Střední		Střední		Nízká		Střední		Nízká	
Hrozby				Pravděpodobnost																									
HROZBY - CELKEM				3	Vysoká	18	18	18	12	9	8	9	18	12	6	18	9												
1	Subsystém ŽP (environment)			3	Vysoká	18	18	18	12	6	8	6	12	12	4	12	1												
1.1	Znečištění životního prostředí			1	Nízká	2	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1												
1.2	Prohlubování klimatické krize			1	Nízká	2	2	2	2	1	0	1	2	2	0	2	1												
1.3	Nedostatek dostupných primárních			1	Nízká	4	4	4	0	1	0	1	1	0	0	0	1												
1.4	Přírodní katastrofy a události			3	Vysoká	18	18	18	12	6	6	6	12	12	0	12	0												
1.5	Vnější DOMINO efekt (havárie)			2	Střední	12	12	12	12	6	8	4	12	12	4	12	0												
2	Společenský subsystém			3	Vysoká	12	12	12	12	9	6	9	12	12	6	12	6												
2.1	Desinformace, misinformace			2	Střední	8	4	4	4	4	0	2	8	4	6	8	2												
2.2	Nedostatečná legislativa, normy, př			1	Nízká	4	4	2	4	2	0	1	1	0	0	0	1												
2.3	Nedostatečná technická podpora			3	Vysoká	12	12	12	12	6	6	9	6	0	6	0	0												
2.4	Nedostatečné finanční prostředky			2	Střední	12	12	12	12	4	0	4	12	12	2	12	6												
2.5	Odpor k H2 ekonomice			3	Vysoká	12	9	6	6	9	0	0	12	12	3	12	3												
2.6	Útok (fyzický či hybridní)			1	Nízká	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
3	Technický subsystém			3	Vysoká	18	18	18	12	9	8	9	18	12	4	18	9												
3.1	Pomalý technologický vývoj			2	Střední	12	12	12	4	6	0	4	6	4	0	4	6												
3.2	Zastavení nebo zpomalení H2 ekor			3	Vysoká	12	12	12	12	6	0	3	9	6	0	6	9												
3.3	Ztráta důvěry v H2			2	Střední	12	12	12	12	6	0	2	6	0	4	0	6												
3.4	Příliš drahá energie (energ. krize)			3	Vysoká	18	12	12	6	9	0	3	18	6	3	18	6												
3.5	Nedostupná energie (energ. krize)			3	Vysoká	18	18	18	6	9	0	9	18	6	0	18	0												
3.6	Incident, nehoda (exploze, požár, p			2	Střední	12	12	12	12	6	8	6	12	12	4	12	2												
3.8	Averze k nehodám, dominoefekt			1	Nízká	6	6	4	6	2	4	1	4	2	1	4	0												

Poznámka k matici: Provedeno pro škály indexů pravděpodobnosti hrozby 0-3, hodnoty aktiv (0-3) a úrovně zranitelnosti aktiv (0-3), pro 3 výsledné úrovně rizika možných problémů (0-8 nízké riziko (zelená); 9-17 střední riziko (žlutá); 18-27 vysoké riziko (červená)).

Příklad matice výše je možno chápat jako více orientovaný na zohlednění společenských rizik. Níže je doplněno druhé hodnocení z makro pohledu, které je více zaměřeno na technologická rizika.

				Aktiva		AKTIVA - CELKEM																						
Hodnoty aktiv		AKTIVA - CELKEM				INFRASTRUKTURA A T		Výroba vodíku		Skladování a transport v		Aplikace a koncoví spoř		Budovy a konstrukce kol		Spolehlivost signalizační		NEHMOTNÁ AKTIVA A		Finanční aktiva		Reputační a vztahová ak		Provozní aktiva a lidské		Udržitelnost a rozvoj		
				3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Generátor grafů Export do XML						Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední	Střední	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední	Střední	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední	Střední	Střední	Střední	Střední	Střední	Střední	Střední
Hrozby		Pravděpodobnost																										
HROZBY - CELKEM		3	Vysoká	27	27	27	27	18	8	18	27	27	12	18	18	12	18	18	8	12	6	6	6	6	6	6	6	
1	Subsystem ŽP (environment)	3	Vysoká	27	27	27	27	12	8	12	18	18	8	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1.1	Znečištění životního prostředí	1	Nízká	3	3	3	3	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.2	Prohlubování klimatické krize	2	Střední	6	6	6	6	4	0	4	6	6	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
1.3	Nedostatek dostupných primárních	1	Nízká	6	6	6	3	2	0	2	6	6	4	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
1.4	Přírodní katastrofy a události	3	Vysoká	27	27	27	27	12	6	12	18	18	6	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1.5	Vnější DOMINO efekt (havárie)	2	Střední	18	18	18	18	12	8	8	18	18	8	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2	Společenský subsystém	3	Vysoká	27	18	18	18	18	6	18	27	27	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
2.1	Desinformace, misinformace	2	Střední	12	12	6	6	12	0	4	12	6	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
2.2	Nedostatečná legislativa, normy, p	2	Střední	12	12	6	12	8	4	4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
2.3	Nedostatečná technická podpora	3	Vysoká	18	18	18	18	12	6	18	12	9	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2.4	Nedostatečné finanční prostředky	2	Střední	18	18	18	18	8	4	8	18	18	4	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2.5	Odpor k H2 ekonomice	3	Vysoká	27	18	9	9	18	0	6	27	27	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
2.6	Útok (fyzický či hybridní)	1	Nízká	9	9	9	9	6	2	6	9	9	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
3	Technický subsystém	3	Vysoká	27	27	27	18	18	8	18	18	18	12	18	18	12	18	18	12	18	18	18	18	18	18	18	18	
3.1	Pomalý technologický vývoj	3	Vysoká	27	27	27	18	18	6	12	18	9	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
3.2	Zastavení nebo zpomalení H2 eko	3	Vysoká	18	18	18	18	12	6	6	18	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
3.3	Ztráta důvěry v H2	2	Střední	18	18	18	18	12	0	4	12	12	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
3.4	Příliš drahá energie (energ. krize)	3	Vysoká	27	27	27	18	18	6	6	18	18	12	18	18	12	18	18	12	18	18	18	18	18	18	18	18	
3.5	Nedostupná energie (energ. krize)	3	Vysoká	27	27	27	18	18	0	18	18	9	0	18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
3.6	Incident, nehoda (exploze, požár, p	2	Střední	18	18	18	18	12	8	12	18	18	8	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
3.8	Averze k nehodám, dominoefekt	2	Střední	18	18	12	18	8	8	4	8	6	4	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

Poznámka k matici: Provedeno pro škály indexů pravděpodobnosti hrozby 0-3, hodnoty aktiv (0-3) a úroveň zranitelnosti aktiv (0-3), pro 3 výsledné úrovně rizika možných problémů (0-8 nízké riziko (zelená); 9-17 střední riziko (žlutá); 18-27 vysoké riziko (červená)).

Příklad matice hodnocení z makro pohledu více zaměřeného na technologická rizika je možno chápat jako více orientovaný bezpečnost, a to na základě uplatnění principu předběžné opatrnosti (při hodnocení na rozmezí byla vybrána vyšší hodnota).

4.4. Přehodnocení záměru

Tento krok slouží jako rozcestník, kde na základě reálných dat z předchozí analýzy rizik (krok 4) a dostupných zdrojů (krok 3) dochází k tvorbě rozhodnutí s následujícími potenciálními závěry pro projekt v oblasti H2Safety:

- Pokračování v přípravě záměru,
- Revizi záměru
- Odložení záměru,
- Ukončení záměru (ev. projektu).

Cílem tohoto kroku je odpověď na otázku, zdali alokace větších prostředků (pro kroky 6 a 7) je a bude opodstatněná pro rozvoj záměru do většího měřítko.

Účelem je zajistit realistickou proveditelnost projektu s ohledem na omezení zdrojů a přijatelnou úroveň rizika. Jedná se o první hodnocení dosavadního realizovaného řízení záměru, kde výsledky analýzy vedou k redefinici nebo potvrzení původních cílů. Tento krok je z hlediska dlouhodobé udržitelnosti záměru zcela kritický.

Dílčí kroky: rozhodovací proces a revize pro krok 5

Fáze	Popis činnosti	Klíčové vstupy	Klíčové výstupy
5.1. Srovnání rizik s cíli	Porovnání prioritizačního skóre rizik (z kroku 4.4) a požadavky z BIA (z kroku 4.2) s původními cíli H2Safety (z kroku 2.3). Zjistit, zda stávající zdroje jsou schopny redukovat úroveň rizik na přijatelnou úroveň.	Skóre rizik (indexová metoda), Cíle H2Safety (krok 2), Znalostní mezery (krok 3).	Zpráva (záznam) o shodě / neshodě záměru s přijatelným rizikem.
5.2. Analýza nedostatků ve zdrojích	Vyhodnocení, zda je alokace finančních, lidských a technologických zdrojů (včetně odbornosti) dostatečná. Nutno zahrnout zejména potřebu doplnění know-how z důvodu stárnutí personálu.	Výsledky CBA (krok 4.3), Plán rozvoje týmu (krok 3.3).	Přehled nedostatků a odhad nákladů na jejich překlenutí.
5.3. Návrh variant akce	Na základě závěrů z 5.1 a 5.2 navrhnout konkrétní rozhodnutí pro poradní skupinu:	Tři scénáře: - pokračovat beze změn, - pokračovat s revizí (rozsahu/rozpočtu/času), - zastavit / odložit záměr.	Doporučení investorovi projektu.
5.4. Schválení a revize cílů	Schválení vybrané varianty vedením (poradní skupinou). V případě volby „pokračovat s revizí“ dojde k formální	Rozhodnutí vedení.	Revidovaný kontext a cíle (aktualizace kroku).

Fáze	Popis činnosti	Klíčové vstupy	Klíčové výstupy
	úpravě rozsahu a cílů projektu (návrat ke Kroku 2).		Definitivní schválení rozpočtu pro podrobnou analýzu (krok 6).
5.5. Dlouhodobý horizont (udržitelnost)	Z hlediska dlouhodobého záměru je nezbytné realizovat potvrzení plánu pro udržování znalostí (mentoring, dokumentace, školení) a zařadit procesy do BCM.	Závěry z BIA (Krok 4).	Plán udržitelnosti znalostí a bezpečnosti v čase (prevence ztráty paměti).

Související česká legislativa a standardy:

Krok 5 metodiky je primárně zaměřen na výkon managementu a výkon v oblasti ekonomiky, přičemž je nezbytné respektovat principy řádného hospodáře a principy managementu rizik.

Legislativní předpis / standard	Oblast a relevance pro krok 5
Zákon č. 90/2012 Sb., Zákon o obchodních korporacích	Povinnost jednat s péčí řádného hospodáře. Rozhodnutí o alokaci významných finančních prostředků na projekt v oblasti H2Safety (na základě CBA a BIA z kroku 4) musí být řádně zdokumentováno a odůvodněno.
ČSN ISO 31000:2019 (Management rizik)	Vyžaduje hodnocení přijatelnosti rizika a integraci výsledků do rozhodovacího procesu. Krok 5 formalizuje toto rozhodnutí.
Zákon č. 224/2015 Sb. (Prevence havárií)	Pokud by došlo k rozhodnutí o nezačínání projektu nebo výraznému omezení bezpečnostních opatření, pak takové rozhodnutí musí být v souladu se zákonnými požadavky pro řízení rizik závažné havárie.
Interní finanční a investiční směrnice	Pravidla pro kapitálové investice (CAPEX) a schvalovací procesy. Výstupy z CBA (krok 4) se musí shodovat s firemními standardy pro finanční řízení projektů.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).

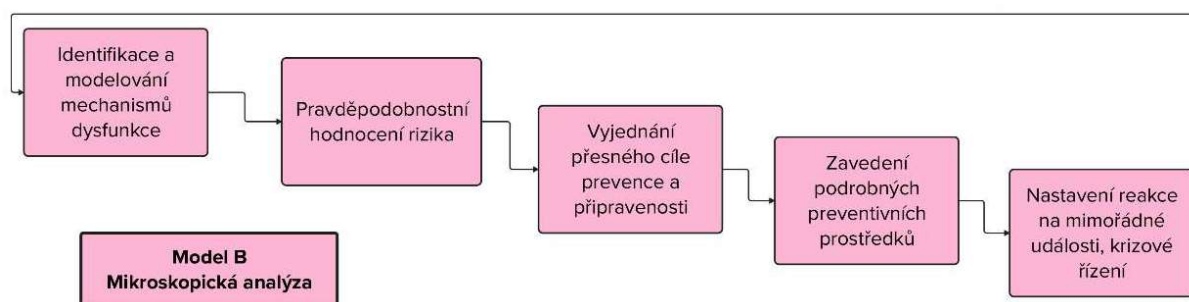
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
------------------	---

Doporučení pro krok 5: Je naprosto klíčové, aby bylo rozhodnutí transparentní pro celý tým. Dojde-li k revizi cílů (např. snížení rozsahu z důvodu nedostatku odborníků), je nutné tuto skutečnost jasně komunikovat v rámci Komunikačního plánu (Krok 3.4). Cílem široce provedené komunikace je snaha zabránit zklamání nebo nevhodným očekáváním v realizační fázi.

Jestliže převažuje spíše negativní hodnocení či velký počet rizik je hodnocen jako „vysoké riziko“ (výstup z předchozího kroku 4), pak je možné rozhodnout o zastavení a ukončení záměru (viz krok 11) či je možné rozhodnout o návratu do kroku 2 a předefinovat kontext a cíle záměru. Následně bude možné realizovat skrze navazující kroky (krok 3 a dále) rozvoj modifikovaného či nového záměru.

4.5. Podrobnější analýza rizik (MOSAR, techniky posuzování rizik)

Tento krok představuje přechod od makroskopického k mikroskopickému pohledu na rizika. Zahrnuje hlubší technickou analýzu a ověření klíčových nejistot prostřednictvím malé pilotní studie. Cílem je potvrdit (nebo vyvrátit) technickou proveditelnost projektu a získat data, která by snížila největší projektová a bezpečnostní rizika identifikovaná v kroku 4.



Obrázek 11 Vysvětlení jednotlivých kroků metodiky MOSAR pro modul B (mikroskopická analýza) v návaznosti na dříve provedený modul A.

Za účelem realizace tohoto kroku je doporučována aplikace některé z vhodných metod/technik zmíněných níže:

- Aplikace upraveného postupu MOSAR, modul B (mikroskopický přístup k analýze problému či záměru).
- Posuzování rizik, zejm. část hodnocení rizik (z pohledu safety).
- Realizace pilotní studie, a to existuje-li zájem v dalším rozvoji záměru.
- Posouzení vhodnosti investice finančních prostředků ve větším objemu.
- Repetitivní komunikace rizik a příležitostí se zainteresovanými stranami.
- Realizace návrhu a výběru opatření.

Účelem realizace tohoto korku je prohloubení úrovně pochopení principu rizik, realizace návrhu konkrétních opatření a získání prvotních dat o reálné implementaci (namísto spoléhání se pouze na teoretické odhady). Výstup z tohoto kroku je nezbytný pro zadání detailního inženýrského návrhu v kroku 7.

Dílčí kroky: Detailní analýza, pilot a návrh opatření

Fáze	Popis činnosti	Doporučená metoda	Klíčové výstupy
6.1. Mikroskopická (detailní, kvantitativní) analýza systémů	Hlubší analýza systémových prvků H ₂ (např. skladovací nádoba, kompresor, potrubí, senzory). Analyzovat, jak vzájemné interakce a poruchy komponent vedou k ohrožení.	MOSAR, Modul B (Mikroskopický přístup k analýze subsystémů). Šablona matice RISKAN s podrobnějším členěním zranitelných aktiv.	Identifikace kritických subsystémů, které vyžadují technický detail v kroku 7 (HAZOP/FMEA).
6.2. Hodnocení rizik a identifikace odchylek od požadovaného bezpečného stavu	Detailní vyhodnocení technických bezpečnostních rizik (únik, požár, výbuch H ₂ , koroze) a porovnání s požadovanou úrovní bezpečnosti (z krok 2.4).	Checklisty BOZP/normy, analýza odchylek (Gap Analysis).	Seznam zjištěných bezpečnostních mezer (GAPs) a rizika vyžadující ošetření (např. nedostatek certifikovaných senzorů, špatná ventilace).
6.3. Návrh a spuštění pilotní studie	Navrhnout malý, kontrolovatelný experiment (např. ověření spolehlivosti nového typu H ₂ senzoru v reálném prostředí, test nového materiálu). Pilotní studie se zaměřuje na největší nejistoty z Kroku 4 (indexová metoda).	Pilotní projekt, design	Zpráva z pilotní studie a validovaná data (např. statistika spolehlivosti H ₂ senzorů).
6.4. Opakovaná komunikace rizik a příležitostí	Představit výsledky analýz (MOSAR B, podrobnější mikro matice SW RISKAN) a dat z pilotní studie klíčovým stakeholderům a poradní skupině. Přehodnotit názory externích expertů.	Komunikační plán (aktualizace)	Konsolidovaný seznam rizik a akceptace navrhovaných opatření a návrh dalších fází projektu.
6.5. Návrh a výběr opatření	Navrhnout konkrétní technická, organizační a administrativní opatření, která sníží rizika na přijatelnou úroveň	Rozhodovací matice pro výběr opatření (Multikriteriální analýza)	Seznam vybraných opatření a jejich zařazení do rozpočtu pro Kroky 7 a 8.

Fáze	Popis činnosti	Doporučená metoda	Klíčové výstupy
	(hierarchie: eliminace, substituce, inženýrská opatření, administrativní opatření, OOPP).		

Krok 6 vyžaduje aplikaci specifických technických norem a metodik, které tvoří základ pro formální inženýrský návrh – viz následující tabulka.

Související česká legislativa a normy pro technickou analýzu:

Legislativní předpis / Norma	Oblast a relevance pro krok 6
ČSN 31010:2020	Klíčový zdroj pro MOSAR! Popisuje techniky posuzování rizik, včetně metod pro komplexní systémovou analýzu (i když MOSAR není přímo zmíněn, spadá do kategorie systematických metod).
ČSN EN ISO 13849	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části řídicích systémů (důležité pro návrh funkční bezpečnosti, např. automatické uzavírání ventilů při detekci H ₂).
ČSN EN 60079 Řada (ATEX normy)	Požadavky na navrhování elektrických instalací a zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu (Ex zóny). Kritické pro výběr, umístění a ověření senzorů H ₂ (Krok 6.3).
Zákon č. 224/2015 Sb. (Prevence havárií)	Vyhodnocení GAPs musí být v souladu s požadavky tohoto zákona. Jakékoli zjištěné riziko, které by mohlo vést k závažné havárii, musí být detailně analyzováno a řešeno v Kroku 7.
ČSN EN 17124	Vodík – Měřicí zařízení pro výdejní stojany (důležité pro kontext, pokud se projekt týká plnění vozidel).
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
ISO 14687:2025	Hydrogen fuel quality — Product specification: Přehled požadavků na čistotu/přípustné nečistoty pro různé aplikace (např. PEM v silničních vozidlech).
ISO 21087:2019	Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel: Validace/volba analytických metod pro měření nečistot dle ISO 14687; zejména pro PEM vozidla.
ISO 19880-9:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 9: Sampling for fuel quality analysis: Vzorkování pro analýzu kvality paliva.

Legislativní předpis / Norma	Oblast a relevance pro krok 6
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).
ISO 19880-5:2025	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies: Hadice a hadicové sestavy výdejníků.
ISO 17268-1:2025	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices, Part 1: Flow capacities up to and including 120 g/s) Bezpečnostní, konstrukční a provozní požadavky na plnicí konektory (70 MPa apod.). Aktualizovaná část 1 pro „land vehicles“.
ISO 19881:2025	Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers: Požadavky na tlakové nádoby H ₂ pro vozidla (materiál, návrh, výroba, zkoušení).
ISO 19882:2025	Gaseous hydrogen — Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers: Bezpečnostní zařízení PRD pro nádoby dle ISO 19881.
ISO 19887-1:2024	Gaseous hydrogen — Fuel system components for hydrogen-fuelled vehicles — Part 1: Land vehicles: Výkonové/bezpečnostní požadavky na ventily, injektory, aj. komponenty palivového systému.
ISO 22734-1:2025	Hydrogen generators using water electrolysis — Part 1: Safety: Bezpečnostní požadavky pro elektrolyzéry (průmysl/komerce/rezidence).
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel-processing technologies — Part 1: Safety: Bezpečnost generátorů H ₂ ze zpracování paliv (reforming atd.).
ISO/TS 19883:2017	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification: Bezpečnost PSA/VPSA jednotek pro separaci/čištění H ₂ .
ISO 16111:2018	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride: Požadavky na přenosná MH zásobní zařízení (bezpečnostní limity, zkoušky).
ISO 22826:2021	Gas cylinders — Ball valves — Specification and testing: Obecná ventilová bezpečnost (použitelné i pro H ₂ systémy; důraz na zkoušky/odolnost).
ISO 13984:1999	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface: Rozhraní plnění LH ₂ (návrh/instalace plnicího systému). Probíhá modernizace (FDIS).
ISO/DIS 13985	Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks: Nahrazuje původně platnou ISO 13985:2006 (probíhá oficiální schvalování)

Legislativní předpis / Norma	Oblast a relevance pro krok 6
	Konstrukční požadavky a zkoušky nádrží LH ₂ pro vozidla.

Doporučení pro krok 6: Využití znalostí starších nebo zkušenějších odborníků/kolegů (krok 3) při implementaci MOSAR Modulu B. Právě starší či zkušenější odborníci/kolegové jsou nositeli potřebného know-how a jsou schopni adekvátně reagovat či vyhodnotit, kde podobný systém či projekt / pilot selhával v minulosti a kde docházelo k provozním zkratům, které by v rámci teoretické analýzy nemusely být odhaleny. Jako vhodné doporučení lze také zmínit kladení důrazu na příčinu a následek selhání lidského faktoru.

Níže je v tabulce uveden příklad mikroskopické analýzy možných rizik, souvisejících s provozem zařízení v oblasti H2Safety. V rámci příkladu byla využita úroveň podrobnějších seznamů aktiv (oproti makropřístupu v kroku 4 výše), dále seznam hrozeb, přičemž kombinaci těchto kritérií (vyjádřeno jako dopad hrozeb na aktiva) byly přiřazeny číselné hodnoty a doplněn slovní popis.

Šablona pro opakovanou analýzu je přiložena formou elektronické přílohy k metodice, a to ve formátu XLSM.

V přílohách jsou rovněž k dispozici před tipované seznamy aktiv a hrozeb (PDF, DOCX).

Dle základního přístupu snižování a ošetřování rizik je možno doporučit jejich snižování primárně v oblasti vysokého, případně středního rizika, přičemž cílem je minimalizace rizika až do úrovně nízkého rizika.

Příklad mikroskopické analýzy na podrobněji specifikovaných případech zranitelných aktiv s pomocí přístupu MOSAR a matice RISKAN (T-Soft):

				Aktiva		AKTIVA - CELKEM INFRASTRUKTURA A T... Výroba vodíku Elektrolyzéry (PEM, AEL) Zdroje a přenos, popříp... Demineralizační jednotk... Systémy rekuperace a d... Technologie zachycová... Navazující systémy vyu... Skladování a transport v... Vysokotlaké zásobníky Kompresory a ventily, lo... Vodíkovody (produktov... Geologické struktury pro... Skladování vodíku v hyd...																
				Hodnoty aktiv		3	3	3	3	3	2	1	2	1	3	3	3	3	2	2		
Generátor grafůExport do XML						Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Střední	Nízká	Střední	Nízká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední		
Hrozby				Pravděpodobnost																		
HROZBY - CELKEM				3	Vysoká	27	27	27	27	27	18	6	12	6	27	27	27	18	18	18		
1	Subsystém ŽP (environment)	2	Střední	12	12	12	6	12	8	2	4	2	12	12	12	12	8	4				
1.1	Znečištění životního prostředí	1	Nízká	4	4	3	3	3	2	1	2	1	4	0	0	0	4	0				
1.2	Prohlubování klimatické krize	2	Střední	8	8	8	6	6	8	2	4	2	8	6	6	6	8	0				
1.3	Nedostatek dostupných primárních	1	Nízká	9	9	6	6	6	4	1	2	1	3	3	3	3	2	0				
1.4	Přírodní katastrofy a události	2	Střední	12	12	12	6	12	4	2	4	2	12	12	12	12	8	4				
1.5	Vnější DOMINO efekt (havárie)	1	Nízká	9	9	6	6	6	4	1	2	1	9	9	9	6	2	2				
1.6	?(Nedostatečné ekosystémové služ	1	Nízká	6	6	6	6	3	4	1	2	1	6	0	0	0	2	2				
2	Společenský subsystém	3	Vysoká	18	18	18	18	12	8	4	8	4	18	18	18	18	12	12				
2.1	Desinformace, misinformace	2	Střední	6	6	2	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0				
2.2	Nedostatečná legislativa, normy, př	2	Střední	12	12	6	6	6	4	2	4	2	12	6	6	6	8	4				
2.3	Nedostatečná technická podpora	3	Vysoká	18	18	18	18	9	6	3	6	3	18	18	18	18	12	12				
2.4	Nedostatečné finanční prostředky	1	Nízká	3	3	3	3	3	2	1	2	1	3	3	3	3	2	2				
2.5	Odpor k H2 ekonomice	1	Nízká	6	6	6	3	6	2	1	2	1	4	3	3	3	2	4				
2.6	Útok (fyzický či hybridní)	2	Střední	18	18	18	18	12	8	4	8	4	18	18	18	12	12	8				
3	Technický subsystém	3	Vysoká	27	27	27	27	27	18	6	12	6	27	27	27	18	18	18				
3.1	Pomalý technologický vývoj	3	Vysoká	9	9	9	9	9	6	3	6	3	9	9	9	9	6	6				
3.2	Zastavení nebo zpomalení H2 ekon	3	Vysoká	18	18	18	18	18	6	3	6	3	18	9	9	18	6	6				
3.3	Ztráta důvěry v H2	3	Vysoká	9	9	9	9	9	6	3	6	3	9	9	9	9	6	6				
3.4	Příliš drahá energie (energ. krize)	3	Vysoká	27	27	27	27	27	12	6	12	6	27	18	27	18	6	18				
3.5	Nedostupná energie (energ. krize)	3	Vysoká	27	27	27	27	27	12	3	6	6	27	18	27	18	6	6				
3.6	Incident, nehoda (exploze, požár, p	3	Vysoká	27	27	27	27	27	18	6	12	6	27	27	27	18	18	12				
3.8	Averze k nehodám, dominoefekt	2	Střední	18	18	18	18	18	8	4	8	2	18	12	18	12	4	4				

Poznámka k matici: Provedeno pro škály indexů pravděpodobnosti hrozby 0-3, hodnoty aktiv (0-3) a úrovně zranitelnosti aktiv (0-3), pro 3 výsledné úrovně rizika možných problémů (0-8 nízké riziko (zelená); 9-17 střední riziko (žlutá); 18-27 vysoké riziko (červená)).

Příklad matice výše je možno chápat jako více orientovaný na zohlednění safety rizik pro lokální aplikaci v rámci H2Safety.

4.6. Formalizace pilotního projektu na využití H₂

Tento krok souvisí s vrcholem technické formalizace a nejvyšší úrovní podrobnosti analýzy rizik. V rámci tohoto kroku metodiky dochází k transformaci schváleného záměru a navržených opatření (Krok 6) do formálního inženýrského návrhu. Jedná se o fázi, kdy dochází k provádění nejprůběžnější systematické analýzy technologických rizik na úrovni jednotlivých komponent a procesních uzlů za účelem zajištění adekvátní úrovně funkční bezpečnosti.

Hlavním účelem tohoto kroku je zejména:

- Formalizace technického řešení pilotního projektu (tištěná dokumentace, PID).
- Zajištění realizovatelného technického návrhu z pohledu bezpečnosti, proveditelnosti a jeho souladu se všemi souvisejícími normami a legislativou.
- Aplikace pokročilých analytických metod (HAZOP, FMEA) k identifikaci a zmírnění všech potenciálních provozních a technologických rizik plynoucích ze zacházení s H₂.

Dílčí kroky: Detailní inženýring a rigorózní analýza rizik

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
7.1. Návrh až finalizace projektové dokumentace (zadání)	Vytvoření detailní inženýrské dokumentace pilotního projektu. Zaměření na PID (potrubní a instrumentační schémata), layouty zón ATEX a technické specifikace klíčových komponent (ventily, senzory, kompresory H ₂).	AutoCAD (PID), specifikace zařízení, podklady pro HAZOP.	Schválená projektová dokumentace pro pilotní projekt.
7.2. Konzultace technických a bezpečnostních variant	Projednání detailních technických řešení (např. volba materiálu, umístění pojistných zařízení, bezpečnostní logiky) s interním H ₂ týmem (krok 3) a externími, nezávislými auditory.	Multi-kriteriální hodnocení variant s ohledem na bezpečnost a náklady.	Definitivní volba technologie a řešení
7.3. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)	Klíčový krok. Systematické prozkoumání každého procesního uzlu (nody) v PID pomocí vodících slov (k identifikaci potenciálních odchylek a jejich příčin/následků).	Metoda HAZOP (Hazard and Operability Study) dle ČSN EN 31010. Případně podobné metody (FMEA, ...)	Protokol HAZOP s identifikovanými riziky a návrhy na doporučená opatření.

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
7.4. Analýza FMEA	Analýza rizik vyplývajících ze selhání jednotlivých komponent (např. čerpadlo, ventil, řídicí systém). Cílem je zjistit dopad selhání na celkovou bezpečnost a provozuschopnost systému.	Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) dle ČSN EN 31010.	Matice FMEA s kritičností selhání a návrhy na preventivní údržbu nebo redundantní řešení.
7.5. Specifikace funkční bezpečnosti (SIL/PL)	Na základě HAZOP a FMEA definovat, jakou úroveň spolehlivosti musí mít bezpečnostní instrumentované systémy (SIS), které řídí kritická H ₂ rizika (např. nouzové vypnutí při úniku H ₂).	ČSN EN 61508 / ČSN EN 61511 (SIL/PL)	Požadavky na SIL (Safety Integrity Level) pro bezpečnostní smyčky.

Krok 7 je hluboce svázán s normami pro inženýrský návrh a požadavky na bezpečnost technických zařízení – viz následující přehled.

Související česká legislativa a normy pro inženýring a rizika:

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 7
ČSN EN 31010:2020	Základní referenční norma – Techniky posuzování rizik. HAZOP a FMEA jsou přímo popsány jako klíčové analytické metody pro technologická rizika.
Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií	HAZOP je vhodnou metodou pro doplnění Bezpečnostního programu či zprávy před haváriemi pro provozovny Seveso, do kterých by H ₂ infrastruktura mohla spadat.
Nařízení vlády č. 219/2016 Sb. (Tlaková zařízení)	Návrh PID a technická specifikace zařízení pod tlakem (nádoby, potrubí) musí být v souladu s požadavky této legislativy.
ČSN EN 61511 (Funkční bezpečnost)	Aplikace bezpečnostních smyček (SIS) navržených jako řešení zjištěných rizik z HAZOP, s cílem dosáhnout požadovaného SIL (Safety Integrity Level).
ČSN EN 60079 Řada (ATEX normy)	Stanovuje požadavky na elektrická zařízení a klasifikaci zón (Ex zóny) na základě očekávaných úniků H ₂ . Tato klasifikace se promítá přímo do P&ID a layoutů.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 7
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
ISO 14687:2025	Hydrogen fuel quality — Product specification: Přehled požadavků na čistotu/přípustné nečistoty pro různé aplikace (např. PEM v silničních vozidlech).
ISO 21087:2019	Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel: Validace/volba analytických metod pro měření nečistot dle ISO 14687; zejména pro PEM vozidla.
ISO 19880-9:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 9: Sampling for fuel quality analysis: Vzorkování pro analýzu kvality paliva.
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).
ISO 19880-5:2025	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies: Hadice a hadicové sestavy výdejníků.
ISO 17268-1:2025	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices, Part 1: Flow capacities up to and including 120 g/s) Bezpečnostní, konstrukční a provozní požadavky na plnicí konektory (70 MPa apod.). Aktualizovaná část 1 pro „land vehicles“.
ISO 19881:2025	Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers: Požadavky na tlakové nádoby H ₂ pro vozidla (materiál, návrh, výroba, zkoušení).
ISO 19882:2025	Gaseous hydrogen — Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers: Bezpečnostní zařízení PRD pro nádoby dle ISO 19881.
ISO 19887-1:2024	Gaseous hydrogen — Fuel system components for hydrogen-fuelled vehicles — Part 1: Land vehicles: Výkonové/bezpečnostní požadavky na ventily, injektory, aj. komponenty palivového systému.
ISO 22734-1:2025	Hydrogen generators using water electrolysis — Part 1: Safety: Bezpečnostní požadavky pro elektrolyzéry (průmysl/komerce/rezidence).
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel-processing technologies — Part 1: Safety:

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 7
	Bezpečnost generátorů H ₂ ze zpracování paliv (reforming atd.).
ISO/TS 19883:2017	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification: Bezpečnost PSA/VPŠA jednotek pro separaci/čištění H ₂ .
ISO 16111:2018	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride: Požadavky na přenosná MH zásobní zařízení (bezpečnostní limity, zkoušky).
ISO 22826:2021	Gas cylinders — Ball valves — Specification and testing: Obecná ventilová bezpečnost (použitelné i pro H ₂ systémy; důraz na zkoušky/odolnost).
ISO 13984:1999	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface: Rozhraní plnění LH ₂ (návrh/instalace plnicího systému). Probíhá modernizace (FDIS).
ISO/DIS 13985	Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks: Nahrazuje původně platnou ISO 13985:2006 (probíhá oficiální schvalování) Konstrukční požadavky a zkoušky nádrží LH ₂ pro vozidla.

4.7. Realizační fáze pilotního projektu

Tento krok je zaměřen na transformaci schválené dokumentace (krok 7) v dokumentaci reálnou, dále na zařízení funkčního charakteru, případně přechod od pilotní studie / pilotního projektu na zařízení či provoz s vyšší kapacitou. Klíčovým prvkem tohoto kroku je přísné řízení změn, kontrola kvality v průběhu výstavby a neustálý management zdrojů a bezpečnosti práce s ohledem na specifika H₂ (ATEX, tlaková zařízení).

Účelem tohoto kroku je bezpečně a v rámci rozpočtu a časového plánu vybudovat pilotní projekt H₂Safety. Tento krok musí být striktně naplňován v souladu s veškerými požadavky stanovenými jako výstupy z provedených analýz rizik (HAZOP/FMEA) a v souladu s předmětnou legislativou.

Dílčí kroky: Realizace, kontrola a management

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
8.1. Zajištění financí a contracting	Uvolnění schváleného rozpočtu (z kroku 5), zajištění dodavatelů a subdodavatelů na základě výběrových řízení a uzavření smluv.	Management finančních zdrojů, management smluv.	Podepsané Smlouvy o dílo, s dodavateli a subdodavateli.
8.2. Řízení lidských zdrojů a odbornosti	Zajištění kvalifikace! Ověření, že veškerý personál (interní i externí) má potřebnou kvalifikaci pro práci v	Kontrola Osvědčení o odborné způsobilosti a Školení BOZP (včetně H ₂ rizik).	Seznam kvalifikovaného personálu s platnými certifikáty.

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
	prostředí s H ₂ (např. svářeči pro vysokotlaké potrubí, montáž ATEX zařízení). Pokračování mentoringu (Krok 3).		
8.3. Management bezpečnosti staveniště	Implementace speciálních bezpečnostních opatření pro staveniště, kde se pracuje s H ₂ technologiemi (např. omezení otevřeného ohně v blízkosti H ₂ technologií, specifické postupy pro tlakové zkoušky).	Plán BOZP pro staveniště (PBOZP), audit BOZP na staveništi.	Záznamy z bezpečnostních kontrol staveniště.
8.4. Řízení změn v návrhu	Klíčové pro bezpečnost. Každá odchylka od schválených PID a HAZOP opatření musí projít formálním procesem řízení změn (MoC). Změny nesmí zhoršit předem vyhodnocené riziko.	Formuláře MoC, aktualizace PID.	Protokoly o schválených/zamítnutých změnách.
8.5. Kontrola kvality a revize	Průběžná kontrola shody prováděných prací s technickou dokumentací a normami (např. kontrola svarů, instalace ATEX zařízení, tlakové zkoušky potrubí).	Třetí stranou prováděné inspekce a revize (viz legislativa níže).	Revizní zprávy a Zkušební protokoly (např. Tlakové zkoušky H ₂ potrubí).

Realizace je nejpřísněji kontrolovaná fáze z hlediska technické a bezpečnostní legislativy.

Vybraná související česká legislativa a normy pro realizační fázi:

Legislativní předpis / Norma	Oblast a relevance pro krok 8
Zákon č. 183/2006 Sb., Stavební zákon	Základní rámec pro provádění staveb (pilotní projekt může podléhat stavebnímu povolení/ohlášení), včetně povinností stavebníka a dozoru.
Zákon č. 250/2021 Sb., o vyhrazených technických zařízeních a související	Kritické. Během montáže a po dokončení vyhrazených technických zařízení (tlaková zařízení na H ₂) jsou

Legislativní předpis / Norma	Oblast a relevance pro krok 8
nařízení vlády pro tlaková a plynová zařízení.	nezbytné výchozí revize a kontroly oprávněnými subjekty.
Nařízení vlády č. 101/2005 Sb.	Ukládá povinnost dodržovat bezpečnostní požadavky na pracoviště (včetně stavenišť) a zajistit, aby instalace odpovídaly bezpečnostním normám.
ČSN EN 60079-14 (ATEX instalace)	Stanovuje konkrétní požadavky na výběr, montáž a revize elektrických zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu. Přísné dodržování je klíčové pro bezpečnost H ₂ .
ČSN EN 13445 (Tlakové nádoby)	Požadavky na výrobu a zkoušení netopených tlakových nádob (skladovací tanky H ₂). Kontrola shody během realizace je nezbytná.
Zákon č. 262/2006 Sb., (Zákoník práce)	Požadavek na koordinátora BOZP na staveništi a zajištění řádného školení a ochranných pracovních prostředků pro všechny pracovníky.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
Ev. další normy související s H ₂ , a to pro konkrétní aplikaci (viz také přehled v kroku 6. Podrobnější analýza)	

Doporučení pro krok 8: Je nezbytné vytvořit přísnou politiku nulové tolerance pro změny MoC bez předchozího schválení. U zařízení nakládajících s H₂ může mít i malá změna materiálu nebo pozice ventilu katastrofální dopad. Zásadním doporučením je využití interního specialisty na ATEX / tlaková zařízení (z kroku 3) jako součást hlavního technického dozoru stavby, který bude zajišťovat soulad s výstupy z posouzení rizik (MOSAR výstupy, HAZOP protokoly a další).

4.8. Testování, monitoring dílčích výstupů aplikace

Tento krok slouží k ověření, že postavený systém (krok 8) odpovídá bezpečnému návrhu (krok 7) a že bezpečnostní opatření skutečně fungují také v reálném provozu. Cílem je získat provozní data a prokázat shodu před plným nasazením.

Účelem tohoto kroku je validovat funkční bezpečnost a snížit nejistotu spojenou s provozními daty. Zahrnuje postupné navyšování provozu (od menších aplikací k větším) a opakované použití některé z analytických metod (MOSAR / HAZOP / FMEA apod.) na základě zkušeností z provozu a naměřených dat.

Realizací výše uvedeného dochází k zabránění přenosu skrytých vad až do fáze plného provozu.

Dílčí kroky: Ověřování, postupné nasazení a revize rizik

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
9.1. Spouštění technologie a realizace zkoušek	Přísně kontrolované spouštění zařízení, včetně tlakových zkoušek, zkoušek těsnosti (zejména kritické pro H ₂) a ověření funkční bezpečnosti	Zkušební protokoly, Ověření funkčnosti SIS (Safety Instrumented System).	Zpráva o uvedení do provozu a osvědčení o těsnosti H ₂ systému.
9.2. Monitoring a shromažďování dat	Dlouhodobý sběr dat o klíčových bezpečnostních a provozních parametrech (např. koncentrace H ₂ z čidel, četnost alarmů, provozní teplota a tlak, spolehlivost H ₂ senzorů).	Systémy pro správu alarmů, Systém pro sběr dat (maintenance logs, apod.).	Základní soubor provozních a bezpečnostních dat (např. spolehlivost čidel H ₂).
9.3. Postup od menších k větším aplikacím	Aplikace v pilotním projektu se navyšuje postupně (např. z 10 % kapacity na 50 %, poté na plný výkon). Každá úroveň je schválena po úspěšném monitorovacím období.	Postupné nasazení, po každém zvýšení kapacity.	Schválení každé etapy pro navýšení kapacity.
9.4. Opakovaná analýza technologických a procesních rizik	Opakování analýz MOSAR, HAZOP, FMEA nebo jiných (s externí firmou),	MOSAR, Re-HAZOP nebo HAZOP Review (na	Aktualizovaný protokol MOSAR / HAZOP / FMEA s ověřenými riziky a

	kde se jako vstupy použijí reálná data z provozu (Krok 9.2) a zjištěné provozní problémy.	základě provozních zkušeností).	revidovanými opatřeními.
9.5. Opakované přehodnocení vstupních rizik	Návrat k makroskopickým metodám z Kroku 4 za účelem ověření, zda u původních projektových a finančních rizik nedošlo ke změně. Např. zda je očekávána návratnost investice (CBA) dle původních odhadů.	Opakovaná indexová metoda, opakovaná CBA	Aktualizovaná CBA či matice vstupních rizik (RISKAN matice).

Fáze testování a uvádění do provozu je přísně regulována, zejména pokud se jedná o tlaková zařízení a prostředí s nebezpečím výbuchu – základ viz následující přehled.

Související česká legislativa a normy pro testování a monitoring:

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 9
Zákon č. 250/2021 Sb., o vyhrazených technických zařízeních	Klíčové pro H ₂ . Vyžaduje výchozí revizi před uvedením do provozu a následné pravidelné provozní revize tlakových, plynových a elektrických zařízení.
Zákon č. 224/2015 Sb. (prevence závažných havárií)	Zkoušky a testy bezpečnostních systémů (zejména detekčních a vypínacích) jsou kritickou součástí prevence závažných havárií. Funkčnost musí být prokazatelně ověřena a dokumentována.
ČSN EN 61511 (funkční bezpečnost)	Požaduje testování bezpečnostních instrumentovaných systémů (SIS) a prokazování shody se SIL (Safety Integrity Level) v reálném provozu.
Nařízení vlády č. 406/2017 Sb. (ATEX)	Požaduje ověření, že elektrická a neelektrická zařízení v Ex zónách (kde je H ₂) byla správně nainstalována (Krok 8) a že monitorovací systémy (H ₂ čidla) fungují správně.
Zákon č. 262/2006 Sb., (zákoník práce)	Požadavek na řádné školení obsluhy pilotního zařízení před jeho spuštěním, se zaměřením na specifická H ₂ rizika zjištěná v MOSAR/HAZOP/FMEA.
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 9
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
ISO 14687:2025	Hydrogen fuel quality — Product specification: Přehled požadavků na čistotu/přípustné nečistoty pro různé aplikace (např. PEM v silničních vozidlech).
ISO 21087:2019	Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel: Validace/volba analytických metod pro měření nečistot dle ISO 14687; zejména pro PEM vozidla.
ISO 19880-9:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 9: Sampling for fuel quality analysis: Vzorkování pro analýzu kvality paliva.
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).
ISO 19880-5:2025	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies: Hadice a hadicové sestavy výdejníků.
ISO 17268-1:2025	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices, Part 1: Flow capacities up to and including 120 g/s) Bezpečnostní, konstrukční a provozní požadavky na plnicí konektory (70 MPa apod.). Aktualizovaná část 1 pro „land vehicles“.
ISO 19881:2025	Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers: Požadavky na tlakové nádoby H ₂ pro vozidla (materiál, návrh, výroba, zkoušení).
ISO 19882:2025	Gaseous hydrogen — Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers: Bezpečnostní zařízení PRD pro nádoby dle ISO 19881.
ISO 19887-1:2024	Gaseous hydrogen — Fuel system components for hydrogen-fuelled vehicles — Part 1: Land vehicles: Výkonové/bezpečnostní požadavky na ventily, injektory, aj. komponenty palivového systému.
ISO 22734-1:2025	Hydrogen generators using water electrolysis — Part 1: Safety: Bezpečnostní požadavky pro elektrolyzéry (průmysl/komerce/rezidence).
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel-processing technologies — Part 1: Safety: Bezpečnost generátorů H ₂ ze zpracování paliv (reforming atd.).
ISO/TS 19883:2017	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification: Bezpečnost PSA/VPSA jednotek pro separaci/čištění H ₂ .

Legislativní předpis / norma	Oblast a relevance pro krok 9
ISO 16111:2018	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride: Požadavky na přenosná MH zásobní zařízení (bezpečnostní limity, zkoušky).
ISO 22826:2021	Gas cylinders — Ball valves — Specification and testing: Obecná ventilová bezpečnost (použitelné i pro H ₂ systémy; důraz na zkoušky/odolnost).
ISO 13984:1999	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface: Rozhraní plnění LH ₂ (návrh/instalace plnicího systému). Probíhá modernizace (FDIS).
ISO/DIS 13985	Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks: Nahrazuje původně platnou ISO 13985:2006 (probíhá oficiální schvalování) Konstrukční požadavky a zkoušky nádrží LH ₂ pro vozidla.

Doporučení pro krok 9: V rámci kroku 9.4 se jako vhodné v praxi osvědčuje využití externího poradenství pro provedení opakovaného MOSARu, HAZOPu, FMEA či jiné dříve aplikované metody pro posouzení rizik.

Nezávislý pohled na provozní data a zkušenosti pomůže odhalit rizika, na která je interní tým po delší době provozu již "adaptován" (tzv. normalizace deviace). Výsledky jsou klíčovým vstupem pro dlouhodobé vyhodnocení (krok 10) prováděné například 1x ročně nebo s delší periodou.

4.9. Vyhodnocení získaných dat z aplikace záměru

Jedná se prakticky o fázi vyhodnocení a získávání zpětné vazby. Tento krok slouží k tvorbě formalizované reflexe nad daty, zkušenostmi a bezpečnostními výsledky pilotního provozu, to vše za účelem kvantifikace přínosů a určení směru dalšího rozvoje projektu či záměru v oblasti H2Safety.

Účelem je snaha o kvantifikaci skutečného dopadu bezpečnostního záměru, dále snaha o ověření/vyvrácení platnosti původních předpokladů (krok 2 a 4) a získání cenných poznatků (lessons learned). Roční cyklus opakování může zajistit pravidelnou revizi a je kritickou součástí pro proces neustálého zlepšování a prevenci provozní slepoty v oblasti bezpečnosti.

Dílčí kroky: Měření, analýza a příprava na cyklus opakovaného vyhodnocování

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
10.1. Sběr a konsolidace ročních dat	Shromáždění a analýza dat z celého roku provozu (krok 9). Zahrnout technická, bezpečnostní, finanční a provozní data.	Provozní protokoly. Záznamy alarmů H ₂ , Záznamy o incidentech / skoro nehodách.	Souhrnná roční datová báze pro H2Safety.

Krok	Popis činnosti	Klíčové metody a nástroje	Klíčové výstupy
		Náklady na údržbu/provoz SIS.	
10.2. Vyhodnocení výkonnosti (KPIs)	Porovnání skutečných výsledků s původně stanovenými kritérii úspěchu (Key Performance Indicators - KPIs) z kroku 2.4. Realizace hodnocení, zda bylo dosaženo snížení rizika na přijatelnou úroveň.	Kvantifikace rizika (např. četnost úniků H ₂ /rok vs. cílová hodnota), úspory nákladů (z titulu prevence incidentů – CBA).	Skórování výkonnosti (KPI Dashboard) a kvantifikace dosaženého snížení rizika.
10.3. Analýza "Lessons learned" (poučení)	Systematická analýza provozních incidentů a úspěchů. Klíčové pro prevenci ztráty historické paměti o incidentech. Dokumentovat, co fungovalo, co selhalo a proč. Zahrnout zpětnou vazbu od odcházejících/zkušených pracovníků (mentoring).	Analýza kořenových příčin (RCA - Root Cause Analysis) pro kritické události, aktualizované znalostní báze.	Zpráva "Lessons learned" a Návrh na revizi SOPs.
10.4. Dopady na udržení personální odbornosti	Vyhodnotit efektivitu programů předávání znalostí (mentoring) a identifikovat, zda noví pracovníci na kritických pozicích disponují potřebným know-how v oblasti bezpečnosti H ₂ .	Hodnocení kompetencí, audit dokumentace (SOPs).	Zpráva o stavu odbornosti, revize plánu nástupnictví (předání pozic, funkcí).
10.5. Podklady pro rozhodování	Příprava závěrů a doporučení pro vedení (krok 11). Identifikace, které části projektu je nutné opakovaně analyzovat nebo škálovat (rozšířit pilotní projektu).	Zpráva o stavu záměru. Finanční analýza udržitelnosti (BCM).	Doporučení pro další fázi

Roční vyhodnocení je často vyžadováno legislativou i normami, zejména v oblastech průmyslu a na provozech, kde hrozí závažné průmyslové havárie (tzv. SEVESO havárie).

Související česká legislativa a firemní standardy pro vyhodnocení:

Legislativní předpis / standard	Oblast a relevance pro krok 10
Zákon č. 224/2015 Sb. (Prevence havárií)	Klíčové. Provozovatel s H ₂ v limitech Seveso má povinnost pravidelně přezkoumávat a aktualizovat Bezpečnostní dokumentaci (typicky v ročních intervalech, dále pak co 5 let nebo po každé významné změně v provozu). Také podléhá státní pravidelné inspekci z krajského úřadu, ČIŽP, hygieny, IBP, ...

Legislativní předpis / standard	Oblast a relevance pro krok 10
Zákon č. 262/2006 Sb. (Zákoník práce)	Povinnost zaměstnavatele pravidelně prověřovat a vyhodnocovat úroveň BOZP na pracovišti (audit). Krok 10.2 a 10.3 výše mohou přispět ke splnění tohoto požadavku.
ČSN EN ISO 9001 : 2016 (Management jakosti)	Vyžaduje přezkoumání systému managementu vedením v plánovaných intervalech. Krok 10 je přezkoumáním výkonnosti a účinnosti managementu v oblasti H2Safety.
ČSN EN ISO 31 000 (Management rizik)	Požaduje monitorování a přezkoumání rizik, kontrol a výsledků. Krok 10 formalizuje roční přezkoumání.
Interní BCM Standardy	Business Continuity Management (BCM) vyžaduje pravidelné vyhodnocení, zda navržená opatření pro H ₂ infrastrukturu skutečně minimalizují dopad potenciálního výpadku.
ISO 22 301	Systémy řízení kontinuity činností (Business Continuity Management Systems)
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
Ev. další normy související s H ₂ , a to pro konkrétní aplikaci (viz přehled v části Podrobnější analýza)	

Doporučení pro krok 10: Výstup z tohoto kroku by měl být klíčový pro nastavení rozpočtu na udržitelnost a rozvoj pro následující rok / či roky. Zvláštní pozornost je nezbytné věnovat analýze "skoro nehod" (near misses). Právě tzv. skoro-nehody představují nejcennější data pro prevenci budoucích katastrof a mají vysoký potenciál odhalit skryté chyby v systému (včetně lidského faktoru a ztráty historické či provozní paměti).

Výstupy z kroku 10 jsou dále cenné pro rozhodování v následujícím kroku 11.

4.10. Rozhodnutí o pokračování či zastavení záměru v oblasti H2Safety

Závěrečný krok metodiky H2Safety je kritický pro zajištění stavu, kdy je projekt reálně udržitelnou součástí firemní praxe, nikoliv jen jednorázovou aktivitou.

Tento krok je finální rozhodovací fáze a zároveň formalizací dlouhodobého cyklu. Vrcholový management na základě výsledků ročního vyhodnocení (krok 10) přijímá strategické rozhodnutí a zajišťuje, že veškeré bezpečnostní know-how a postupy jsou integrovány do procesů kontinuity podnikání (BCM).

Účelem je strategické rozhodnutí o budoucnosti projektu a zajištění, že bezpečnostní opatření a znalosti H₂ budou trvale udržovány, financovány a aktualizovány jako součást standardních provozních procesů. Realizací výše uvedeného tak dochází zabránění návratu k původnímu (rizikovému) stavu.

Dílčí kroky: Strategické rozhodnutí a integrace do procesu BCM

Krok	Popis činnosti	Klíčové vstupy a nástroje	Klíčové výstupy
11.1. Finální rozhodnutí vedení	Poradní skupina (vedení / sponzor) projedná Zprávu o stavu záměru (Krok 10.5) a vydá formální Rozhodnutí o budoucí fázi.	Scorecard KPIs (krok 10), aktuální finanční analýza, zpráva o stavu odbornosti.	Oficiální rozhodnutí: A) Škálovat a pokračovat (plný provoz), B) Revidovat (návrat na Krok 2 nebo na Krok 5) nebo C) Zastavit/Omezit.
11.2. Integrace do procesů BCM	Pokud projekt bude pokračovat dále, pak veškeré nově získané standardní operační postupy (SOP) a nouzové postupy pro nakládání s H ₂ , musí být formálně integrovány do Plánu kontinuity podnikání (BCP) a Plánu obnovy po katastrofě (DRP).	Business Impact Analýza (BIA) (Krok 4), Protokoly o nouzových postupech.	Aktualizovaný BCP a DRP zahrnující H ₂ rizika.
11.3. Plán udržitelnosti a financování	Vytvoření dlouhodobého plánu pro zajištění stálého financování (OPEX) revizí zařízení (VTZ), údržby SIS (podle SIL/PL) a pravidelného školení (včetně rotace a mentoringu).	Plán údržby SIS, Plán periodických revizí VTZ.	Dlouhodobý plán financování udržitelnosti (přesahující roční rozpočet).

Krok	Popis činnosti	Klíčové vstupy a nástroje	Klíčové výstupy
11.4. Kodifikace znalostí a standardizace (možno i/nebo v Kroku 12)	Formalizace získaných "Lessons learned" (Krok 10.3) do interních firemních standardů a odborných kvalifikačních programů. Tím se zajišťuje, že H ₂ know-how přežije odchod zkušených odborníků.	Zpráva "Lessons learned", Firemní směrnice (případný návrh).	Aktualizované standardy řízení rizik, programy předávání znalostí.
11.5. Spuštění nového cyklu	Pokud je rozhodnutí A) nebo B), spustí se nový cyklus řízení.	Dle potřeby návrat do Kroku 2 nebo do Kroku 5 pro revizi cílů nebo záměru.	Mandát pro nový projektový cyklus (zlepšení/rozšíření).

Závěrečný krok je spojen s povinností zajištění dlouhodobé stability a bezpečnosti provozu.

Související česká legislativa a firemní standardy pro udržitelnost:

Legislativní předpis / Standard	Oblast a relevance pro krok 11
Zákon č. 250/2021 Sb., o vyhrazených technických zařízeních	Zastavení projektu by znamenalo likvidaci VTZ, pokračování vyžaduje trvalé plnění povinností pravidelných revizí (preventivní údržba, která musí být financována OPEX).
Zákon č. 224/2015 Sb. (Prevence havárií)	Může být pro provozovatele zákonná povinnost. Zajištění trvalé shody Bezpečnostního programu či zprávy s literou zákona, pravidelná aktualizace v případě změn a zajištění trvalé kvalifikace obsluhy.
ISO 22301 (Business Continuity Management)	Hlavní norma pro BCM. Vyžaduje integraci plánů obnovy (včetně H ₂ incidentů) a zajištění odolnosti klíčových procesů.
ISO 22313	Security and Resilience – Business Continuity Management systems: Postup implementace ISO 22301
ISO/TS 22317	Security and Resilience – Business Continuity Management systems: Návod na provádění Business Impact Analýzy
ISO 22320	Security and Resilience – Business Continuity Management systems: Návod pro incident management
ISO 28000	Security and Resilience – Security Management System: Požadavky
ČSN ISO 10006 (Management jakosti projektů)	Požadavek na uzavření projektu a zajištění přenosu získaných poznatků do organizace. Krok 11 formalizuje toto uzavření/integraci.
Interní Governance Standardy	Pravidla pro delegování pravomocí a rozhodování o investicích.

Legislativní předpis / Standard	Oblast a relevance pro krok 11
ISO/TS 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems: Úvodní rámec bezpečnosti k vlastnostem H ₂ a obecné rovině rizik (plynný i kapalný vodík). Nově vydaná technická specifikace, která nahrazuje starší technickou zprávu.
ISO/TC 197	Hydrogen technologies: katalog norem - Základní přehled publikovaných i rozpracovaných norem v oboru (rozcestník technické komise).
ISO 19880-8:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control: Přehled postupů a protokolů řízení kvality plynového H ₂ na distribučních místech/čerpacích stanicích.
ISO 14687:2025	Hydrogen fuel quality — Product specification: Přehled požadavků na čistotu/přípustné nečistoty pro různé aplikace (např. PEM v silničních vozidlech).
ISO 21087:2019	Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel: Validace/volba analytických metod pro měření nečistot dle ISO 14687; zejména pro PEM vozidla.
ISO 19880-9:2024	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 9: Sampling for fuel quality analysis: Vzorkování pro analýzu kvality paliva.
ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen — Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles, Part 1: Design and development process for fuelling protocols: Minimální požadavky na návrh, instalaci, uvádění do provozu, provoz, inspekci a údržbu H ₂ stanic (bezpečnost a zčásti i výkon).
ISO 19880-5:2025	Gaseous hydrogen — Fuelling stations, Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies: Hadice a hadicové sestavy výdejníků.
ISO 17268-1:2025	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices, Part 1: Flow capacities up to and including 120 g/s) Bezpečnostní, konstrukční a provozní požadavky na plnicí konektory (70 MPa apod.). Aktualizovaná část 1 pro „land vehicles“.
ISO 19881:2025	Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers: Požadavky na tlakové nádoby H ₂ pro vozidla (materiál, návrh, výroba, zkoušení).
ISO 19882:2025	Gaseous hydrogen — Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers: Bezpečnostní zařízení PRD pro nádoby dle ISO 19881.
ISO 19887-1:2024	Gaseous hydrogen — Fuel system components for hydrogen-fuelled vehicles — Part 1: Land vehicles:

Legislativní předpis / Standard	Oblast a relevance pro krok 11
	Výkonové/bezpečnostní požadavky na ventily, injektory, aj. komponenty palivového systému.
ISO 22734-1:2025	Hydrogen generators using water electrolysis — Part 1: Safety: Bezpečnostní požadavky pro elektrolyzéry (průmysl/komerce/rezidence).
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel-processing technologies — Part 1: Safety: Bezpečnost generátorů H ₂ ze zpracování paliv (reforming atd.).
ISO/TS 19883:2017	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification: Bezpečnost PSA/VPSA jednotek pro separaci/čištění H ₂ .
ISO 16111:2018	Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride: Požadavky na přenosná MH zásobní zařízení (bezpečnostní limity, zkoušky).
ISO 22826:2021	Gas cylinders — Ball valves — Specification and testing: Obecná ventilová bezpečnost (použitelné i pro H ₂ systémy; důraz na zkoušky/odolnost).
ISO 13984:1999	Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface: Rozhraní plnění LH ₂ (návrh/instalace plnicího systému). Probíhá modernizace (FDIS).
ISO/DIS 13985	Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks: Nahrazuje původně platnou ISO 13985:2006 (probíhá oficiální schvalování) Konstrukční požadavky a zkoušky nádrží LH ₂ pro vozidla.

Doporučení pro Krok 11: Zajištění dlouhodobého financování OPEX pro údržbu a revize H₂ safety systémů je důležitější než finální CAPEX. Bez plánu udržitelnosti znalostí (mentoring, dokumentace, školení) se ztráta paměti společnosti stane největším rizikem, které znehodnotí investici do bezpečnosti během několika let.

V případě zjištění závažnějších problémů na realizované či provozované H₂ technologii je na základě výstupů z předchozích kroků 9 a 10 také možný následující postup:

- Je možný návrat do kroku 2 (stanovení a popis kontextu a cílů záměru);
- Je možný návrat do kroku 5 (přehodnocení záměru);

A začít řešit předmětný projekt/záměr znovu a jiným způsobem.

4.11. Standardizace, sdílení nových znalostí a cyklické přezkoumání provozované technologie či nově realizovaného záměru

Tento závěrečný krok má za úkol uchovat veškeré cenné znalosti získané během celého procesu, formalizovat je a zajistit jejich aplikaci a pravidelné přezkoumání do budoucna.

Dílčí kroky:

12.1 Standardizace provozních bezpečnostních postupů

Vytvoření a schválení standardních operačních postupů (SOP), bezpečných postupů a souvisejících směrnic, které jsou specifické pro vodíkové technologie (H₂ výroba, skladování, distribuce a užití, atd.), a to na základě výsledků pilotního projektu (Kroky 8–10).

Cílem dílčího kroku je zajistit, aby úspěšné bezpečnostní přístupy a mitigační opatření ověřené v pilotu byly standardně uplatňovány i v budoucích či rozsáhlejších projektech.

12.2. Šíření znalostí a vzdělávání

Transfer znalostí a výsledků analýzy rizik (Kroky 4 a 6) v oblasti H2Safety směrem k dalším klíčovým subjektům v MSK:

- **Provozovatelé:** Pravidelné a povinné školení personálu, techniků, údržby.
- **Veřejná správa a IZS:** Seznámení Hasičského záchranného sboru, Krajského úřadu a Městských úřadů se specifickými riziky vodíku a postupy v případě havárie.
- **Akademická sféra:** Integrace získaných poznatků do regionálního výzkumu a výuky pro budování místního know-how.

Cílem dílčího kroku je zvyšování celkové bezpečnostní kultury a připravenosti regionu na rozšířené využití vodíku.

12.3. Cyklické přezkoumání a aktualizace metodiky

Formalizace procesu pravidelného ročního přezkoumání celé metodiky H2Safety (Kroky 1–11) a výsledných bezpečnostních standardů (12.1.).

Tento dílčí krok by měl zahrnovat:

- Kontrolu platnosti analýzy rizik (změna technologií, legislativy);
- Aktualizaci SOP;
- Hodnocení efektivnosti zavedených mitigačních opatření na základě skutečných incidentů nebo nových poznatků.

Cílem by pak mělo být zajištění dynamického a trvalého zlepšování bezpečnosti ve shodě s PDCA cyklem, aby metodika zůstala relevantní a efektivní i s rychlým rozvojem vodíkových technologií.

Tímto je uzavřen kompletní cyklus metodiky H2Safety. Všechny kroky jsou nyní připraveny k testování a aplikaci.

5. Prevence a připravenost

Identifikace a analýza rizik je pouze prvním, i když rozhodujícím krokem v procesu řízení rizik, po němž by mělo následovat jejich vyhodnocení, stanovení priorit a kontrola. Tyto procesy zahrnují také výzvy, z nichž některé jsou specifické pro bezpečnost v kontextu vodíkového hospodářství. Metodika MOSAR umožňuje aplikovat výsledky analýzy rizik na proces prevence a připravenosti, případně využít moduly A i B.

Prevence a připravenost jsou formálně oddělené, ale ve skutečnosti vzájemně provázané procesy, kdy první z nich má za cíl zabránit výskytu nežádoucí události (z hlediska analýzy top události), zatímco druhý předpokládá, že událost již nastala, a zabraňuje jejímu dalšímu rozvoji a zmírňuje její negativní dopady. Hranici mezi nimi tedy určuje to, co považujeme za vrcholovou událost, což je v analýze do jisté míry věcí volby. Příkladem může být ztráta integrity vodíkového zařízení a následný požár. Jednou z alternativ je, že jako vrcholná událost, kterou se zabývá prevence, může být zvolen masivní únik vodíku, a připravenost tak zahrnuje opatření k prevenci požáru (větrání, nepřítomnost iniciačních zdrojů) a hašení požáru, nebo může být jako vrcholná událost zvolen samotný požár, větrání a nepřítomnost iniciačních zdrojů jsou zahrnuty do prevence a chápání připravenosti se omezuje na zásah při požáru [8].

Modul A má spíše preventivní zásady a obecně strategičtější povahu, zatímco modul B má větší prostor pro uplatnění konkrétních opatření a zdrojů připravenosti, včetně havarijních plánů a krizového řízení.

Na základě modelu toku nebezpečí MADS existují čtyři základní prostředky prevence a připravenosti:

- Omezení počáteční události, tj. spuštění,
- Snížení rozsahu nebo intenzity nebezpečí v (pod)systému, které je přítomno nebo může být iniciováno,
- Umístění bariér v toku nebezpečí nebo scénářů transformace,
- Zvýšení odolnosti zasaženého zranitelného systému - snížení zranitelnosti.

Výzvy v oblasti vodíkového hospodářství a jeho bezpečnosti jsou do značné míry způsobeny jeho komplexností (viz. Obrázek 5), která zahrnuje také otázky prevence a připravenosti. Propojení tří zásadně odlišných subsystémů, technického, sociálního a environmentálního, a velký počet pozitivních a negativních zpětných vazeb vyžadují současné použití nástrojů z mnoha vědních oborů a jejich synergické využití, jak je typické pro budování odolnosti.

6. Rizika změn ve vnímání hodnot ve společnosti

Zpracovaná metodika s moduly A a B metodologie MOSAR řeší detailní analýzu vybraných částí systému s využitím různých technik. Jedná se tedy o „mikroskopickou“ analýzu, a to jak ve smyslu slova zaměření se na jednotlivé detaily a jejich vazby, tak z hlediska hloubky a detailnosti analýzy. To vede k tomu, že analýzy tohoto typu mohou být více zaměřeny na technologický subsystém, jeho tvorbu a funkci, a to primárně z operačního hlediska. Jedná se tedy o analýzy **systematické**, tedy týkající se postupu, který je uspořádaný, metodický, důsledný a promyšlený a jde o způsob práce, který zdůrazňuje metodu, plán, pořádek. To mimo jiné implikuje využívání lineární logiky.

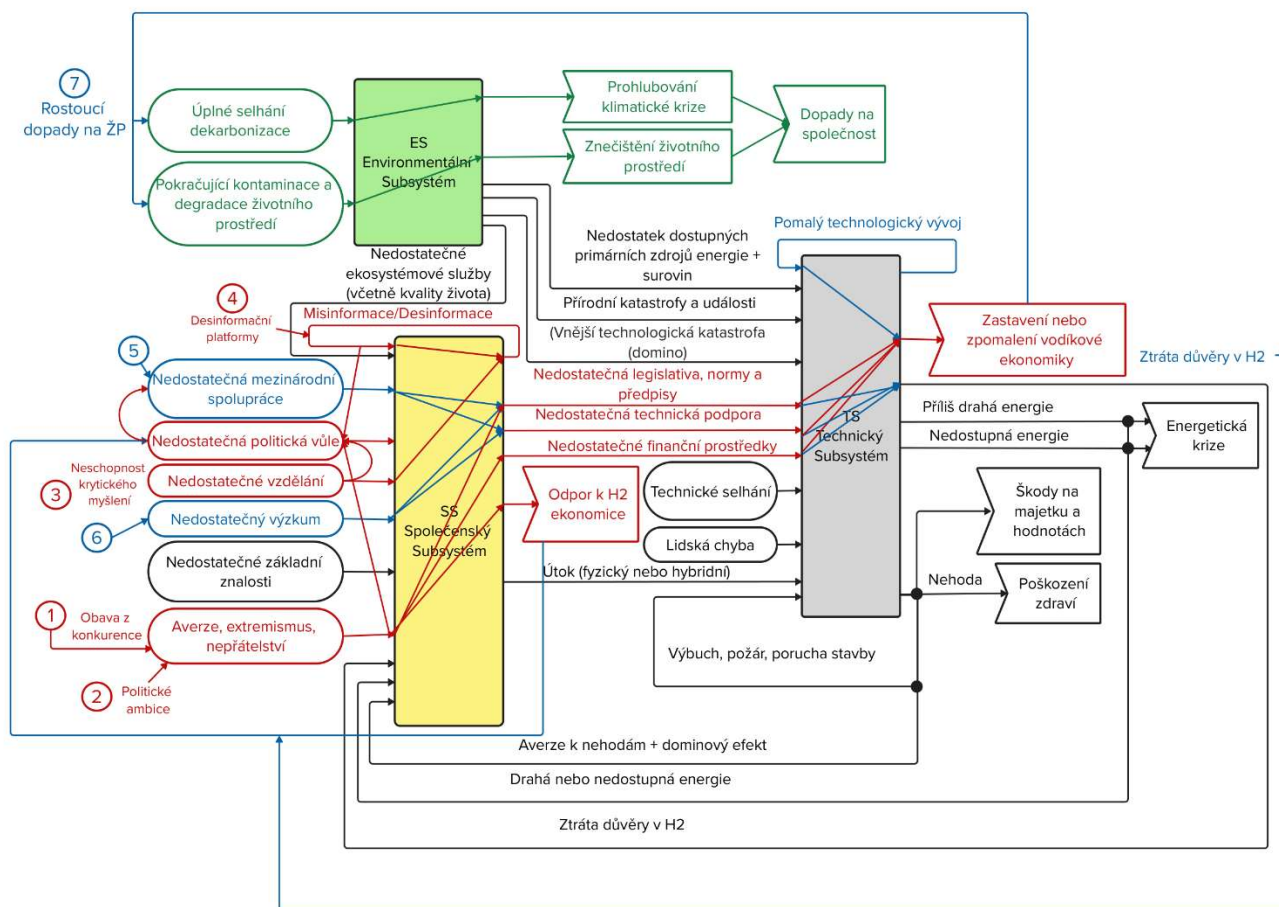
Při hodnocení rizik proveditelnosti a udržitelnosti ekonomického projektu se však setkáváme také s potřebou strategicky analyzovat **komplexní** interakce mezi jednotlivými částmi systému, v našem případě tedy mezi technickým, environmentálním a společenským subsystémem, a to včetně externích vlivů. To vytváří potřebu analýzy, která je **systémová**, tedy týkající se systému jako celku – jeho struktury, fungování, pravidel nebo vztahů mezi částmi. Je tedy potřeba analyzovat něco, co vyplývá z povahy systému, je svojí podstatou hlubší, zabudované, propojené, zahrnující působení v celém systému. Systémový přístup se používá u problémů, změn, řešení, přístupů. Jedním z klíčových prvků je **komplexita**. Ta obvykle a zvláště pak ve společenském kontextu znamená „velmi složitý“ v důsledku velkého množství vzájemně propojených prvků, mnoha vrstev a zpětných vazeb, které nelze jednoduše redukovat na jednu příčinu nebo jednoduché řešení. To vede mimo jiné k tomu, že při systémové analýze se paralelně objevuje větší počet svojí podstatou rozdílných rizik. V managementu rizik (např. podle standardů jako je ISO 31000) se rizika neřídí izolovaně, ale vyvažují se, mluvíme o tzv. **Risk Trade-Off**. Například, pokud chceme minimalizovat riziko selhání produktu tím, že přidáme více testů, může to zvýšit riziko zpoždění projektu (časové riziko) nebo vyšších nákladů (finanční riziko). Tady nastává situace, kdy se musí rozhodnout, které riziko je přijatelnější nebo jak je vzájemně optimalizovat. Může však nastat a často i nastává z analytického hlediska komplikovaná situace, kdy rozhodování není prováděno na základě objektivních veličin, ale na základě subjektivní přijatelnosti (akceptabilit) jednotlivých rizik a jejich porovnání. Lze dokonce dokázat, že většina rozhodnutí o rizicích je více či méně podmíněna právě přijatelností rizik; ilustrativním příkladem může být strach z létání bez ohledu na objektivně vyšší bezpečnost letecké dopravy ve srovnání např. s automobilovou. Jinak řečeno, vnímání rizika (tedy hodnota, která je mu přiřazena konkrétním hodnotitelem v konkrétní situaci) je významnější pro rozhodovací proces více než objektivní velikost rizika. To souvisí i s nejistotou jakožto inherentní vlastností rizika, podle ISO 31000 je riziko definováno jako „dopad nejistoty na naše cíle“.

U komplexních systémů tedy rozhodovací proces závisí na vnímání rizik, tedy na subjektivním postoji k nim, který je rozdílný u různých lidí a skupin a který se navíc může vyvíjet (měnit) v čase. To pak může vést, zvláště u komplexních a dynamických systémů, k zásadním změnám v podmínkách těchto systémů a tedy i k výslednému rozhodování. Proto je potřebné vývoj vnímání hodnot a příčin jejich změn sledovat a včas a vhodně na něj reagovat. Pro tento typ je vhodnější **makroskopický** přístup, tedy v metodologii MOSAR modul A.

6.1. Změny ve vnímání hodnot ve vodíkové energetice

Shodou okolností v průběhu projektu došlo ve společenském kontextu k posunu ve vnímání hodnot, což vytvořilo příležitost tuto situaci analyzovat. Zde je na místě upozornit, že původní východiska pro prosazování vodíkových technologií vycházela, v konečném důsledku, také z porovnání rizik, respektive jejich hodnot pro společnost, a zohledňovala princip předběžné opatrnosti, tedy prevenci prohloubení klimatické změny i na úkor zvýšení nákladů a potřeby významných změn technologií. V posledních letech však došlo ke změnám na politické scéně i ve vnímání společnosti, což vedlo k potřebě nastalou situaci analyzovat s ohledem na realizovatelnost a udržitelnost projektu. To vychází z celkového vývoje ve vodíkové energetice, a proto byl tento vývoj analyzován s tím, že jeho závěry budou aplikovány na doporučení k projektu vodíkové dopravy v MSK. V této kapitole je tedy provedena tato analýza modulem A metody MOSAR, popsané ve výstupech z minulého roku.

Celkové schéma provedené analýzy je zobrazeno na přiloženém obrázku, kde jsou také vyznačeny rozhodující vlivy (vstupy) a vztahy, které tyto vlivy vyvolávají. Při tvorbě analýzy byly upřednostňovány požadavky na srozumitelnost s potenciál ke strategickému rozhodování před požadavky na úplnost, která by vzhledem k velkému počtu a komplikovanosti vazeb včetně zpětných vazeb vedla k nepřehlednosti. Většina kroků analýzy je aplikovatelná nejen na vodíkovou energetiku, ale také na elektromobilitu.



Obrázek 10: Celkové schéma analýzy modulu A

Vlivy na změny hodnotových škál a jejich dopady jsou barevně odlišeny:

- Primární vlivy, tedy ty, které mají rozhodující vliv, jsou vyznačeny červeně, stejně tak jako jejich přenosy a dopady
- Doplnující vlivy jsou vyznačeny modrou barvou
- Konečné dopady jsou vyznačeny zeleně

6.1.1. Primární vlivy

Primární vlivy jsou v podstatě čtyři:

Vliv 1: Obava z konkurence, respektive ekonomické zájmy vázané na uhlíkovou ekonomiku. Za tímto vlivem stojí primárně průmyslová lobby uhlíkové ekonomiky, která v zavedeném systému má pevné místo na trhu, zaběhnuté procesy a postupy a dostupnou technologii v dostatečném množství. Potenciální posun k vodíkové energetice pro tuto skupinu vytváří konkurenční tlak až obavu, nutnost zásadních inovací a nezbytnost velkých investic. Jak ukazují historické příklady (např. smog, kyselá deště, poškození ozónové vrstvy, olovo v benzínu atd.), průmysl obecně má často tendenci zlehčovat význam rizik, která přináší svému okolí, a to i bez ohledu na znalosti těchto rizik nebo již existujících škod. Situace vychází z toho, že průmysl je „risk owner“ (vlastník rizika), tedy má z aktivit přinášející rizika zisk, ale malá rizika. Naproti tomu, společnost obecně je „risk bearer“ (nositel rizika), tedy má z rizika malý profit, ale dopadají na ni negativní vlivy. Jedná se tedy o nespravedlivý vztah, který by měl regulátor upravovat, obvykle legislativně.

Vlivová skupina 1 využívá jak svého vlivu na vlády (lobby), tak na společnost (informační/desinformační kampaně, aby zachovala svůj statut, najdeme ji tedy i za dalšími vlivy. V posledních letech její význam roste, viz např. politika USA po zvolení presidenta Trumpa nebo tlak na revizi Green Dealu v Evropě, včetně ČR.

Vliv 2: Politické ambice. Dekarbonizace, a tudíž i vodíkové technologie, jsou jedním z klíčových politických témat současného establishmentu řady zemí, hlavně v EU. To vytváří příležitost pro ty části politického spektra, které se chtějí zviditelnit odporem k současným převažujícím trendům, a to jak formou antisystémového přístupu, tak prostým vymezením „my jsme lepší než současná či minulá vláda“. Jedná se tak o zajímavou kombinaci silného konzervatismu a antisystémových přístupů, i když převážně bez přímé spolupráce. V podmínkách ČR může být příkladem „zrušení klimatické změny“. Popíráním současných priorit se tak příslušné části politického spektra může dostat pozornosti a podpory. Tato skupina se také může prolínat se skupinou 4 – desinformace.

Jak skupina vlivu 1, tak skupina vlivu 2 mají ve svých politikách averzi vůči vodíkové ekonomice jakožto reprezentaci dekarbonizace a tuto se snaží systematicky zpochybňovat.

Vlivy 3 + 4 Neschopnost kritického myšlení a Desinformace. Tyto vlivy do určité míry souvisí s současným posunem vnímání do tzv. doby post-faktické (post-truth era), což je označení pro společnost, kde objektivní fakta mají menší vliv na formování veřejného mínění než emoce a osobní přesvědčení, často posilované sociálními médii a dezinformacemi, což vede k rozhodování založenému na pocitech a apelu na iluzorní jistoty. Klíčové pro ni je, že

emocionální apel a víra v "alternativní fakta" převažují nad vědecky podloženými daty, a pravda se stává poddajnou ideologiím, což vede k polarizaci a ztrátě důvěry v tradiční autority.

Proto tyto vlivy jsou typické vítězství emocí nad rozumem (lidé se rozhodují a formují názory na základě pocitů, nikoli na základě ověřitelných faktů), dezinformace a konspirace (šíření nepravdivých nebo zavádějících informací, které se rychle šíří na internetu a sociálních sítích), klesající důvěra v média, vědu, politické instituce a snaha nahradit ověřená fakta jinými, často smyšlenými. K tomu vedou jak psychologické důvody (touha po zjednodušení světa, odpor k nepříjemným pravdám, úzkost z "unikajících informací"), ale i informační technologie samé. Sociální sítě vytvářejí informační bubliny, kde se utvrzujeme ve vlastních názorech, aniž bychom byli konfrontováni s protichůdnými argumenty.

Oba dva vlivy (3+4) primárně souvisejí s úrovní vzdělání, přesněji řečeno se vzděláním v jeho plnohodnotné podobě.

Přenosy primárních vlivů:

Primární vlivy se v první řadě ovlivňují mezi sebou a vzájemně posilují, vedou však v rámci společenského subsystému ke ztrátě motivace podporovat vodíkovou ekonomiku, a tím i vytvářet podmínky pro nedostatečnou politickou vůli prosazovat vodíkovou ekonomiku. Dopadem tak je i odpor k vodíkové ekonomice, který jako sekundární efekt také snižuje politickou vůli, a snížení úrovně mezinárodní spolupráce.

Do technického subsystému se primární vlivy přenáší, přes vznikající nedostatečnou podporu legislativy a finančních zdrojů, a také přes nízkou technickou podporu.

6.1.2. Sekundární vlivy

Klíčové sekundární vlivy mimo zpětných vazeb z primárních vlivů jsou tři:

Vliv 5 a 6: Nedostatečná mezinárodní spolupráce a Nedostatečný výzkum. Zdrojová příčina je v politikách, dochází zde ke synergii s vlivy 1 a 2. Vodíková energetika je náročná na technický rozvoj i legislativní podporu, a v obou z nich je mezinárodní spolupráce včetně dosahování kritického množství kapacit klíčová. Spojení obou vlivů, ale i každý zvlášť, oslabují technickou podporu a legislativní zázemí, tedy snižují motivaci investovat do vodíkových technologií a provozovat je. Dalším důsledkem je ztráta důvěry společnosti ve vodík, což se zpětnovazebně promítá do dalšího snížení politické vůle, mimo jiné kvůli populismu.

Mezi sekundární vlivy by bylo možné počítat i pomalý technologický vývoj jako zpětnou vazbu technologického subsystému, jak je naznačeno.

Vliv 7: Rostoucí dopady na životní prostředí. Zde se jedná jednak o přibrzdění až zastavení procesu dekarbonizace, jednak o pokračující degradaci složek životního prostředí – kontaminaci, odpady, ovzduší atd.

6.1.3. Konečné dopady

Konečné dopady jsou ty, které budou mít přímý a hlavní efekt na lidskou společnost. Vycházejí z rizika prohlubování klimatické změny a pokračující kontaminace a degradace životního

prostředí. Na tomto místě pak přichází „ke slovu“ princip Risk Trade-Off (vyvažování rizik) a manifestuje se hlavní analyzovaná změna v dynamice a v rozhodovacím procesu. V předchozích strategiích a návazných politikách a akčních plánech byla jako prioritní hodnota zvolena bezpečnost, dostupnost environmentálních služeb a kvalita života, a to aplikováním principu předběžné opatrnosti. Zásadu předběžné opatrnosti zmiňuje článek 191 Smlouvy o fungování Evropské unie. Zásada má zaručit vysokou úroveň ochrany životního prostředí díky preventivním rozhodnutím v případě nebezpečí. V praxi by však působnost zásady měla být mnohem větší a vztahuje se rovněž na spotřebitelskou politiku, na právní předpisy Evropské unie (EU) týkající se zdraví lidí, zvířat a rostlin. Podle [Evropské komise](#) se zásady předběžné opatrnosti lze dovolávat, jestliže určitý jev, produkt či postup může mít potenciálně nebezpečné účinky, zjištěné odborným a objektivním hodnocením, pokud takové hodnocení neumožňuje riziko stanovit s dostatečnou jistotou.

Využití zásady tak spadá do obecného rámce **analýzy rizik** (která kromě vyhodnocení rizik zahrnuje jejich řízení a oznamování), konkrétněji do rámce **řízení rizik**, které odpovídá rozhodovací fázi.

Dokument Komise zdůrazňuje, že zásady předběžné opatrnosti se lze dovolávat pouze v případě potenciálního rizika a že tato zásada nikdy nemůže být důvodem pro arbitrární rozhodnutí.

Zásada předběžné opatrnosti tedy může být využita, pokud jsou splněny **tři předběžné podmínky**:

- stanovení potenciálně nepříznivých účinků;
- vyhodnocení dostupných vědeckých údajů;
- rozsah vědecké nejistoty.

Ve většině případů evropští spotřebitelé a sdružení, která je zastupují, musí nebezpečí spojené s postupem či produktem uvedeným na trh prokázat, což vytváří podmínky pro manipulaci i desinformační kampaně. Platí ale, že v případě, že jsou učiněny kroky v rámci zásady předběžné opatrnosti, může být požadováno, aby výrobce prokázal absenci nebezpečí. Tuto možnost je třeba zvážit v každém případě zvlášť, velkým problémem pak jsou zavedené standardní technologie jako uhlíková energetika.

Co se ukazuje být klíčovým parametrem, je porovnání rizik vyplývajících z udržování uhlíkové energetiky (potlačení rozvoje vodíkové energetiky) a velikosti zisku klasických zdrojů energie. Zde nastává problém, že ekonomický zisk lze snadno monetarizovat, tedy přiřadit ekonomické parametry, kdežto rizika vyplývající z dopadů klimatické monetarizovat exaktně neumíme. Porovnání riziko klimatické změny versus riziko ztráty ekonomického zisku tedy může být učiněno pouze na základě hodnotových stupnic, nikoliv cenou. Jde tedy o cost/benefit a nikoliv cost/cost srovnání, což vytváří podmínky pro využití emotivních nástrojů souvisejících s akceptovatelností rizik. A z hlediska vnímání rizik, tak nám připadají menší ta, která jsou vzdálená v čase nebo prostoru, navíc vnímáme vážněji ta, která si umíme dobře představit. Dopady klimatické změny, neurčité v následcích a do jisté míry vzdálené, tak začaly být po nedávných politických změnách jak globálních tak národních, vnímány jako méně významné než v předchozím období, což se projevilo v odklonu od vodíku. Implikace, vyplývající z analýzy rizik na globální úrovni jsou plně aplikovatelné i na projekt vodíkového hospodářství v MSK.

7. Závěr

Komplexní bezpečnost (včetně bezpečnosti, zabezpečení a udržitelnosti) vodíkové energie přesahuje pouhý technologický pohled na klasickou procesní bezpečnost a vyžaduje zapojení širších vazeb, zejména mezi technologií a společností a technologií a životním prostředím. Tato komplexnost se promítá do metodických potřeb a požadavků na odborníky v této oblasti, a přináší tak nové výzvy související s přenosy nebezpečí mezi společenskými, technologickými a environmentálními systémy, transformací těchto nebezpečí a složitými a dynamickými zpětnými vazbami mezi nimi.

Z metodického hlediska se jako dobře použitelná ukazuje metodika MOSAR v kombinaci s klasickými nástroji procesní bezpečnosti (HAZOP, FTA, ETA, FMEA...), environmentálními vědami, znalostmi a vlivem společenských procesů. To přináší další výzvy související s porozuměním a přenosem znalostí mezi obory, rozvojem vědy o nebezpečí a vzdělávacím procesem.

Široká komplexnost bezpečnosti vodíkového hospodářství ilustruje situaci, v níž se nachází současná bezpečnostní věda, která poněkud připomíná krizi klasické fyziky na přelomu 19. a 20. století. Ukázalo se, že pouhá snaha získat, zpřesnit a zpracovat velké množství dat nemůže vést k vyřešení některých problémů (radioaktivita, záření černého tělesa, Michelsonův experiment) a že je nutná změna paradigmatu. Podobně pouhé prohloubení a doplnění současných metod analýzy a řízení rizik vyřeší mnoho problémů, ale některé, související s vysokou složitostí a citlivým systémem zpětných vazeb, budou vyžadovat nové přístupy. V těchto oblastech je pravděpodobné, že klasické lineární modelování rizikového procesu pomocí Booleovy algebry bude vyžadovat použití fuzzy logiky a že složité systémy v oblasti bezpečnosti se chovají spíše podle principů deterministického chaosu s velkými odezvami na malé podněty než mechanisticky. Komplexní bezpečnost vodíkového hospodářství tak může být jedním z iniciátorů změny paradigmatu v oblasti bezpečnosti a zabezpečení.

Díky spolupráci s Moravskoslezským krajem a Moravskoslezským vodíkovým klastrem bude tato metodika aplikována v České republice v rámci rozvoje vodíkového hospodářství vodíkového údolí v Moravskoslezském kraji.

8. Reference

1. G. Kakoulaki, I. Kougias, N. Taylor, F. Dolci, J. Moya, A. Jäger-Waldau, Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables, Energy Conversion and Management, Volume 228, 2021, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113649>.
2. BOULOIZ, Hafida, TKIOUAT, Mohamed, GALLAB, Maryam, Towards a model for developing an information system as a decision support to risk assessment, January 2017, International Journal of Industrial and Systems Engineering 25(1):110, DOI:10.1504/IJISE.2017.10000686
3. Ahmed M. Elberry, Jagruti Thakur, Annukka Santasalo-Aarnio, Martti Larmi, Large-scale compressed hydrogen storage as part of renewable electricity storage systems, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 29, 2021, Pages 15671-15690, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.02.080>.
4. Benachenhrou, K. A., Verdel, T., Allal, M. A., & Lakermi, A. (2016). Management of geotechnical risks of road projects using Mads-Mosar method. *International Journal of Engineering & Technology*, 5(2), 38-46. <https://doi.org/10.14419/ijet.v5i2.5727>

5. THIVEL, P.-X., BULTER, Y., DELPECH, F. Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods, *Journal of Hazardous Materials* 151 (2008) 221–231
6. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in the UN Sustainable Development Cooperation Framework, <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-08/Integrating-DRR-CCA-in-CFs-web.pdf>
7. PERRIN, Laurent, MUÑOZ-FIRALDO, Felipe, DUFAUD, Olivier, LAURENT André, Normative barriers improvement through the MADS/MOSAR methodology, 2012, *Safety Science* 50 (2012) 1502–1512, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.02.002>
8. J. Tixier, G. Dusserre, O. Salvi, D. Gaston, Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants, *J. Loss Prev.* 15 (2002) 291–303.10
9. Wenxiu Feng, Carlos Ruiz, Risk management of energy communities with hydrogen production and storage technologies, *Applied Energy*, Volume 348, 2023, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121494>.
10. P. P'érilhon, Analyse des risques, 'el'ements m'ethodiques, Phoebus, la revue de la s'uret'e de fonctionnement, l'analyse de risques, 12 (2000) 31–49.11
11. A Bain, Wm.D.Van Vorst, The Hindenburg tragedy revisited: the fatal flaw found, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 24, Issue 5, 1999 Pages 399-403, ISSN 0360-3199, [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(98\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(98)00176-1).
12. Matteo Genovese, Viviana Cigolotti, Elio Jannelli, Petronilla Fragiaco, Current standards and configurations for the permitting and operation of hydrogen refueling stations, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 48, Issue 51, 2023, Pages 19357-19371, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.324>.
13. Zarei, Esmaeil & Mohammadfam, Ira. (2015). Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework. *International Journal of Hydrogen Energy*. 40. 10.1016/j.ijhydene.2015.07.117.
14. Yudong Shen, Yaqi Lou, Congjing Ren, Xiaodong Hong, Zuwei Liao, Jingdai Wang, Yongrong Yang, Risk management for hydrogen networks across refineries, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 47, Issue 2, 2022, Pages 848-861, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.071>.

Název:	Metodika komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR
Autor:	prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc. Ing. Jan Koloničný, Ph.D. Ing. Pavel Dobeš, Ph.D.
Pracoviště:	Centrum energetických a environmentálních technologií Výzkumné energetické centrum
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2025, 1. vydání
Počet stran:	58
Vydala:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Neprodejné	

Tato metodika obsahuje popis komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR. Za obsah této knihy jsou odpovědní autoři. Informace zde uvedené nejsou oficiálním stanoviskem orgánů Evropské unie. Poskytovatel dotace, Technologická agentura České republiky, není odpovědný za obsah tohoto sdělení.

ISBN 978-80-248-4850-1 (on-line)

DOI 10.31490/9788024848501