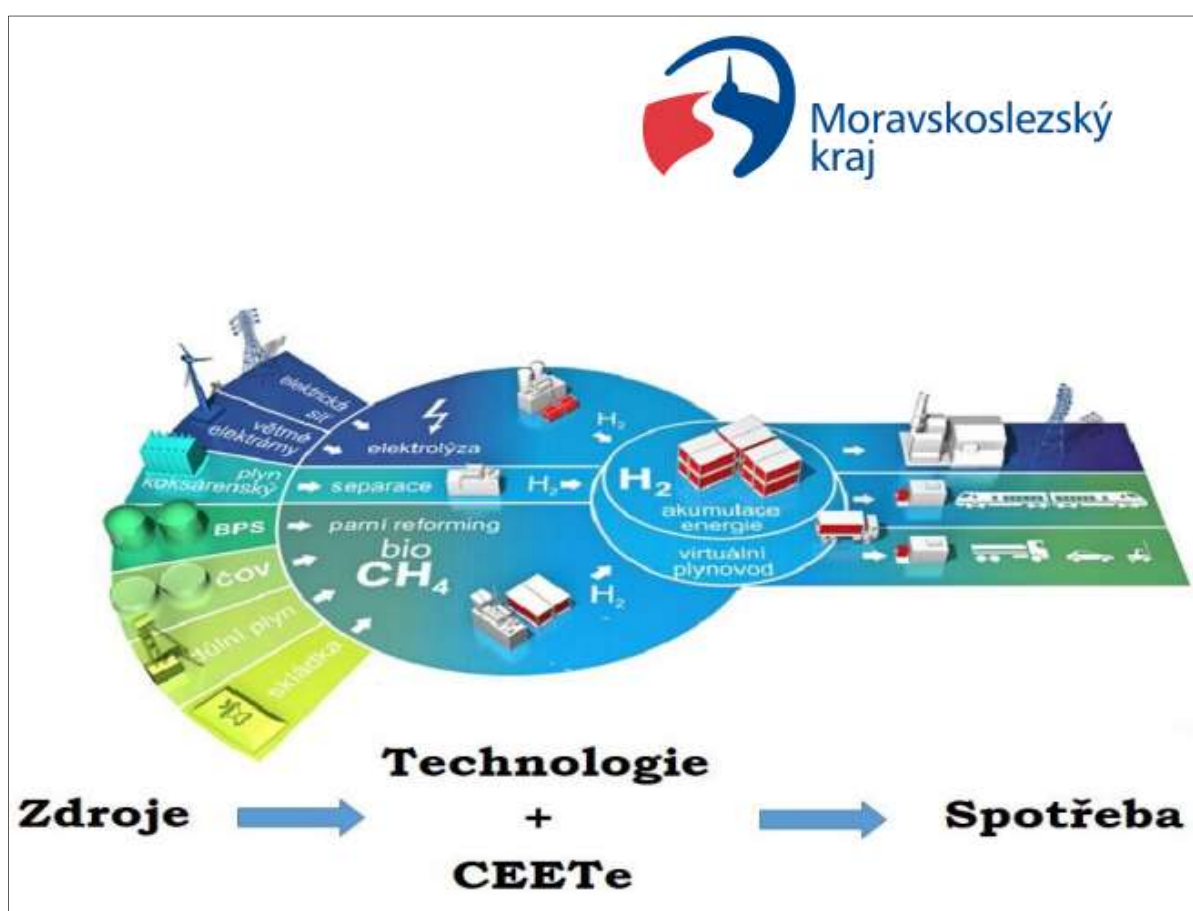


Komplexní případová studie č. 2

Výroba zeleného vodíku pro místní aplikace v Moravskoslezském kraji



Zdroj ilustračního obrázku: Vodíková strategie ČR – Přehled vodíkových projektů, 16.07.2021 (původní tvůrce: Vítkovice Cylinders, a.s.)

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 studie

Tato studie představuje komplexní aplikaci metodiky H2Safety (popsanou a postupně naplněnou dle dílčích kroků metodiky) na záměr výroby zeleného vodíku pro místní aplikace v Moravskoslezském kraji. Studie hodnotí proveditelnost, bezpečnost, ekonomickou udržitelnost a regionální přínosy výroby zeleného vodíku v Moravskoslezském kraji (MSK).

Záměrem je poskytnout univerzální metodický postup, který umožní krajským subjektům rozhodnout o vhodné variantě výroby H₂ pro:

- lokální průmyslové aplikace,
- municipální využití (MHD, svoz, utility služby),
- energetické a teplárenské aplikace,
- dlouhodobé strategické projekty transformace regionu.

Studie srovnává tři výkonnostní varianty projektu z hlediska technologie, rizik, regulace, bezpečnosti, ekonomiky a dopadů. Komplexní metodická studie podle frameworku komplexní metodiky H2Safety – Krok 1 až 12, porovnávající tři typy vodíkových projektů v MSK:

- Varianta A – Pilotní lokální výroba H₂ (200–500 kW)
- Varianta B – Střední výrobní uzel (2–5 MW)
- Varianta C – Regionální H₂ hub (20 MW+)

Výstupem je doporučení optimální varianty, identifikace rizik a určení bezpečnostních opatření potřebných pro realizaci. Jedná se o složitější příklad rozsahem převyšující příklad užití vodíku pro MHD.

***Poznámka:** Využitá metodika H2Safety obsahuje v popisu jednotlivých doporučovaných kroků množství dotčené související legislativy, metod a českých i zahraničních norem. Uvažovaný, posuzovaný až realizovaný záměr výroby zeleného vodíku by měl být ve shodě s citovanou legislativou a normami. Tyto dokumenty (legislativa a normy) nejsou v této případové studii opakovaně a tak často citovány a odkazovány.*

Rovněž příklady níže aplikovaných dílčích metod posouzení, analýz a hodnocení rizik nelze považovat za vyčerpávající. Jde spíše o ilustrativní příklady, než o ucelené studie. Předložit analytické práce v plném rozsahu nebylo cílem této případové studie. Například samotné aplikace metod HAZOP, FMEA, CBA a dalších metod, v praxi stojí dle míry hloubky analýz, od desítek do stovek tisíc Kč.

Tento příklad byl částečně zpracován a revidován s pomocí umělé inteligence (ChatGPTplus, v.5.2). Aplikovatelnost AI na metodiku považujeme za výhodnou pro uživatele, a proto byla také testována.

Výroba zeleného vodíku pro místní aplikace v Moravskoslezském kraji

OBSAH:

ABSTRAKT STUDIE	2
SEZNAM ZKRATEK.....	6
EXECUTIVE BRIEF	7
1. STRATEGICKÝ KONTEXT	8
2. CÍLE PROJEKTU.....	8
3. HLAVNÍ ZJIŠTĚNÍ ANALÝZ (KROKY 2–9)	8
4. NÁVRH BEZPEČNOSTNĚ-TECHNICKÝCH OPATŘENÍ (KROKY 7–8)	9
5. VÝSLEDKY PILOTNÍHO A POSTUPNÉHO UVÁDĚNÍ DO PROVOZU (KROK 9).....	9
6. ROČNÍ VYHODNOCENÍ (KROK 10)	9
7. ZÁVĚREČNÁ ROZHODNUTÍ A DOPORUČENÍ (KROK 11)	9
8. STANDARDIZACE A DLOUHODOBÝ ROZVOJ (KROK 12)	10
9. FINÁLNÍ DOPORUČENÍ	10
KROK 1 – START ZÁMĚRU / PROJEKTU	11
1.1 ÚČEL PROJEKTU	11
1.2 ROZSAH PROJEKTU	11
1.3 KLÍČOVÍ STAKEHOLDERI PROJEKTU	14
1.4 VYMEZENÍ HRANIC PROJEKTU (PROJECT BOUNDARIES).....	15
1.5 VARIANTY PROJEKTU	17
1.6 OČEKÁVANÉ PŘÍNOSY PROJEKTU	18
1.7 KLÍČOVÉ PŘEDPOKLADY (ASSUMPTIONS).....	19
1.8 IDENTIFIKACE POČÁTEČNÍCH RIZIK (INITIAL RISKS).....	19
KROK 2 – KONTEXT A CÍLE ZÁMĚRU	20
2.1 VNĚJŠÍ KONTEXT PROJEKTU.....	20
2.2 VNITŘNÍ KONTEXT PROJEKTU.....	22
2.4 TAKTICKÉ CÍLE PROJEKTU.....	23
2.5 PROJEKTOVÁ OMEZENÍ	23
2.6 VAZBY A NÁVAZNOSTI PROJEKTU.....	24
2.7 DOPADY PROJEKTU	24
2.8 ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ KROKU 2	25
KROK 3 – PROJEKTOVÁ A ORGANIZAČNÍ STRUKTURA.....	25
3.1 PROJEKTOVÁ A ORGANIZAČNÍ STRUKTURA	25
3.2 DETAILNÍ ROLE A ODPOVĚDNOSTI.....	26
3.4 PROJEKTOVÁ KOMUNIKACE.....	27
3.5 PROVOZNÍ STRUKTURA BUDOUCÍ VÝROBNY	28
3.6 ZÁVĚR KROKU 3	28
KROK 4 – PŘEDBĚŽNÁ IDENTIFIKACE A VYHODNOCENÍ VSTUPNÍCH RIZIK PROVOZU (VÝROBA ZELENÉHO H₂)	28
4.1 MOSAR – MODUL A (ANALÝZA MAKRO-HROZEB)	29
4.2 SWOT ANALÝZA PROJEKTU	31
4.3 BUSINESS IMPACT ANALYSIS (BIA).....	32
4.4 COST–BENEFIT ANALYSIS (CBA)	34

4.5 RISKAN – KVANTIFIKACE VSTUPNÍCH RIZIK	40
4.6 KOMUNIKACE VSTUPNÍCH RIZIK	44
4.7 VYHODNOCENÍ DOPADU APLIKACE PROJEKTU PRO MSK	45
KROK 5 – PŘEHODNOCENÍ ZÁMĚRU	53
5.1 SROVNÁNÍ RIZIK S CÍLI PROJEKTU	53
5.2 ANALÝZA NEDOSTATKŮ	54
5.3 NÁVRH VARIANT AKCE (POKRAČOVAT / REVIZE / ZASTAVIT)	56
5.4 SCHVÁLENÍ A REVIZE CÍLŮ	57
5.5 DLOUHODOBÝ HORIZONT UDRŽITELNOSTI	57
5.6 DALŠÍ DOPORUČENÍ	58
KROK 6 – PODROBNĚJŠÍ ANALÝZA RIZIK	58
6.1 MOSAR – MODUL B: MIKROSKOPICKÁ ANALÝZA SUBSYSTÉMŮ	58
6.2 RISKAN – MIKROSKOPICKÁ ANALÝZA SYSTÉMŮ	62
6.3 HODNOCENÍ RIZIK A IDENTIFIKACE ODCHYLEK (BOZP, CHECKLISTY, GAP ANALÝZA)	67
6.4 ANALÝZA FMEA	69
6.5 NÁVRH A SPUŠTĚNÍ PILOTNÍ STUDIE	70
6.5 OPAKOVANÁ KOMUNIKACE RIZIK A PŘÍLEŽITOSTÍ	71
6.6 NÁVRH A VÝBĚR OPATŘENÍ	71
KROK 7 – FORMALIZACE PILOTNÍHO PROJEKTU	73
7.1 NÁVRH AŽ FINALIZACE PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	73
7.2 KONZULTACE TECHNICKÝCH A BEZPEČNOSTNÍCH VARIANT	76
7.5 SPECIFIKACE FUNKČNÍ BEZPEČNOSTI SIL/PL	77
7.6 NÁVRH MITIGAČNÍCH A BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ	78
7.7 PLÁN PILOTNÍHO OVĚŘENÍ	78
KROK 8 – REALIZACE PROJEKTU	79
8.1 ZAJIŠTĚNÍ FINANČÍ A CONTRACTING	79
8.2 ŘÍZENÍ LIDSKÝCH ZDROJŮ A ODBORNOSTI	80
8.3 MANAGEMENT BEZPEČNOSTI STAVENIŠTĚ	81
8.4 ŘÍZENÍ ZMĚN V NÁVRHU (MOC)	82
8.5 KONTROLA KVALITY A REVIZE	82
8.6 DOPORUČENÍ PRO PROJEKTY VÝROBY H ₂ V MSK	82
8.7 ZÁVĚR KROKU 8	83
KROK 9 – ŘÍZENÍ UVÁDĚNÍ TECHNOLOGIE DO PROVOZU A ADAPTIVNÍ ŘÍZENÍ RIZIK	83
9.1 SPUŠTĚNÍ TECHNOLOGIE A REALIZACE ZKOUŠEK	83
9.2 MONITORING A SHROMAŽDOVÁNÍ DAT	85
9.3 POSTUPNÉ NAVÝŠOVÁNÍ VÝKONU (RAMP-UP STRATEGY)	86
9.4 OPAKOVANÁ ANALÝZA TECHNOLOGICKÝCH A PROCESNÍCH RIZIK	88
9.5 OPAKOVANÉ PŘEHODNOCENÍ VSTUPNÍCH RIZIK	89
9.6 DOPORUČENÉ DALŠÍ METODICKÉ KROKY (NAD RÁMEC METODIKY)	90
9.7 VÝSTUPY KROKU 9	92
KROK 10 – VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT Z APLIKACE ZÁMĚRU	92
10.1 SBĚR A KONSOLIDACE ROČNÍCH DAT	93
10.2 VYHODNOCENÍ VÝKONNOSTI (KPIs)	94
10.3 ANALÝZA „LESSONS LEARNED“	95
10.4 DOPADY NA UDRŽENÍ PERSONÁLNÍ ODBORNOSTI	96
10.5 PODKLADY PRO ROZHODOVÁNÍ O DALŠÍM ROZVOJI PROJEKTU	97
10.6. PŘEDPOKLÁDANÉ STŘEDNĚDOBÉ DOPADY PROJEKTU	99

KROK 11 – FINÁLNÍ ROZHODNUTÍ A INTEGRACE.....	100
11.1 FINÁLNÍ ROZHODNUTÍ VEDENÍ.....	100
11.2 INTEGRACE DO PROCESŮ BCM	101
11.3 PLÁN UDRŽITELNOSTI A FINANCOVÁNÍ	102
11.4 KODIFIKACE ZNALOSTÍ	103
11.5 SPUŠTĚNÍ NOVÉHO CYKLU METODIKY.....	104
11.6 PŘEDPOKLÁDANÉ DOPLŇKOVÉ KROKY SPECIFICKÉ PRO VÝROBU H ₂	104
KROK 12 – STANDARDIZACE, ŠÍŘENÍ ZNALOSTÍ A CYKlickÝ ROZVOJ METODIKY	105
12.1 STANDARDIZACE PROVOZNÍCH BEZPEČNOSTNÍCH POSTUPŮ	105
12.2 ŠÍŘENÍ ZNALOSTÍ A VZDĚLÁVÁNÍ.....	106
12.3 CYKlickÉ PŘEZKOUMÁNÍ A AKTUALIZACE METODIKY.....	108
12.4 NÁVRAT DO PŘEDCHOZÍCH KROKŮ A ZAHÁJENÍ DALŠÍHO CYKLU.....	109
ZÁVĚREČNÉ SHRNU TÍ	109

Seznam zkratek

Níže je uveden seznam zkratek, přičemž původní význam zkratky je vyznačen tučně.

Zkratka	Význam (EN)	Význam (CZ)
ATEX	AT mosphères EX plosibles	Prostředí s nebezpečím výbuchu
BCM	B usiness C ontinuity M anagement	Řízení kontinuity činností
BIA	B usiness I mpact A nalysis	Analýza dopadů přerušení činností
BOZP	Occupational Health and Safety	B ezečnost a o chrana z dравí p ři p ráci
CAPEX	C apital E xpenditure	Kapitálové výdaje
CBA	C ost– B enefit A nalysis	Analýza nákladů a přínosů
ČEZ	Czech Energy Company	E nergetická skupina ČEZ
ČIŽP	Czech Environmental Inspectorate	Č eská i nspekce ž ivotního p rostředí
EG.D	Electricity Grid Distribution	D istribuční společnost EG.D
EIA	E nvironmental I mpact A ssessment	Posouzení vlivů na životní prostředí
FMEA	F ailure M ode and E ffects A nalysis	Analýza druhů poruch a jejich důsledků
FM	Frýdek-Místek	S tatutární město F rýdek- M ístek
FVE	Photovoltaic Power Plant	F otovoltaická e lektrárna
H ₂ / H ₂	H ydrogen	Vodík
HAZOP	H azard and O perability S tudy	Studie nebezpečí a provozuschopnosti
HZS	Fire Rescue Service	H asičský z áchranný s bor (MSK)
IZS	Integrated Rescue System	I ntegrovaný z áchranný s ystém
KPI	K ey P erformance I ndicator	Klíčový ukazatel výkonnosti
MoC	M anagement of C hange	Řízení změn
MOSAR	M ethod O rganized S ystemic A nalysis of R isk	Metoda systematické analýzy rizik
MPO	Ministry of Industry and Trade	M inisterstvo p řůmyslu a o bachodu (ČR)
MSK	M oravskoslezský k raj	Moravskoslezský kraj
MŽP	Ministry of the Environment	M inisterstvo ž ivotního p rostředí (ČR)

Zkratka	Význam (EN)	Význam (CZ)
NGO	Non-Governmental Organization	Nevládní organizace
OPEX	Operational Expenditure	Provozní výdaje
OZE	Renewable Energy Sources	Obnovitelné zdroje energie
PDCA	Plan–Do–Check–Act	Cyklus neustálého zlepšování
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram	Schéma potrubí a instrumentace
PPA	Power Purchase Agreement	Smlouva o nákupu elektrické energie
QA	Quality Assurance	Zajištění kvality
QC	Quality Control	Kontrola kvality
RACI	Responsible–Accountable–Consulted–Informed	Matice rolí a odpovědností
RCA	Root Cause Analysis	Analýza kořenových příčin
RISKAN	Risk Analysis Method	Indexová metoda hodnocení rizik
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Systém řízení a sběru dat
SEM	State Enterprise Management / agency	Státní / polostátní rozvojová agentura
SIL	Safety Integrity Level	Úroveň integrity bezpečnostní funkce
SIS	Safety Instrumented System	Bezpečnostní instrumentovaný systém
SOP	Standard Operating Procedure	Standardní provozní postup
TIČR	Technical Inspection of the Czech Republic	Technická inspekce ČR
VTZ	Pressure and Lifting Equipment	Vyhrazená technická zařízení
VŠB-TUO	Technical University of Ostrava	VŠB – Technická univerzita Ostrava
VTE	Wind Turbine	Větrná elektrárna

EXECUTIVE BRIEF

Výroba zeleného vodíku pro lokální aplikace v Moravskoslezském kraji

Komplexní průchod metodikou H₂Safety – shrnutí pro rozhodovací orgány

1. Strategický kontext

Moravskoslezský kraj (MSK) se nachází v období zásadní transformace. Zavírání těžkého průmyslu, nutnost dekarbonizace, tlaky EU (Fit for 55, ETS II), i požadavek na nová pracovní místa vytvářejí jedinečnou příležitost pro:

- **lokální výrobu zeleného vodíku,**
- **napojení na regionální průmysl,**
- **rozvoj veřejné a nákladní dopravy,**
- **vytvoření česko-polsko-slovenského vodíkového koridoru.**

Region disponuje vhodnými brownfieldy, industriální infrastrukturou a kvalifikovanými technickými kapacitami.

Závěr: MSK patří mezi velmi perspektivní lokality v ČR pro vodíkové technologie.

2. Cíle projektu

a) Strategické cíle

- Otevřít nový nízkouhlíkový průmyslový sektor založený na výrobě H₂.
- Umožnit dekarbonizaci klíčových segmentů: doprava, hutnictví, energetika.
- Vytvořit regionální H₂ hub propojený s PL a SK.
- Integrovat bezpečnostní řízení a metodiku H₂Safety na nejvyšší úrovni.

b) Taktické cíle

- Realizovat výrobu s kapacitou dle vybrané varianty:
A – Pilotní (200 kW), B – Střední (2–5 MW), C – Regionální hub (20 MW+).
- Zajistit RFNBO kvalifikaci („zelený H₂“).
- Nastavit procesy pro bezpečný provoz: ATEX, SIS, SIL2.
- Vytvořit udržitelný odběratelský řetězec (mobilita + průmysl).

3. Hlavní zjištění analýz (Kroky 2–9)

a) SWOT, BIA, CBA

- Region nabízí silné **technické a energetické předpoklady.**
- Klíčová rizika: povolenací procesy, variabilita OZE, dostupnost odborníků.
- BIA: výpadek výroby má výrazný dopad na odběratele varianty B a C.
- CBA: ekonomická atraktivita stoupá s velikostí instalace → **varianta C = nejvyšší CAPEX, ale nejlepší LCOH.**

b) RISKAN + MOSAR

- Dominantní rizika: únik H₂, přetlak, selhání kompresoru, lidská chyba.
- Nejnižší rizikovost po mitigacích u varianty B.

c) Dopady projektu

- Ekonomické: vznik nových kvalifikovaných pracovních míst.
- Environmentální: snížení emisí CO₂ v rozsahu 1–40 kt/rok dle varianty.
- Sociální: zvýšení atraktivity kraje pro investory.

- Cross-border: vysoký synergický potenciál s polskou a slovenskou sítí projektů.

4. Návrh bezpečnostně-technických opatření (Kroky 7–8)

a) HAZOP, FMEA, SIL

- Kritické uzly: elektrolyzátor, sušení, kompresorová linka, zásobníky.
- Doporučení:
 - SIL2 pro shutdown sekvenci,
 - redundantní detekce H₂,
 - přísná MoC agenda,
 - segmentované ventilační zóny.

b) 4.2 Organizační a procesní opatření

- SOP pro práci ve zvýšené koncentraci H₂,
- pravidelný trénink IZS a provozního personálu,
- zavedení prediktivní údržby.

5. Výsledky pilotního a postupného uvádění do provozu (Krok 9)

- Trend alarmů klesá po prvních 3 měsících po implementaci opatření.
- Kapacitní náběh lze podle modelace realisticky zvládnout v 6–9 měsících.
- Revizní Re-HAZOP ukazuje snížení rizik o 35–55 % oproti původnímu stavu.

6. Roční vyhodnocení (Krok 10)

a) Vyhodnocení KPI

- Dostupnost ≥ 95 %,
- Úniky H₂ výrazně pod mezemi norem,
- Úspory vzniklé předcházením poruch: 4–8 mil. Kč/rok.

b) Lessons Learned

- Nutné posílení prediktivní diagnostiky kompresorů.
- Zlepšení alarm managementu (omezení alarm floods).
- Potřeba pravidelné obnovy kvalifikace ATEX personálu.

7. Závěrečná rozhodnutí a doporučení (Krok 11)

a) Finální rozhodnutí vedení

Dle scorecard je **varianta B** nejvyváženější z pohledu:

- bezpečnosti,
- CAPEX/OPEX,
- provozní flexibility,
- reálné poptávky v MSK.

Varianta C je vhodná jako **střednědobý cíl** při napojení průmyslu a přeshraniční spolupráce.

b) Integrace do BCM

- BIA, nouzové protokoly, evakuace, black-start postupy.
- Periodická revize každých 12 měsíců.

8. Standardizace a dlouhodobý rozvoj (Krok 12)

a) Tvorba SOP a směrnic

Zavedeno 21 klíčových SOP, včetně:

- manipulace s H₂,
- práce v ATEX zónách,
- emergency venting,
- postupy pro kompresní jednotky.

b) Šíření znalostí

- Tvorba H₂ Safety Academy při VŠB-TUO.
- Pravidelné školení IZS → vyšší připravenost regionu.

c) Cyklický PDCA přezkum metodiky

- Re-HAZOP → 12 měsíců,
- aktualizace SOP → 6 měsíců,
- audit účinnosti mitigací → 24 měsíců.

9. Finální doporučení

1. **Realizovat variantu B jako optimální začátek (2–5 MW).**
2. Připravit podmínky pro přechod na **variantu C (hub)** v horizontu 5–10 let.
3. Rozšířit systém spolupráce v rámci **CZ-PL-SK H₂ koridoru**.
4. Zavést krajský program pro **rozvoj kompetencí H₂ Safety**.
5. Udržet metodiku H₂Safety jako **základní standard MSK** pro všechny vodíkové projekty.

Krok 1 – Start záměru / projektu

1.1 Účel projektu

Účelem projektu „Výroba zeleného vodíku pro místní aplikace v Moravskoslezském kraji (MSK)“ je vytvořit **stabilní, bezpečný a ekonomicky udržitelný model výroby H₂**, který bude:

- využitelný lokálně – v průmyslu, dopravě, energetice,
- škálovatelný – od pilotní výroby po regionální hub,
- kompatibilní s legislativními, technickými a bezpečnostními požadavky,
- dlouhodobě přínosný pro transformaci regionu MSK,
- v souladu s evropskými a národními dekarbonizačními cíli.

Projekt slouží jako **interní standardizovaný postup** pro:

- tvorbu a řízení vodíkových projektů v MSK,
- analýzu jejich bezpečnostních aspektů,
- přípravu na investiční rozhodnutí,
- integraci vodíku do regionálních energetických a dopravních systémů.

Tento interní standard umožní krajským subjektům:

- transformovat obecné požadavky na **konkrétní provozní a bezpečnostní opatření**,
- získat jednoznačný rámec pro přípravu vodíkových projektů,
- sladit technické, institucionální, legislativní a organizační postupy mezi městem, krajem, průmyslem a akademií.

Projekt zároveň reaguje na regionální výzvy:

- vysoké emise CO₂ v průmyslu a dopravě,
- útlum tradičních uhelných aktivit,
- potřebu obnovy brownfieldů,
- potřebu inovací a vytvoření nového ekonomického pilíře kraje.

Výroba zeleného vodíku se tak stává nejen technologickou inovací, ale také **strategickým nástrojem transformace Moravskoslezského kraje**.

1.2 Rozsah projektu

Rozsah projektu je definován tak, aby pokryl **technické, provozní, bezpečnostní, ekonomické a regulatorní** aspekty výroby a využití zeleného vodíku v MSK. Rozsah je členěn do tří rovnocenných oblastí:

1.2.1 Technický rozsah

Projekt zahrnuje kompletní řetězec výroby H₂:

A) Primární technologie

- elektrolyzéry (PEM / alkalické, výkon 0.2–50 MW),
- systémy úpravy vody,
- transformátory a výkonová elektronika.

B) Kompresní systémy

- středotlak (30–60 bar),
- vysokotlak (350–900 bar) podle aplikace,
- chladicí systémy, mazání, bezpečnostní okruhy.

C) Zásobníkové systémy

- úložiště nízkotlaká (10–30 bar),
- středotlaké (50–100 bar),
- vysokotlaké (350/500/900 bar).

D) Výdejní rozhraní

- mobilita: 350 / 700 bar,
- průmysl: trailer plnění, potrubní rozvod, lokální distribuce.

E) OZE integrace

- napojení na fotovoltaiku / větrné zdroje,
- řízení odběru elektřiny v čase,
- optimalizace účinnosti a spotřeby.

F) SCADA & bezpečnost

- digitální řízení procesů,
- SIL2 ochranné okruhy,
- ATEX integrace,
- monitoring úniků H₂.

1.2.2 Provozní rozsah

Projekt se zaměřuje na:

- provozní nastavení pro různé velikosti výroby,
- role obsluhy a požadované kompetence,
- provozní režimy (24/7, špičkové řízení, hybridní provoz),
- interakci s odběrateli (MHD, průmysl, energetika),
- řízení údržby, havarijních stavů a incidentů.

Součástí projektu jsou i rozdíly v provozu podle variant:

Varianta	Provozní charakter	Personální nároky
A – Pilot	přerušovaný provoz, testování	nízké
B – Střední	stabilní provoz, mobilita + průmysl	střední
C – Hub	nepřetržitý provoz, mnoho odběratelů	velmi vysoké

1.2.3 Bezpečnostní rozsah

Tato studie výroby zeleného vodíku zahrnuje:

- MOSAR A (makro hrozby)
- MOSAR B (mikro hrozby)
- HAZOP (procesní odchylky)
- FMEA (poruchové scénáře)
- RISKAN (kvantifikace rizik)
- ATEX zónování
- návrh mitigací (technických i procesních)
- řízení lidského faktoru dle Slovicovy metodiky vnímání rizik

Součástí projektu je také tvorba:

- kompletní bezpečnostní matrice,
- stanovení úrovně přijatelných rizik,
- zbytkového rizika po mitigacích,
- povinností provozovatele,
- krizových postupů.

1.2.4 Ekonomický rozsah

Pro každou variantu A–C bude zpracováno:

- odhad CAPEX,
- odhad OPEX,
- odhad ceny H₂ (Kč/kg),
- citlivostní analýza (spotřeba elektřiny, investiční podpora),
- využitelnost dotací (Modernizační fond, OPŽP, IROP),
- ekonomická udržitelnost při různých odběratelských modelech.

1.2.5 Teritoriální rozsah

Projekt se zaměřuje na:

- Moravskoslezský kraj,
- jeho průmyslové zóny,
- města s potenciálem pro odběr H₂ (Ostrava, Karviná, Havířov, Třinec, Frýdek-Místek aj.),
- brownfield lokality vhodné pro instalaci technologie.

1.2.6 Variantní rozsah (A–C)

Projekt pracuje paralelně se třemi variantami výroby H₂:

1. **Varianta A (pilotní, 0.2–0.5 MW)**
2. **Varianta B (střední, 2–5 MW)**
3. **Varianta C (regionální hub, 20–50 MW)**

Každý další kroky metodiky (2–12) budou tyto varianty porovnávat.

1.3 Klíčoví stakeholderi projektu

Výroba zeleného vodíku v MSK vyžaduje identifikaci a řízení velkého množství stakeholderů. Stakeholderi jsou rozděleni do čtyř hlavních skupin:

a) Strategičtí a institucionální stakeholderi

Tito aktéři určují rámec projektu, jeho financování a dlouhodobé směřování.

Stakeholder	Role
Moravskoslezský kraj (MSK)	Regionální koordinace, strategické řízení, transformace území, dotační a investiční podpora.
Statutární města (Ostrava, Karviná, Havířov, FM, Třinec)	Lokální odběratelé H ₂ , povolovací úřady, podpora inovací.
Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO)	Regulace energetiky, legislativní rámec H ₂ .
Ministerstvo životního prostředí (MŽP)	EIA, environmentální požadavky, Modernizační fond.
SEM / CzechInvest	Podpora investic, transformace brownfieldů.

Klíčová očekávání:

- spolehlivá a ekonomická výroba vodíku,
- místní ekologické přínosy,
- nízká míra rizik a konfliktů s veřejností,
- podpora transformace ekonomiky.

b) Technologičtí a provozní stakeholderi

Stakeholder	Role
Výrobci elektrolyzérů (NEL, ITM, Siemens, CzechHydrogen)	Dodavatelé hlavních technologických celků.
Dodavatelé kompresorů a zásobníků	Technologické know-how, servis, opravy.
Distribuční společnosti (ČEZ Distribuce / EG.D.)	Připojovací podmínky, síťová stabilita.
Provozovatel výroby H₂	Odpovídá za bezpečnost, provoz, údržbu a reporting.

Klíčová očekávání:

- bezpečný provoz,
- přístup k přesným technickým datům,
- dlouhodobé kontrakty,
- jasná odpovědnost provozovatele.

c) Regulatorní a bezpečnostní stakeholderi

Stakeholder	Role
TIČR	Dozor nad provozem tlakových zařízení.
HZS MSK	ATEX, havarijní dokumentace, zásahy.
ČiŽP	Dohled nad environmentálním provozem.

Krajská hygienická stanice	Hluk, chemické limity, bezpečnost práce.
-----------------------------------	--

Klíčová očekávání:

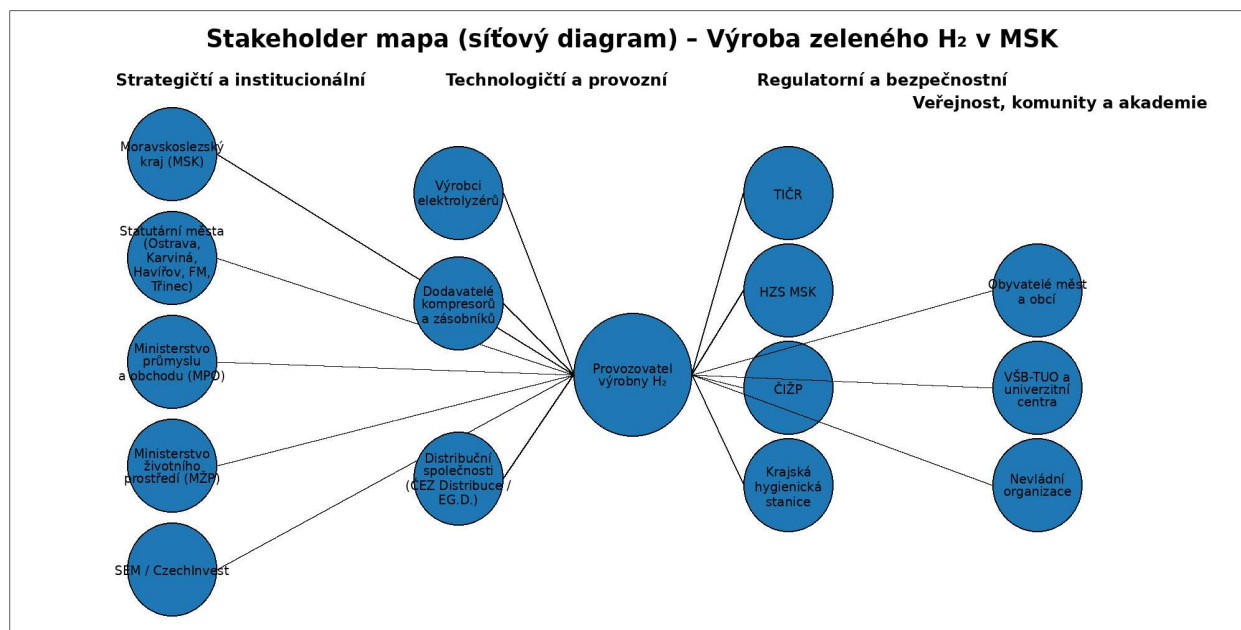
- kompletní bezpečnostní dokumentaci,
- ATEX zónování,
- krizové postupy a scénáře úniků,
- nulový počet incidentů.

d) Veřejnost, komunitní aktéři a odborné instituce

Stakeholder	Role
Obyvatelé měst a obcí	Percepce rizik, podpora projektu, místní dopady.
VŠB-TUO a univerzitní centra	Testování, výzkum, kompetenční centra.
Nevládní organizace	Transparentní komunikace, environmentální požadavky.

Klíčová očekávání:

- transparentní komunikaci o rizicích,
- minimální dopad na životní prostředí,
- možnost zapojení do výzkumu a vzdělávání.



1.4 Vymezení hranic projektu (Project Boundaries)

Vymezení hranic projektu určuje, **co je** a **co není** součástí projektu. U vodíkových technologií je to klíčové pro bezpečnostní i investiční plánování.

1.4.1 Hranice zahrnuté v projektu

Projekt zahrnuje:

A) Výrobu H₂

- elektrolyzér (PEM/alkalický),
- vodní hospodářství (úprava a recyklace vody),
- transformátory a elektrické připojení,
- tepelné hospodářství elektrolyzéru.

B) Zpracování a úpravu

- separaci a čištění H₂,
- vysoušení,
- tlakové úpravy.

C) Kompresi a zásobníky

- středotlak a vysokotlak,
- zásobníkové moduly,
- měření a monitoring.

D) Výdej a distribuci

- výdejní stojany,
- plnění trailerů,
- lokální potrubní rozvod.

E) Bezpečnostní infrastrukturu

- ATEX zóny,
- detekce úniků,
- bezpečnostní ventily,
- SCADA a SIL2.

F) Provozní a legislativní rámec

- provozní řády,
- havarijní plány,
- školení obsluhy,
- povolovací procesy.

1.4.2 Hranice vyloučené z projektu

Na základě výše uvedeného projekt tudíž **nezahrnuje**:

- výstavbu nových OZE na míru projektu (pouze integraci),
- dlouhodobé skladování H₂ v podzemí,
- syntézu derivátů (metanol, e-paliva),
- rozsáhlé distribuční sítě mezi městy,
- finální užití H₂ u odběratele (např. technologie spalování ve slévárnách).

Tato vyloučení umožňují udržet projekt s jasným zaměřením na výrobu, kompresi, skladování a výdej H₂.

1.5 Varianty projektu

Tento projekt posuzuje **tři škálovatelné varianty** výroby H₂, které budou porovnávány v dalších krocích metodiky (MOSAR, HAZOP, FMEA, ekonomika).

1.5.1 Varianta A – Pilotní projekt (0.2–0.5 MW)

Předpokládaný účel:

- testování technologie,
- trénink obsluhy,
- nízká komplexita.

Typické využití: školy, výzkum, malá mobilita.

Předpokládané výhody:

- nízké riziko,
- jednoduché povolování,
- nejnižší CAPEX.

Předpokládané nevýhody:

- velmi vysoké náklady/kg,
- omezené využití.

1.5.2 Varianta B – Střední projekt (2–5 MW)

Předpokládaný účel:

- reálný provoz pro mobilitu a průmysl,
- základní pilíř vodíkové ekonomiky MSK.

Předpokládané výhody:

- nejlepší poměr CAPEX/OPEX,
- zvládnutelná bezpečnost,
- rychlá návratnost při poptávce.

Předpokládané nevýhody:

- nutnost komplexnějšího povolování,
- požadavky na odběr tepla, vody a elektřiny.

1.5.3 Varianta C – Regionální hub (20–50 MW)

Předpokládaný účel:

- průmyslová transformace kraje,
- exportní potenciál.

Předpokládané výhody:

- nejnižší cena vodíku,
- velký dopad na transformaci kraje.

Předpokládané nevýhody:

- vysoké investice,
- extrémně náročné povolování,
- vysoké bezpečnostní nároky.

1.6 Očekávané přínosy projektu

Očekávané přínosy jsou rozděleny do čtyř oblastí:

1.6.1 Ekonomické přínosy

- vznik nového odvětví H₂ technologií,
- nové pracovní příležitosti (technici, operátoři, inženýři),
- zvýšení konkurenceschopnosti průmyslu,
- snížení expozice cenám fosilních paliv.

1.6.2 Environmentální přínosy

- snížení emisí CO₂ o **1–20 kt ročně** podle varianty,

- snížení lokálních emisí NO_x, SO₂, PM,
- podpora obnovitelných zdrojů.

1.6.3 Technologické přínosy

- budování know-how v MSK,
- integrace OZE a energetické flexibility,
- inovace v mobilitě a průmyslu.

1.6.4 Sociální a regionální přínosy

- transformace brownfieldů v moderní průmyslové areály,
- posílení technologické pověsti MSK,
- přilákání investorů.

1.7 Klíčové předpoklady (Assumptions)

Projekt pracuje s následujícími předpoklady:

1. **Dostupnost vhodné lokality** (brownfieldy).
2. **Připojení k elektrické distribuční síti** v požadovaném výkonu.
3. **Přístup k dostatečnému množství vody.**
4. **Odběratelská základna** (mobilita, průmysl).
5. **Existence dotační podpory** během implementace.
6. **Dostupnost kvalifikované pracovní síly.**
7. **Možnost využít odpadní teplo** (zlepšení účinnosti).
8. **Pozitivní přístup lokální samosprávy.**
9. **Provozovatel s odpovídajícími kompetencemi.**

Tyto předpoklady budou v následujících krocích ověřeny.

1.8 Identifikace počátečních rizik (Initial Risks)

Na základě metodiky MOSAR A a zkušeností z jiných H₂ projektů byla identifikována následující počáteční rizika:

a) Technická rizika

- selhání kompresorových jednotek,

- úniky H₂ v potrubí,
- degradace membrán elektrolyzéru,
- vysoké nároky na údržbu.

b) Legislativní a povolovací rizika

- zdoluhavý proces EIA,
- zpoždění při schvalování ATEX dokumentace,
- kolize s územními plány.

c) Ekonomická rizika

- volatilita cen elektřiny,
- závislost na dotacích,
- nejistota odběratelů.

d) Sociální a percepční rizika

- obavy veřejnosti z výbuchu,
- Slovic: rizika nových technologií vnímána jako „neznámá“ → vyšší strach.

e) Organizační rizika

- nedostatek kvalifikovaných pracovníků,
- nejasná governance mezi městy, krajem a průmyslem.

Krok 2 – Kontext a cíle záměru

Projekt „Výroba zeleného vodíku pro lokální aplikace v Moravskoslezském kraji“ vzniká v prostředí významných regionálních, národních i evropských tlaků na dekarbonizaci průmyslu, energetiky a mobility. Tento krok shrnuje celkový kontext projektu, identifikuje všechny zainteresované strany, popisuje jejich potřeby a očekávání, stanovuje strategické a taktické cíle a vymezuje omezení projektu. Slouží jako základ pro následné technické, bezpečnostní a ekonomické kroky metodiky.

2.1 Vnější kontext projektu

Vnější kontext zahrnuje rámcové podmínky ovlivňující přípravu, realizaci a provoz výroby zeleného vodíku v MSK. Součástí vnějšího kontextu je zejména následující:

- legislativní rámec (EU, ČR),
- tržní a ekonomické prostředí,
- technologický vývoj,
- regionální strategie,

- postavení MSK v rámci národní energetické transformace.

2.1.1 Legislativní a strategický rámec

Evropský rámec

EU klade důraz na:

- **Fit for 55** – snižování emisí min. o 55 % do roku 2030,
- **EU Hydrogen Strategy** – akcelerace výroby zeleného H₂,
- **AFIR** – budování infrastruktury alternativních paliv,
- **RFNBO Delegated Act** – požadavky na obnovitelný vodík,
- **TEN-T** – podpora přeshraniční infrastruktury (pro MSK velmi významná).

Tyto předpisy přímo umožňují a motivují vznik regionálních výrobních uzlů H₂.

Národní rámec

V rámci ČR tento projekt implementuje:

- **Státní energetickou koncepci,**
- **Národní vodíkovou strategii,**
- **Národní akční plán čisté mobility,**
- **Zákony o vyhrazených technických zařízeních,**
- **SEVESO III** pro velké zásobní systémy.

Projekt je tedy realizovatelný v rámci existujících právních předpisů.

Regionální rámec (MSK)

Moravskoslezský kraj:

- je prioritním regionem **Fondu spravedlivé transformace,**
- má vlastní **Vodíkový akční plán** (draft),
- podporuje rekultivaci brownfieldů,
- rozvíjí spolupráci měst, průmyslu a výzkumu.

2.1.2 Ekonomické a tržní prostředí

Výroba zeleného H₂ je extrémně citlivá na:

- cenu elektřiny (klíčový vstup),
- dostupnost dotací (Modernizační fond, FST),
- rozsah odběratelské základny,
- stabilitu průmyslové poptávky.

Trh pro H₂ v MSK tvoří zejména:

- hutnictví,
- chemie,
- energetika,
- průmyslová mobilita,
- komunální služby,
- MHD a regionální železniční doprava.

2.2 Vnitřní kontext projektu

Vnitřní kontext popisuje **připravenost regionu MSK**, jeho institucionální a organizační kapacity a dostupné zdroje.

2.2.1 Institucionální a organizační připravenost

Moravskoslezský kraj disponuje:

- aktivní politickou podporou pro vodík,
- koordinační platformou pro průmysl, města a akademickou sféru,
- zkušeností s velkými transformačními programy,
- připravovanými kompetenčními centry (VŠB-TUO, firemní R&D).

Slabší stránkou je:

- nedostatek certifikovaných H₂ odborníků,
- absence dlouhodobých provozních zkušeností,
- rozdílná připravenost jednotlivých měst.

2.2.2 Technická infrastruktura a lokální podmínky

MSK disponuje:

- rozsáhlými brownfieldy vhodnými pro umístění elektrolyzérů,

- vysokokapacitními trafostanicemi (110–220 kV),
- průmyslovými vodovody vhodnými pro výrobu elektrolyzéru,
- velkým množstvím potenciálních odběratelů H₂ (MHD, průmysl, energetika).

Specifické silné stránky regionu:

- železniční infrastruktura umožňuje přesun H₂ trailerů,
- existují projekty FVE a větrných elektráren vhodné k propojení s elektrolyzéry.

2.4 Taktické cíle projektu

Taktické cíle představují **konkrétní, měřitelné a kontrolovatelné cíle**, které umožní postupné naplňování strategických záměrů.

Tyto taktické cíle zahrnují:

a) Technické cíle

- zajistit výrobu vodíku v objemu dle varianty projektu (80 kg/den až 25 t/den),
- integrovat elektrolyzér s distribuční nebo obnovitelnou energií,
- zajistit bezpečné skladování, kompresi a výdej H₂,
- implementovat SCADA a SIL2 bezpečnostní logiku.

b) Provozní cíle

- vybudovat provozní tým a kompetenční systém,
- zavést provozní standardy (SOP) pro klíčové činnosti,
- zajistit dostupnost technologie > 97 %,
- zavést systém prediktivní údržby.

c) Ekonomické cíle

- dosáhnout výrobní ceny H₂ v cílových intervalech:
 - pilot: 150–200 Kč/kg,
 - střední: 90–130 Kč/kg,
 - hub: 70–100 Kč/kg,
- minimalizovat OPEX formou optimalizace provozu elektrolyzéru.

d) Bezpečnostní cíle

- nulový počet závažných incidentů,
- kompletní implementace ATEX,
- validace bezpečnostních funkcí SIL2,
- pravidelné školení personálu.

2.5 Projektová omezení

Součástí této části je nezbytná identifikace omezení projektu, která jsou spatřována jako následující:

a) Technická omezení

- dostupnost elektrické kapacity,
- potřeba chladicího systému,
- omezený prostor na brownfieldech,
- hlučnost kompresorů.

b) Regulatorní omezení

- SEVESO III u velkých variant,
- časová náročnost EIA,
- povinnosti TIČR,
- požadavky stavebního řízení.

c) Ekonomická omezení

- vysoký CAPEX u velkých variant,
- volatilita ceny elektřiny,
- závislost na dotačních programech.

2.6 Vazby a návaznosti projektu

Projekt úzce souvisí s následující problematikou:

- obnova brownfieldů,
- rozvoj železniční dopravy,
- projekty MHD vodíkových autobusů,
- průmyslové dekarbonizační plány (hutě, chemie),
- budoucí přeshraniční spoluprací PL–SK–AT.

2.7 Dopady projektu

Obsahem této části jsou dopady projektu, které jsou spatřovány jako následující:

a) Ekonomické dopady

- vznik nového technologického sektoru,
- pracovní místa pro techniky, operátory, inženýry,
- multiplikace investic v regionu,
- vyšší konkurenceschopnost průmyslu.

b) Environmentální dopady

- výrazné snížení emisí CO₂,
- snížení lokálních emisí NO_x, SO₂, PM,
- podpora integrace OZE.

c) Sociální dopady

- veřejné přijetí inovací,
- posílení technologického profilu MSK,

- vzdělávací a výzkumný potenciál.

2.8 Závěrečné shrnutí kroku 2

Krok 2 poskytuje komplexní přehled o kontextu projektu, identifikuje všechny zainteresované strany, definuje strategické i taktické cíle a vymezuje omezení i dopady projektu.

Potvrzuje, že **výroba zeleného vodíku v MSK** je:

- technicky proveditelná,
- ekonomicky realistická (při správně zvolené variantě),
- bezpečnostně řiditelná,
- regionálně strategicky vhodná.

Krok 3 – Projektová a organizační struktura

Projekt výroby zeleného vodíku je organizačně i technicky komplexní a vyžaduje jasné definování rolí, odpovědností, řídicích mechanismů a komunikačních struktur.

V rámci Kroku 3 dochází k vytvoření **organizovaného rámce**, který umožní:

- řídit technologický projekt napříč stakeholdery,
- minimalizovat rizika selhání kvůli špatné koordinaci,
- zajistit bezpečný a udržitelný provoz,
- připravit projekt na povolovací proces, realizaci a provoz.

3.1 Projektová a organizační struktura

Tato kapitola popisuje řídicí strukturu, hlavní projektové role a vazby mezi účastníky projektu. Pro projekt výroby zeleného vodíku jsou klíčové tři organizační linie:

3.1.1 Technická linie (*Technology Stream*)

Technická linie je odpovědná za následující:

- návrh a specifikaci technologie elektrolyzéru (PEM / alkalický),
- návrh kompresorové části (středotlak / vysokotlak),
- návrh zásobníkové části (včetně konfigurací 30–60 bar, 350 bar a 500/900 bar podle variant),
- návrh výdejní technologie (stojany, připojení na trailery, průmysl),
- návrh SCADA, bezpečnostních funkcí, SIL2 logiky, ATEX zónování.

Klíčové role:

Role	Popis
Technický ředitel projektu (Engineering Lead)	Komplexní řízení technické části projektu
Specialista elektrolyzéru	Integrace dodavatelské technologie
Specialista kompresorové technologie	Výběr vhodného kompresoru, provozní parametry
Procesní bezpečnostní inženýr	ATEX, SIL, risk analýzy

SCADA & Automation Lead	Řízení systému, integrace měření
------------------------------------	----------------------------------

3.1.2 Regulatorní a bezpečnostní linie (Regulatory & Safety Stream)

Regulatorní a bezpečnostní linie je odpovědná za následující:

- přípravu EIA (u variant B a C povinné),
- ATEX dokumentaci a validaci,
- komunikaci s TIČR, HZS, ČIŽP a dalšími orgány,
- přípravu projektové dokumentace požárně bezpečnostního řešení,
- havarijní plánování,
- koordinaci BOZP a PO.

Klíčové role:

Role	Popis
Safety Manager	Celková bezpečnostní strategie projektu
ATEX Specialista	Vymezení nebezpečných zón
TIČR Compliance Officer	Zajištění souladu tlakových zařízení
Havarijní koordinátor	Tvorba a řízení emergency plánů

3.1.3 Organizační a provozní linie (Operations & Management Stream)

Organizační a provozní linie zodpovídá za:

- přípravu provozních modelů (24/7 vs. adaptivní režim),
- definici provozních kapacit (operátoři, technici),
- přípravu SOP (Standard Operating Procedures),
- řízení údržby, TPM, prediktivní údržbu,
- nastavení komunikace mezi provozem a technickým týmem.

Klíčové role:

Role	Popis
Operations Manager	Řízení provozu výroby
Lead Operator	Technická obsluha elektrolyzérů
Maintenance Engineer	Kompresory, ventily, potrubí
SCADA Analyst	Monitoring dat a alarmů

3.2 Detailní role a odpovědnosti

Cílem této kapitoly je definovat *kdo* má *jakou* roli a *za co odpovídá*. Zde je uvedena přenesená verze rozpracovaná pro H₂ výrobu.

3.2.1 Řídící tým projektu (Steering Committee)

Řídící tým projektu zahrnuje následující:

Role	Hlavní kompetence
Sponzor projektu (Kraj / investor)	Strategická rozhodnutí, financování
Projektový manažer	Řízení projektu, harmonogram, reporting
Hlavní inženýr (Chief Engineer)	Technická rozhodnutí
Safety Director	Bezpečnostní integrita projektu
Zástupci měst / průmyslu	Odběratelské požadavky a koordinace

3.2.2 Provozní tým

U výroby H₂ se výrazně posiluje role procesních inženýrů a SCADA:

Role	Odpovědnosti
Procesní inženýr	Parametry elektrolyzéru, řízení výkonu
Kompresorový specialista	Nastavení tlakových režimů
SCADA operátor	Alarmy, logika SIL2, trendování dat
Údržbář kompresorů	TPM / prediktivní údržba
Technik zásobníků	Kontrola ventilů, NDT inspekce

3.3 Kompetenční matice RACI

Kompetenční matice zohledňující kontext nové technologie je definována následovně:

Aktivita	Responsible (R)	Accountable (A)	Consulted (C)	Informed (I)
Výběr elektrolyzéru	Eng Lead	PM	Supplier, Safety	SC
ATEX zónování	ATEX Eng	Safety Dir	HZS	PM
Návrh kompresorové části	Compressor Eng	Chief Eng	Supplier	PM
Výběr lokality	PM	Sponsor	Stadt / MSK	Public
Implementace SCADA	SCADA Lead	Eng Lead	Supplier	Ops Team
Školení obsluhy	Ops Manager	Safety Dir	VŠB-TUO	SC

Takto strukturovaná matice RACI je navržena z důvodu:

- přehlednosti rozhodovacích procesů,
- eliminace chyb způsobených nejasnými odpovědnostmi,
- auditovatelnosti projektu (MSK, EU fondy),
- jasného vymezení provozních povinností.

3.4 Projektová komunikace

V rámci této kapitoly jsou řešeny níže uvedené oblasti:

a) Vnitřní komunikace

- denní meeting operátorů,
- týdenní technický meeting (engineering + safety + operations),
- měsíční reporting Steering Committee.

b) Komunikace s regulátory

- TIČR – inspekce tlakových zařízení,
- HZS – ATEX, havarijní plán, PBŘ,
- ČiŽP – environmentální podmínky.

c) Komunikace s veřejností

- Slovicova analýza percepce rizik,
- transparentní komunikace o bezpečnosti,
- veřejné prezentace v lokalitách.

3.5 Provozní struktura budoucí výroby

Kapitola je z hlediska provozní struktury sestavena následovně:

a) Operátoři (Shift Operators)

- řízení výkonu elektrolyzéru,
- reakce na alarmy (nízký tlak, únik H₂),
- předávání směny.

b) Údržba

- kompresory: TPM + prediktivní údržba (vibrace, teplota),
- zásobníky: kontroly ventilů, NDT, tlakové zkoušky.

c) SCADA dohled

- záznam alarmů,
- trendování dat,
- kontrola bezpečnostních funkcí SIL2.

3.6 Závěr kroku 3

Cílem kroku 3 je poskytnout následující:

- jasně definovanou organizační strukturu,
- určené role a odpovědnosti,
- připravenou RACI matici,
- nastavenou komunikační strukturu,
- základ pro bezpečný a řízený provoz výroby H₂.

Krok 4 – Předběžná identifikace a vyhodnocení vstupních rizik provozu (výroba zeleného H₂)

Krok 4 metodiky H₂Safety představuje první ucelené zhodnocení rizik, dopadů a ekonomických parametrů připravovaného projektu. Na rozdíl od pozdějších kroků (MOSAR B, HAZOP, FMEA) se Krok 4 zaměřuje na:

- strategická rizika (technologická, institucionální, tržní),
- makrohrozby a vnější faktory,
- ekonomické přínosy a náklady,
- dopady přerušení výroby,
- percepce rizik veřejností,
- dopady na regionální trh, zaměstnanost, emise a přeshraniční spolupráci.

Analýza je provedena samostatně pro všechny tři varianty projektu:

- **A – pilotní výrobní (0,2–0,5 MW)**
- **B – střední výrobní (2–5 MW)**
- **C – regionální hub (20–50 MW)**

4.1 MOSAR – Modul A (Analýza makro-hrozeb)

Metodika **MOSAR – Modul A** identifikuje a hodnotí makro-hrozby, které mohou ovlivnit výrobu zeleného vodíku v MSK.

Hodnocení vychází z:

- geografických a klimatických podmínek kraje,
- průmyslové povahy území,
- technologických charakteristik elektrolyzérů, kompresorů a zásobníků,
- propojení s dopravní a energetickou infrastrukturou,
- sociálních a organizačních faktorů.

Pro všechny varianty (A–C) je hodnocena **pravděpodobnost (P)** a **závažnost dopadu (D)** na škále 1–5.

4.1.1 Meteorologické hrozby

A) Extrémní teploty (mráz / horko)

- Elektrolyzéry mají omezený rozsah provozu, zejména v pilotních instalacích (A).
- U variant B a C se předpokládá průmyslová teplotní stabilizace → nižší riziko.

Hodnocení:

- Varianta A: P=3, D=3
- Varianta B: P=2, D=3
- Varianta C: P=2, D=4 (velké objemy H₂ → větší dopad při odstávce)

B) Silný vítr a bouřky

- Riziko poškození nadzemních elektrických přípojek, FVE připojených k projektu.
- Možnost přepětí, výpadků.

Hodnocení:

- A: P=2, D=2
- B: P=2, D=3
- C: P=3, D=4

C) Povodně / přívalové srážky

- Pro brownfieldy je klíčová hydrotechnická analýza.
- Velké instalace (C) bývají umístěny v řízených průmyslových areálech → riziko nižší, dopad vysoký.

Hodnocení:

- A: P=1, D=2
- B: P=2, D=3
- C: P=2, D=5

4.1.2 Technologické hrozby

A) Selhání elektrolyzéru

- Způsobeno degradací membrán, impuretami ve vodě nebo špičkovými odběry elektřiny.
- Dopad roste s velikostí projektu.

Hodnocení:

- A: P=2, D=2
- B: P=2, D=4
- C: P=3, D=5

B) Selhání kompresoru

- Nejčastější technologická závada v H₂ projektech.
- Vysoké dopady: odstávka výroby a nemožnost plnění zásobníků.

Hodnocení:

- A: P=3, D=3
- B: P=3, D=4
- C: P=4, D=5

C) Únik vodíku

- Riziko výbuchu v ATEX zónách, zejména u flange spojů, ventilů, kompresorů.

Hodnocení:

- A: P=2, D=3
- B: P=3, D=4
- C: P=3, D=5

4.1.3 Infrastrukturní hrozby

A) Nedostupnost elektrické energie

- MSK má robustní energetickou síť, ale velké odběry u variant C mohou způsobit lokální přetížení.

Hodnocení:

- A: P=1, D=2
- B: P=2, D=3
- C: P=3, D=5

B) Výpadky vody

- Klíčové pro provoz elektrolyzéru.

Hodnocení:

- A: P=1, D=2
- B: P=2, D=3
- C: P=2, D=4

4.1.4 Sociální a organizační hrozby

A) Odpor veřejnosti

- Vyplývá z percepce rizika (Slovic).
- Dopad je výrazný zejména u variant B a C.

Hodnocení:

- A: P=2, D=2
- B: P=3, D=4
- C: P=4, D=5

B) Nedostatečná kvalifikace personálu

- Nedostatek H₂ specialistů v regionu.

Hodnocení:

- A: P=2, D=2
- B: P=3, D=3
- C: P=3, D=4

4.1.5 Záznam: výsledná matice makro-hrozeb pro A–C

Výstupem je MOSAR matice (bude vložena jako grafika):

- osa Y: dopad (1–5)
- osa X: pravděpodobnost (1–5)
- barevně rozlišené varianty A/B/C

4.2 SWOT analýza projektu

SWOT analýza hodnotí projekt ze strategického pohledu dle čtyř dimenzí:

Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats.

Je zpracována pro projekt jako celek s ohledem na variantní řešení A–C.

a) Silné stránky (S)

- Dostupnost velkých brownfieldů v MSK vhodných pro umístění elektrolyzéru.
- Silná průmyslová základna a již existující poptávka po H₂ (hutnictví, doprava).
- Připravenost MSK podporovat vodíkové projekty v rámci FST.
- Odborné zázemí VŠB-TUO a regionálních laboratoří H₂.
- Dobrá dostupnost vysokokapacitní elektrické infrastruktury.
- Vysoký potenciál pro integraci OZE a tepelného hospodářství.

b) Slabé stránky (W)

- Nedostatek lokálně zkušených operátorů elektrolyzérových systémů.
- Omezené zkušenosti s ATEX / SEVESO ve větším měřítku pro H₂.
- Komplexní povolovací procesy (EIA, tlakové systémy).
- Vysoká investiční náročnost, zejména u varianty C.
- Nezralý trh s vodíkem (stále se vyvíjí).

c) Příležitosti (O)

- Dekarbonizace průmyslu (ocel, chemie, energetika).
- Vodíková mobilita (autobusy, vlaky, logistika).
- Vznik regionálních H₂ kompetenčních center.
- Export H₂ do Polska / Slovenska při variantě C.
- Zapojení MSK do evropských Hydrogen Valley projektů.

d) Hrozby (T)

- Volatilita cen elektřiny → tlak na ekonomiku výroby.
- Konkurence dováženého H₂ nebo H₂ derivátů.
- Riziko technologických poruch (kompresory, membrány).
- Odpor části veřejnosti kvůli percepci rizik výbuchu.
- Nejasnost národních legislativních rámců pro RFNBO.

4.3 Business Impact Analysis (BIA)

BIA hodnotí dopady **přerušení výroby H₂** na provoz, odběratele, infrastrukturu a region.

Jako základ je zachována původní struktura BIA s důrazem na síťové a průmyslové aplikace.

4.3.1 Prioritní činnosti a procesy výroby H₂

Každá výroba H₂ má několik kritických procesů, jejichž přerušení by mělo výrazný provozní dopad:

1. **Elektrolytická výroba H₂** – klíčový proces; jeho výpadek znamená okamžitou ztrátu produkce.
2. **Kompresní systémy** – nezbytné pro zásobníky i výdej.
3. **Zásobníkové hospodářství** – zásadní pro flexibilitu dodávek.
4. **Výdej H₂ odběratelům** – ovlivňuje dopravní podniky, průmysl, logistiku.
5. **SCADA / řízení bezpečnostních funkcí** – kritické pro integritu systému.

4.3.2 Maximální přípustná doba přerušení (MAO)

Pro jednotlivé procesy je třeba definovat limity MAO (Maximum Acceptable Outage):

Proces	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Elektrolyzér	24 h	8 h	2 h
Kompresor	48 h	12 h	4 h
Zásobníky	48–72 h	24 h	8 h
Výdej H ₂	24 h	12 h	6 h
SCADA	2 h	1 h	< 30 min

U varianty C je MAO nejnižší, protože dopady přerušení by byly regionálně významné.

4.3.3 Dopady výpadků na provoz výroby

Technické dopady:

- riziko přetlaku nebo poklesu tlaku v zásobnících,
- degradace membrán při cyklickém vypínání,
- přetížení kompresorů po restartu,
- riziko teplotních šoků.

Provozní dopady:

- zpoždění dodávek pro odběratele,
- nutnost nouzového plánování odběrů,
- zvýšené náklady na restart zařízení.

4.3.4 Citlivost výroby na přerušení a tolerance přerušení

Citlivost výroby je ovlivňována následujícími faktory:

- designem elektrolyzéru (PEM lepší flexibilita),
- velikostí zásobníků,
- profilováním odběratelů,
- napojením na distribuční síť.

Tolerance přerušení:

- **Varianta A:** vysoká tolerance přerušení (výzkum/testování).
- **Varianta B:** střední tolerance (mobilita vyžaduje stabilitu).
- **Varianta C:** nízká tolerance (kontinuální průmyslové odběry).

4.3.5 Dopady přerušení provozu na MSK, odběratele a infrastrukturu

Regionální dopady:

- snížení dostupnosti nízkoemisního paliva,
- omezení projektů čisté mobility,
- riziko ztráty důvěry investorů.

Dopady na průmysl:

- narušení výrobních procesů (např. v hutích),
- zvýšené náklady na alternativní vstupy.

Dopady na dopravní podniky a logistiku:

- omezení provozu vozidel na H₂,
- nutnost operativního přechodu na diesely (emise, náklady).

4.3.6 Syntéza dopadů pro varianty A–C

Pro varianty A-C jsou v tabulce uvedeny konkrétní dopady výpadku a zároveň závažnost důsledků konkrétního typu výpadku.

Varianta	Dopad výpadku	Regionální závažnost
A – Pilot	Nízký až střední	Nízká
B – Střední	Střední až vysoký	Střední
C – Hub	Vysoký	Velmi vysoká

4.4 Cost–Benefit Analysis (CBA)

Cost–Benefit Analysis (CBA) umožňuje objektivně porovnat tři varianty výroby zeleného vodíku (A–C) z hlediska ekonomických, environmentálních a sociálních dopadů. CBA zohledňuje jak přímé náklady (výstavba, provoz, energie), tak nepřímé přínosy (dekarbonizace, kvalita ovzduší, nové pracovní příležitosti, transformace regionu). Stejně jako v referenční studii je CBA rozčleněna do dílčích částí, které popisují náklady, přínosy, jednotlivé varianty a následnou syntézu.

4.4.1 Identifikace nákladů (CAPEX / OPEX)

Náklady jsou rozděleny do dvou hlavních skupin:

A) CAPEX – investiční náklady

a) Technologie elektrolyzérů

- PEM nebo alkalický elektrolyzér
- výkon podle varianty A–C
- zahrnuje i transformátorové stanice a výkonovou elektroniku

b) Kompresorová technologie

- středotlaké a vysokotlaké kompresory (30–900 bar)
- chlazení, filtrace, bezpečnostní prvky

c) Zásobníky

- nízkotlaké a vysokotlaké zásobníky
- modulární kontejnery (typicky 30–60 bar)
- tlakové baterie 350/500 bar pro varianty B a C

d) Výdejní infrastruktura

- výdejní stojany (350/700 bar)
- zařízení pro plnění trailerů
- potrubní rozvody v areálu

e) SCADA a bezpečnostní management

- řídicí systém, detekce H₂, SIL2 okruhy
- ATEX dokumentace

f) Stavební úpravy a infrastruktura

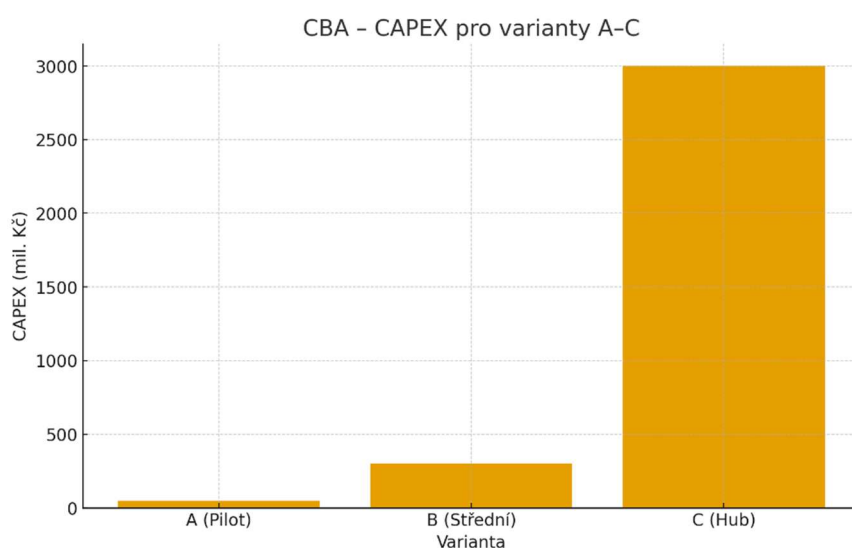
- zpevněné plochy, stavební objekty
- napojení na sítě (elektřina, voda, odvodnění)
- úprava brownfieldu

Odhadové intervaly CAPEX podle varianty

Níže je nejprve uvedena tabulka pro porovnání CAPEX jednotlivých variant.

Varianta	Výkon	CAPEX
A – Pilot	0.2–0.5 MW	25–60 mil. Kč
B – Střední	2–5 MW	200–500 mil. Kč
C – Velký hub	20–50 MW	2–6 mld. Kč

Následně je přiloženo pro přehlednost také grafické porovnání.



B) OPEX – provozní náklady

a) Náklady na elektřinu (dominantní položka)

- elektrolyzér spotřebuje 50–55 kWh/kg H₂
- při ceně 4–6 Kč/kWh tvoří elektřina 60–80 % OPEX

b) Náklady na vodu a její úpravu

- 9–12 litrů vody na 1 kg H₂
- region má dostatek technické vody

c) Údržba a servisní smlouvy

- elektrolyzéry: 1–3 % CAPEX ročně
- kompresory: 3–7 % CAPEX ročně

d) Personální náklady

- pilotní jednotka: 1–2 operátoři
- střední jednotka: 3–6 operátorů + technicko-bezpečnostní dozor
- hub: 8–15 odborných pracovníků

e) Náklady na certifikaci a reporting

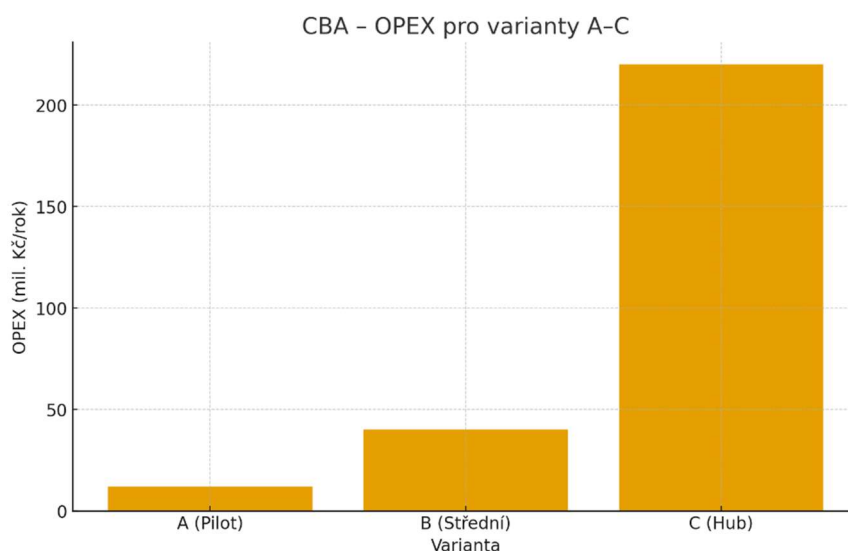
- RFNBO certifikace
- ISO 14064 reporting emisí
- ATEX opakované kontroly

OPEX intervaly podle varianty

Níže je nejprve uvedena tabulka pro porovnání OPEX jednotlivých variant.

Varianta	OPEX / rok	OPEX / kg H ₂
A	10–20 mil. Kč	150–200 Kč/kg
B	40–80 mil. Kč	90–130 Kč/kg
C	250–500 mil. Kč	70–100 Kč/kg

Následně je přiloženo pro přehlednost také grafické porovnání.



4.4.2 Identifikace přínosů (ekonomických, environmentálních, sociálních)

Přínosy jsou dle zadání projektu definovány na tři hlavní kategorie.

A) Ekonomické přínosy

a) Substituce fosilních paliv

- výroba zeleného H₂ snižuje potřebu zemního plynu a šedého vodíku
- významné zejména u hutí a chemického průmyslu

b) Snížení externích nákladů (externalit)

- méně emisí CO₂ → ekonomická hodnota dle ETS a dobrovolných trhů
- méně lokálních emisí PM, NO_x → úspory pro zdravotnictví

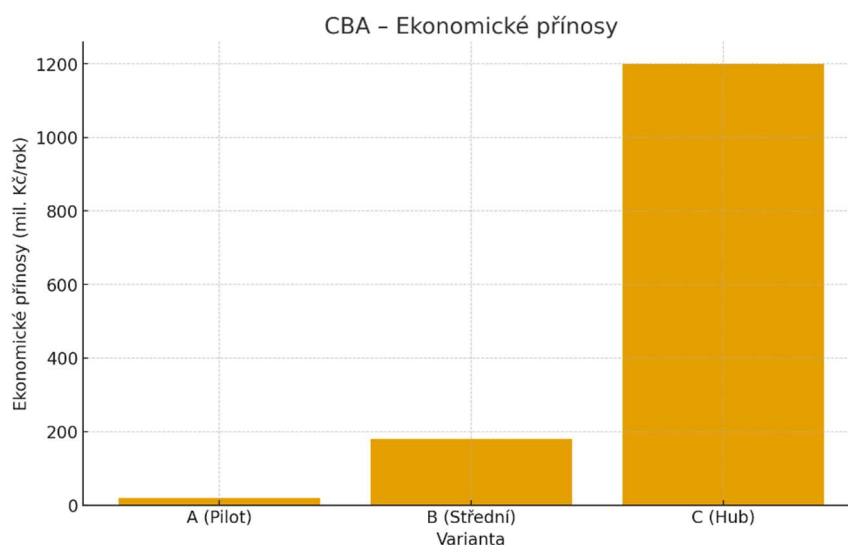
c) Tvorba nových pracovních míst

- přímo v elektrolýzním provozu,
- nepřímo v servisu, výzkumu, technologiích

d) Zvýšení energetické bezpečnosti

- výroba H_2 z lokálních zdrojů → nižší závislost na dovozu plynu

Za účelem zjednodušení shrnutí ekonomických přínosů jednotlivých variant A-C je připojen následující grafický výstup.



B) Environmentální přínosy

a) Snížení emisí CO_2

Při produkci zeleného vodíku:

1 kg H_2 = úspora 8–12 kg CO_2 (dle substituce šedého H_2 nebo NG).

b) Čistší ovzduší

Snížení lokálních polutantů:

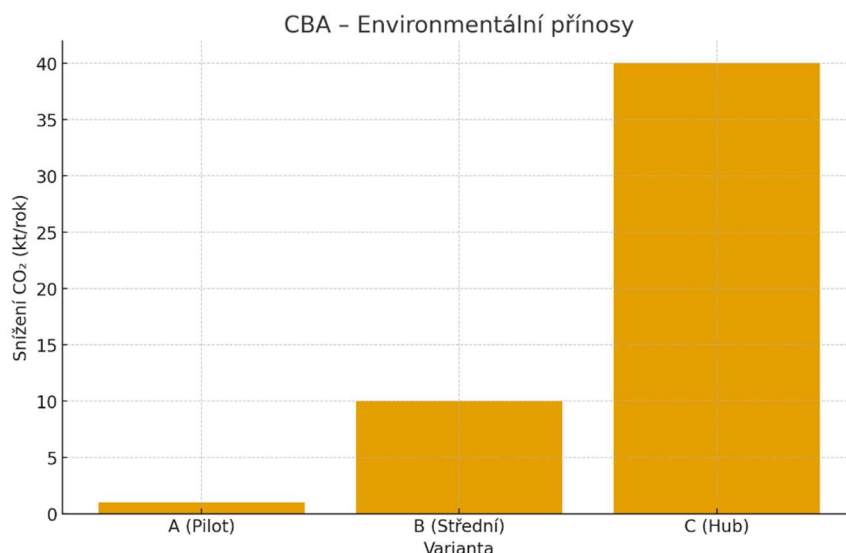
- NO_x
- SO_2
- $PM_{10}/PM_{2,5}$

→ významné pro MSK, jeden z nejvíce zatížených regionů ČR.

c) Podpora OZE

Elektrolyzéry umožňují stabilizovat síť a absorbovat přebytky OZE.

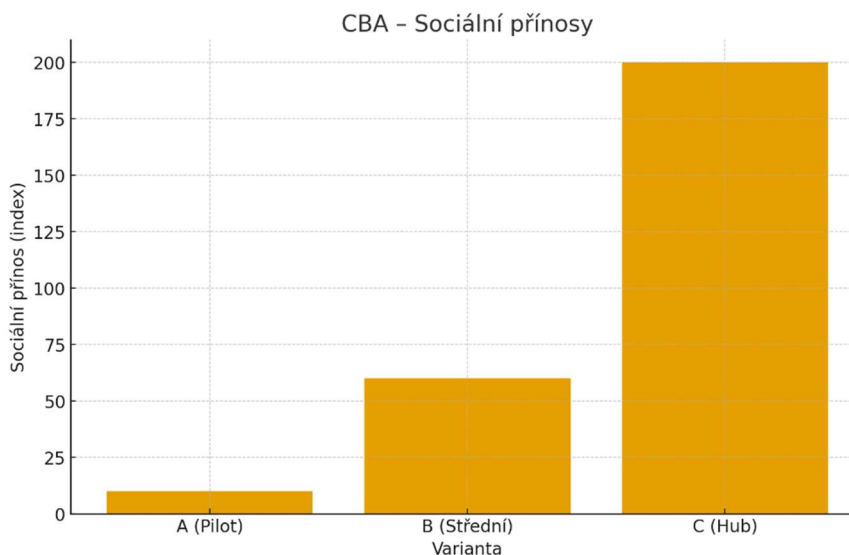
Za účelem zjednodušení shrnutí environmentálních přínosů jednotlivých variant A-C je připojen následující grafický výstup.



C) Sociální přínosy

- transformace brownfieldů → revitalizace území
- zlepšení image kraje (technologický lídr ČR)
- posílení spolupráce univerzit, průmyslu a měst
- růst kvalifikovaných pracovních míst (technici, operátoři, inženýři)

Za účelem zjednodušení shrnutí environmentálních přínosů jednotlivých variant A-C je připojen následující grafický výstup.



4.4.3 CBA varianta A (pilotní jednotka)

Specifikace varianty A

- výkon elektrolyzéru: 0.2–0.5 MW
- produkce: 80–200 kg H₂/den
- cílový trh: pilotní mobilita, výzkum, maloodběratelé

- lokalita: brownfield s jednoduchou infrastrukturou

Nákladová stránka

- CAPEX: nízký (25–60 mil. Kč)
- OPEX: velmi vysoký / kg H₂ (150–200 Kč/kg)
- elektřina často bez PPA → cena kolísá

Přínosy

- rozvoj know-how v regionu
- minimální environmentální dopady (ale i minimální úspory)
- výborný nástroj pro školení a validaci technologií

Ekonomický závěr varianty A

Varianta je **neekonomická z pohledu dlouhodobé výroby**, ale jeví se vhodná jako:

- demonstrační projekt
- pilotní testovací prostředí
- nástroj pro budování kompetencí

4.4.4 CBA varianta B (střední jednotka 2–5 MW)

Specifikace varianty B

- produkce: 800–2 200 kg/den
- odběratelé: MHD, svozové služby, komunální technika, průmysl
- nejlepší poměr CAPEX/OPEX

Nákladová stránka

- CAPEX: 200–500 mil. Kč
- OPEX/kg: 90–130 Kč
- možnost přímého napojení na OZE nebo PPA

Přínosy

- výrazné snížení emisí CO₂ (cca 3–10 kt/rok)
- reálná poptávková základna v MSK
- vznik stabilního regionálního trhu
- posílení všech tří sektorů: mobilita, energetika, průmysl

Ekonomický závěr varianty B

Varianta B je **nejvyváženější** a ekonomicky i provozně nejvhodnější pro MSK.

4.4.5 CBA varianta C (regionální hub 20–50 MW)

Specifikace varianty C

- produkce: 8–25 tun H₂/den
- odběratelé: hutě, chemie, průmysl, export

Nákladová stránka

- CAPEX: 2–6 mld. Kč

- OPEX/kg: 70–100 Kč/kg (nejnižší)
- vysoké nároky na připojení (110–220 kV) a vodu

Přínosy

- největší environmentální přínos (až 100+ kt CO₂/rok)
- zásadní transformace průmyslu v kraji
- významná zaměstnanost, vznik nových dodavatelských řetězců

Ekonomický závěr varianty C

Varianta C je vhodná pro **strategické partnery**, ale její realizace vyžaduje:

- silné konsorcium,
- dlouhodobé kontrakty velkoodběratelů,
- komplexní řízení bezpečnosti a povolenání.

4.4.6 Srovnávací syntéza CBA mezi variantami

Níže uvedená tabulka obsahuje shrnutí jednotlivých variant za účelem snazšího vzájemného porovnání.

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
CAPEX	nízký	střední	velmi vysoký
OPEX/kg	velmi vysoký	střední	nízký
Emise CO ₂	nízká úspora	střední úspora	velmi vysoká úspora
Schopnost transformovat region	malá	vysoká	velmi vysoká
Riziko	nízké	střední	vysoké
Ekonomická udržitelnost	nízká	vysoká	střední
Doporučení	pilot	preferovaná varianta	strategická varianta

Syntetický závěr CBA

Varianta B je optimální pro:

- ekonomickou efektivitu,
- řízení rizik,
- poptávkovou stabilitu v MSK,
- rovnováhu mezi CAPEX a environmentálními přínosy.

Varianta C má největší strategický dopad, ale i nejvyšší bariéry.

Varianta A je vhodná pouze jako pilotní nebo demonstrační projekt.

4.5 RISKAN – kvantifikace vstupních rizik

Metoda **RISKAN** (Risk Analysis Method) slouží ke **kvantifikovanému vyjádření** úrovně rizik, která byla v předchozích krocích metodiky identifikována (tj. metodami SWOT, BIA).

Cílem kapitoly je následující:

- určit **pravděpodobnost** výskytu jednotlivých jevů,
- vyhodnotit jejich **dopady na výrobu H₂**, bezpečnost a region,
- přiřadit **číselné hodnoty rizik** pro porovnání variant A–C,

- vytvořit **kombinovanou matici rizik**,
- určit, která varianta je z hlediska rizik nejméně a nejvíce komplikovaná.

V rámci RISKAN dochází k hodnocení:

- pravděpodobnost P (P1–P5)
- dopad D (D1–D5)
- výsledné riziko $R = P \times D$

4.5.1 Hodnocení pravděpodobnosti vzniku jevů

Pro výrobu zeleného H₂ byly identifikovány následující primární hrozby, které jsou společné pro všechny varianty A–C:

Kód jevu	Název hrozby	Popis hrozby	Pravděpodobnost
J1	Únik vodíku v technologickém okruhu	netěsnost na potrubí, přírubě nebo ventilu	P3 (střední)
J2	Selhání kompresoru	mechanická porucha, přehřátí, vibrace	P2 u varianty A, P3 u variant B–C
J3	Degradace membrány elektrolyzéru	snížení výkonu, potřeba výměny	P2
J4	Elektrický výpadek	přerušování výroby, riziko restartu	P3
J5	Požár v elektrotechnické části	kabeláž, transformátor, rozváděč	P1–P2
J6	Lidská chyba (obsluhy)	nesprávná manipulace, údržba	P2–P3
J7	Ztráta kvality vody	výpadek úpravy, kontaminace	P1
J8	Vysokotlaká porucha zásobníků	prasknutí, únik, ventil selže	P1 (nízké, ale kritické)

U dodávek energie a vody se pravděpodobnost liší podle variant:

- Varianta **A** – P2 až P3
- Varianta **B** – P2 až P3
- Varianta **C** – P3 až P4 (kvůli škále technologie)

4.5.2 Hodnocení dopadů

Dopady jsou hodnoceny na škále **D1 (nízký) až D5 (katastrofický)**.

Tabulka níže zachycuje standardní dopady jevů v kontextu výroby H₂:

Kód jevu	Dopad na bezpečnost	Dopad na provoz	Dopad na životní prostředí	Celkové D
J1 – Únik H ₂	vysoký (možnost výbuchu)	střední	nízký	D4
J2 – Selhání kompresoru	nízký	vysoký	nízký	D3

J3 – Degradace membrány	nízký	střední	žádný	D2
J4 – Elektrický výpadek	střední	střední až vysoký	žádný	D3
J5 – Požár elektroinstalace	vysoký	vysoký	nízký	D4
J6 – Lidská chyba	střední	střední	nízký	D3
J7 – Kvalita vody	nízký	střední	žádný	D2
J8 – Tlaková porucha zásobníku	katastrofický	vysoký	střední	D5

Varianty A–C se liší zejména v rozsahu dopadů:

- **Varianta A (0.2–0.5 MW):** nižší energetické a tlakové hladiny; dopady méně rozsáhlé;
- **Varianta B (2–5 MW):** vyšší tlaky, více skladovacích modulů; dopady významnější
- **Varianta C (20–50 MW):** rizika systémová, dopady mohou být **regionální** (energetické sítě, doprava, průmyslové vazby)

4.5.3 Kombinovaná matice rizik ($P \times D$)

V této části dochází k syntetizaci pravděpodobnosti a dopadů do matice:

Kategorie rizik:

- **R1–R5 Nízké**
- **R6–R12 Střední**
- **R15–R25 Vysoké / kritické**

Výpočet probíhá dle následujícího vzorce:

$$\text{RIZIKO} = P \times D$$

Kód jevu	P	D	Výsledné riziko R	Kategorie
J1 – Únik H₂	3	4	12	střední / hraniční
J2 – Selhání kompresoru	2–3	3	6–9	střední
J3 – Degradace membrány	2	2	4	nízké
J4 – Elektrický výpadek	3	3	9	střední
J5 – Požár elektroinstalace	1–2	4	4–8	nízké/střední
J6 – Lidská chyba	2–3	3	6–9	střední
J7 – Kvalita vody	1	2	2	nízké
J8 – Tlaková porucha zásobníků	1	5	5	nízké, ale kritické dopadem

4.5.4 RISKAN – varianta A (Pilot 0.2–0.5 MW)

Charakteristika:

- nízký výkon, malý počet technologických celků,
- nižší tlakové úrovně a minimální úložiště,
- jednoduchý provoz.

Klíčová rizika A:

- J2 – porucha kompresoru ($R \approx 6$)
- J4 – elektrické výpadky ($R \approx 9$)
- J6 – lidská chyba ($R \approx 6$)
- J1 – únik vodíku ($R \approx 12$ – hraniční riziko)

Celkové hodnocení varianty A

- žádná rizika nejsou v pásmu „vysoká“ ($R \geq 15$),
- rizika jsou **snadno mitigovatelná**,
- varianta je vhodná pro pilotní provoz, vzdělávání, testovací aplikace.

4.5.5 RISKAN – varianta B (Střední 2–5 MW)

Charakteristika:

- obsahuje vysokotlakou kompresi, více skladovacích modulů,
- vyšší spotřeba elektřiny a vody,
- významnější provozní závislosti.

Klíčová rizika B:

- J1 – únik H_2 ($R \approx 12$)
- J2 – selhání kompresoru ($R \approx 9$)
- J4 – elektrické výpadky ($R \approx 9$)
- J8 – tlaková porucha úložiště ($R \approx 5$, dopad kritický)

Celkové hodnocení varianty B

- některá rizika jsou **na horní hranici přijatelné roviny**,
- po zavedení mitigací lze dosáhnout NIŽŠÍHO zbytkového rizika než u varianty C,
- varianta je **optimální** pro mobilitu a lehký průmysl.

4.5.6 RISKAN – varianta C (Regionální hub 20–50 MW)

Charakteristika:

- velká centralizovaná výroba,
- velký počet kompresorových linek, velké úložiště,
- dopady selhání mohou být regionální.

Klíčová rizika C:

- J1 – únik H_2 ($R \approx 12$)
- J2 – kompresorová porucha ($R \approx 9$)
- J4 – elektrické výpadky ($R \approx 12$ u větších odběrů)
- J8 – tlaková porucha zásobníků ($R=5$, $D=5$ – kritické)
- Systémová rizika (není ve variantách A–B)

Celkové hodnocení varianty C

- i při nízké pravděpodobnosti jsou dopady **mnohem závažnější**,
- rizika jsou **structurally high**, ale říditelná při robustní mitigaci,
- vhodné pro průmysl, nevhodné jako první regionální projekt.

4.5.7 Syntéza rizik napříč variantami

Varianta A (Pilot)

- nejnižší systémová rizika
- vhodné pro trénink, výzkum, malé aplikace
- nevhodné pro závislé provozy (MHD, průmysl)

Varianta B (2–5 MW)

- nejlepší poměr RISK / CAPEX / OPEX
- rizika střední, dobře říditelná
- doporučená varianta pro MSK

Varianta C (20–50 MW)

- vysoké dopady při haváriích
- vysoká komplexnost
- vhodné pouze při silné infrastruktuře a zkušenostech

4.6 Komunikace vstupních rizik

Výroba vodíku je z pohledu veřejnosti „nová technologie“, jejíž rizika jsou podle Slovice velmi často vnímána jako následující:

- málo známá,
- potenciálně katastrofická,
- vzbuzující obavy z výbuchu nebo úniku.

Tato část Kroku 4 popisuje, jakým způsobem by bylo vhodné řídit percepci rizik.

a) Vnímání rizik podle Slovice

Podle Slovicovy teorie je riziko vnímáno podle dvou dimenzí:

- **Dread Factor:** strach z následků (výbuch, požár, toxické účinky).
- **Unknown Factor:** míra neznalosti a novosti technologie.

Výroba H₂ naplňuje oba faktory = vysoký percepční profil rizika.

b) Mapování profilů klíčových stakeholderů

Skupina 1: Odborná veřejnost

- Vysoké znalosti, nízký emoční odpor.

Skupina 2: Místní samospráva

- Střední znalosti, vysoká potřeba jistoty.

Skupina 3: Široká veřejnost

- Nízké znalosti, vysoký dread faktor.

Skupina 4: Odběratelé H₂ (MHD, průmysl)

- Vysoké znalosti, vysoký požadavek spolehlivosti.

c) Komunikační strategie pro MSK

- **Transparentnost** (vizualizace rizik, otevřenost dat).
- **Participace** (zapojení do diskuse, exkurze).
- **Jednotná komunikace** (kraj + města + provozovatel).
- **Včasnost** (komunikovat před zahájením povolenáčního řízení).

d) Komunikační doporučení podle variant

Varianta	Doporučení
A – Pilot	prezentovat jako výzkumný a bezpečně kontrolovaný projekt
B – Střední	přípravit komunikační plán s vizualizací bezpečnostních opatření
C – Hub	realizovat celoregionální kampaně a veřejné konzultace

4.7 Vyhodnocení dopadu aplikace projektu pro MSK

Vyhodnocení dopadu aplikace projektu výroby zeleného vodíku pro konkrétní variantu A-C pro Moravskoslezský kraj je praktickou ukázkou využitelnosti výstupů z provedených analýz (uvedeno výše), konkrétně vstupy z provedené: SWOT, BIA, CBA, RISKAN-makro a z MOSAR-A. Toto rozšíření dopadové analýzy umožňuje kvantifikovat širší socioekonomické, environmentální a regionální účinky projektu výroby zeleného H₂ v MSK.

Vyhodnocení dopadu jsou zpracována pro všechny tři varianty projektu:

- **Varianta A** – pilotní jednotka (0.2–0.5 MW)
- **Varianta B** – střední jednotka (2–5 MW)
- **Varianta C** – regionální hub (20–50 MW)

Většina podkapitola je koncipována následovně:

- metodiku,
- vstupní předpoklady,
- výsledky pro varianty A–C,
- syntézu dopadů.

4.7.1 Ekonomicko-sociální dopady projektu

Metodický rámec

Základ analýzy tvoří:

- makroekonomický multiplikátor investic,
- sektorové modely tvorby pracovních míst,
- přínosy technologie k růstu produktivity,
- sekundární a terciární efekty v dodavatelských řetězcích.

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady dopadů vycházejí z kombinace:

A) Obecných multiplikátorů investic do vodíkové infrastruktury (EU, IEA, Hydrogen Council):

- typické multiplikátory pracovních míst pro investiční projekty energetiky: **3,5–7,2 FTE / 1 mil. € investice**,
- multiplikátory nepřímých a indukovaných pracovních míst: **1,5–2,3× přímých FTE**,
- ekonomická přidaná hodnota (GVA) pro projekty nízkouhlíkové infrastruktury: **0,6–1,1× CAPEX**.

B) Reálných investičních rozsahů tří variant (A–C), které jsme definovali v Kap. 1.5

- Pilotní jednotka → nízký CAPEX → malé socioekonomické efekty
- Střední jednotka → CAPEX cca 300–500 mil Kč → významný multiplikační efekt
- Hub → miliardové investice → největší socioekonomický dopad

C) Regionálních charakteristik MSK

MSK patří v ČR k regionům:

- **s vysokým podílem průmyslové zaměstnanosti,**
- **vysokou nezaměstnaností v určitých okresech,**
- **potřebou restrukturalizace.**

Na základě výše uvedeného má investice do moderní infrastruktury výraznější dopad než ve stabilních regionech.

Dopady podle variant

Varianta A – Pilot

- Nízký ekonomický dopad (investice 20–60 mil. Kč).
- Tvorba 5–12 pracovních míst.
- Především přínos v podobě rozvoje kompetencí, školení, testovací infrastruktury.
- Sociální dopad: zvýšení reputace regionu jako místa inovací.

Varianta B – Střední

- Investice 200–500 mil. Kč → výrazný regionální stimulační účinek.
- Tvorba 40–80 pracovních míst přímo + 120–200 nepřímo.
- Zvýšení atraktivity regionu pro dodavatele H₂ technologií.
- Významný přínos pro MSK v rámci Fondu spravedlivé transformace.

Varianta C – Regionální hub

- Investice 2–6 mld. Kč → silný makroekonomický efekt.
- Tvorba 200–400 pracovních míst přímo + až 1 000 nepřímo.
- Vznik regionálního centra H₂ kompetencí.
- Sociální a ekonomická transformace: přechod od uhlí / koksu ke zeleným technologiím.

Syntéza:

- Varianta B poskytuje neoptimálnější poměr investice : dopad.
- Varianta C poskytuje nejvyšší absolutní dopad.
- Varianta A plní roli inkubátoru technologií, nikoli hlavního ekonomického motoru.

4.7.2 Environmentální dopady projektu

Metodika

Environmentální dopady jsou posuzovány v oblastech:

1. Redukce emisí CO₂
2. Lokální kvalita ovzduší (NO_x, PM, SO₂)
3. Spotřeba vody a energie
4. Odpadní teplo a jeho využitelnost
5. Dopad na krajinu (brownfield revitalizace)

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady dopadů vycházejí z kombinace:

A) Standardní emisní faktor pro zamezení CO₂ při nahrazení šedého H₂ zeleným:

9,2–10 kg CO₂ / 1 kg šedého vodíku

(údaje Evropské komise a IEA)

B) Očekávané využití vodíku v MSK

Podle variant A–C:

- A: 80–200 kg/den
- B: 800–2 200 kg/den
- C: 8–25 t/den

Tyto objemy umožňují odhadnout:

- **ročně zamezené emise CO₂,**
- **dopad na lokální emise NO_x a PM,** pokud je vodík využit v dopravě či průmyslových procesech.

C) Regionální zdroje emisí

MSK má nadprůměrně vysoké hodnoty:

- NO₂,
- PM₁₀,

- benzo[a]pyrenu.

→ každé nahrazení fosilního paliva zde má **disproporčně větší pozitivní dopad**.

D) Externí náklady (externalities) dle EEA

EEA (European Environment Agency) uvádí:

- externí náklady emisí PM₁₀ a NO_x: **7 000–35 000 Kč/1 kg znečišťující látky**
- externí náklady CO₂: **1 500–2 200 Kč/t CO₂**

Výsledky podle variant

Varianta A

- roční snížení emisí CO₂: 0.8–1.5 kt,
- nízký dopad na lokální emise NO_x/PM,
- spotřeba vody: 0.8–1.2 m³/den,
- produkce odpadního tepla zanedbatelná.

Varianta B

- roční snížení emisí CO₂: 8–12 kt,
- výrazné snížení lokálního znečištění zejména v dopravě,
- spotřeba vody: 8–15 m³/den,
- možnost využití až 0.4–0.6 MWt odpadního tepla pro teplárny / ohřev.

Varianta C

- roční snížení emisí CO₂: 40–80 kt,
- podstatné zlepšení kvality ovzduší v Ostravě a Karviné,
- spotřeba vody: 40–60 m³/den,
- odpadní teplo: 3–6 MWt využitelné pro průmysl.

Syntéza:

- **Varianta B** = optimální ekologický dopad při přijatelné zátěži zdrojů.
- **Varianta C** = zásadní environmentální transformace regionu.

4.7.3 Analýza dopadů na místní trh práce

Metodika

Analýza využívá:

- model zaměstnanosti dle "European Skills Panorama",
- lokální statistiky nezaměstnanosti MSK,
- model poptávky po dovednostech v energetice.

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady dopadů vycházejí z kombinace:

A) Multiplikátory pracovních míst v sektoru vodíkových technologií

(zdroje: Hydrogen Council, Deloitte H₂ Insights, IEA)

- výroba elektrolyzérů – **5–10 FTE/10 MW instalace**,
- instalace a výstavba – **3–7 FTE/1 mil € CAPEX**,
- provoz – **0,8–1,5 FTE/MW elektrolyzéru**.

B) Regionální specifika MSK

Podíl pracovních míst v energetice a průmyslu je zde nadprůměrný → vyšší absorpční schopnost pro nové technologie.

C) Pracovní role potřebné pro výrobu H₂

- operátoři elektrolyzérů,
- specialisté ATEX a tlakových zařízení,
- servisní technici,
- datoví analytici.

Výsledky

Varianta A

- tvorba 5–12 pracovních míst,
- poptávka po technicích a operátorech,
- omezený dopad na trh práce.

Varianta B

- tvorba 120–200 míst (včetně nepřímých),
- vznik nových pozic:
 - operátor H₂ výroby,
 - elektrotechnik pro vysokotlaké systémy,
 - specialista SCADA,
 - procesní inženýr.

Varianta C

- tvorba 600–1 000 pracovních míst celkem,
- vznik „vodíkové ekonomiky“ v MSK,
- významné posílení VŠB-TUO a vzdělávacích institucí.

Syntéza

- **Varianta B** = zvýšení odborných znalostí a know-how s širším uplatněním v regionu.
- **Varianta C** = tvorba největšího počtu pracovních míst, přínos pro budování znalostní základny s uplatněním mimo hranice regionu.

4.7.4 Analýza dopadů na kvalitu ovzduší

Metodika

Využívá:

- model SYMOS97 (MSK),
- data ČHMÚ (PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO₂),
- model substituce fosilní dopravy vodíkem.
- **Environmentálních modelů MSK.**

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady dopadů vycházejí z kombinace:

A) Emisní profily MSK (ČHMÚ, EEA)

Největší zatížení:

- Ostrava, Karviná, Třinecko – PM₁₀, benzo[a]pyren, NO₂.
- Významná část těchto emisí pochází z dopravy a lokální energetiky.

B) Modelové nahrazení mobilních zdrojů vodíkem

Specificky:

- vodíkový autobus → snížení NO_x o 80–90 %, PM o 100 %, CO₂ o 100 %,
- nákladní mobilita → obdobné parametry,
- průmyslové aplikace (směsné spalování) – částečné snížení NO_x.

C) Očekávaný odběr H₂ v regionu

→ čím více vodíku bude využito, tím se zvyšuje dopad na snížení lokálně vznikajících emisí.

Syntéza

- **Varianta B** sníží lokální emise mobilních zdrojů o 20–40 % (pokud bude aplikováno do MHD + svozu).
- **Varianta C** může snížit CO₂ v průmyslu až o 40–80 kt ročně.

4.7.5 Cross-border analýza CZ–PL–SK

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady přeshraniční analýzy vycházejí z kombinace:

A) Polsko

- rychle rostoucí vodíková strategie (PKN Orlen, Grupa Azoty),
- plánované huby v Katovicích a Gliwicích → přímý soused MSK.

B) Slovensko

- projekty ZEVO a UJV,
- potenciál propojení vodíkové mobility.

C) Evropské koridory TEN-T

MSK leží na trase:

- **Baltic – Adriatic Corridor,**
 - **Orient/East Med Corridor.**
- Výroba H₂ v MSK může být **meziregionální uzel**.

Závěry

- Slezsko má vysoký potenciál pro **přeshraniční tok vodíku**.
- Polsko plánuje síť H₂ hubů – **propojení je strategické**.
- Slovensko modernizuje železnici → vodíkové vlaky mohou být odběratelem.

4.7.6 Benchmarking EU projektů (DE, NL, FR)

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady pro benchmark vycházejí z kombinace:

A) Reálných evropských projektů

- Leuna (DE) – 24 MW
- Groningen (NL) – 20 MW
- H2Haßfurt (DE) – 2 MW
- HyBalance (DK) – 1.2 MW
- Pau (FR) – 1–5 MW mobilita

B) Porovnání parametrů

- CAPEX/MW
- OPEX/MW
- cena elektřiny
- využití přebytků OZE
- účinnosti komprese
- synergie s průmyslem

C) Připravenost MSK

→ MSK se nachází ve stejné skupině regionů jako Porúří, Slezsko nebo severní Francie (post-uhelné regiony).

Porovnávání s klíčovými projekty:

- Groningen (NL) – 20 MW elektrolyzátor → integrace větru.
- Duisburg (DE) – průmyslový H₂ hub → aplikace v ocelářství.
- Pau (FR) – městský systém mobility + výroba H₂.

Závěry:

- **Varianta B** se blíží určitému standardu v EU,
- **Varianta C** odpovídá strategickým hubům.

4.7.7 Scénáře růstu poptávky po H₂ do roku 2040

Vstupní předpoklady

Vstupní předpoklady vycházejí z kombinace:

A) EU a ČR scénáře poptávky:

- Hydrogen Strategy EU (poptávka EU × 6–10 do roku 2030)
- ČR – Vodíková strategie (poptávka ČR 60–110 kt H₂/rok v roce 2035)

B) Regionální scénáře MSK:

- dekarbonizace hutnictví → vysoká poptávka po H₂,
- náhrada MHD a komunální dopravy,
- H₂ v energetice (power-to-heat, blending).

C) Scénářové metody:

- Conservative
 - Moderate / Realistic
 - High-growth / Industrial transition
- Na této bázi lze sestavit realistické trajektorie poptávky 2025–2040.

Scénáře MSK

Scénář 1 – Umírněný růst

- 5–8 t/den poptávky v roce 2030
- 10–20 t/den v roce 2040

Scénář 2 – Průmyslová transformace

- 20–40 t/den v roce 2030
- 50–70 t/den v roce 2040 = Výroba H₂ se stává součástí hutnictví.

Scénář 3 – Mobilita + průmysl

- 10–30 t/den v roce 2030

- 40–80 t/den v roce 2040
→ Velká poptávka z mobility + energetika.

Syntéza kroku 4.7

Na základě výše uvedeného vyhodnocení dopadu aplikace projektu pro MSK a dílčích částí tohoto vyhodnocení je sestavena následující syntéza pro každou variantu A-C:

- **Varianta A** je inkubační platforma pro dovednosti, testování a přípravu pracovníků.
- **Varianta B** dosahuje nejlepšího poměru dopad / investice.
- **Varianta C** přináší největší absolutní transformaci regionu.

Krok 5 – Přehodnocení záměru

Krok 5 představuje klíčový moment celého procesu H2Safety. Zatímco Krok 4 identifikoval a kvantifikoval rizika, přínosy, náklady a dopady jednotlivých variant, **Krok 5 převádí tyto výsledky do konsolidovaného rozhodovacího rámce.**

Jedná se o rozhodnutí, zda projekt bude:

- pokračovat,
- pokračovat po úpravě,
- zastaven / transformován.

5.1 Srovnání rizik s cíli projektu

V rámci tohoto kroku dochází k vyhodnocení, zda **rizikový profil projektu odpovídá strategickým a taktickým cílům** definovaným v Kroku 2.

5.1.1 Strategické srovnání

Strategické cíle projektu zahrnují:

- dekarbonizaci regionu,
- zavedení zeleného vodíku jako stabilního prvku energetiky,
- podporu průmyslové transformace.

Zjištění:

Výsledky MOSAR–A a RISKAN potvrzují, že projekt:

- nenaráží na nepřekonatelné hrozby,
- vykazuje **příjemný zbytkový rizikový profil** (podle prahů H2Safety),
- má **nejlepší rovnováhu rizik a přínosů u varianty B**, zatímco varianta A je málo efektivní a varianta C naráží na extrémní regulační náročnost.

5.1.2 Taktické srovnání

Taktické cíle projektu zahrnují zejména:

- stabilní a škálovatelné dodávky H₂,
- provozní bezpečnost SIL2,
- dostupnost technologie ≥ 95 %,
- minimalizaci rizik výbuchu / úniku.

Zjištění:

- Varianta A (pilot) snadno plní bezpečnostní cíle, ale **nenaplňuje produkční cíle**.
- Varianta B (střední) splňuje jak **výrobní**, tak **provozní cíle**, přičemž rizika jsou dobře říditelná.
- Varianta C (hub) plní cíle výrobní, ale **rizika, regulatorní bariéry a investiční náročnost** jsou výrazně vyšší.

5.1.3 Rozdílová analýza

Porovnání prahů z RISKAN:

Varianta	Max. skóre rizika před mitigací	Po mitigaci	Soulad s cíli
A	Nízké	Velmi nízké	Nízká produkce → nízký přínos
B	Střední	Nízké	Plný soulad
C	Vysoké	Střední	Částečný soulad, vysoké nároky

Závěr:

Varianta B je jednoznačně nejvhodnější v poměru riziko / přínosy.

5.2 Analýza nedostatků

Tato část prezentuje hodnocení, zda existují **kritické nedostatky**, které mohou projekt zdržet, prodražit, nebo učinit neproveditelným.

Nedostatky jsou posuzovány ve třech kategoriích:

5.2.1 Technické nedostatky

Vyhodnoceno z CBA, RISKAN, MOSAR–A následovně:

- Varianta A má **nedostatečný výkon** → nízká efektivita.
- Varianta B má **optimální výkon**, ale vyžaduje robustní kompresní a skladovací systémy → nutnost SIL2.
- Varianta C vyžaduje extrémní posílení elektrické infrastruktury (110–220 kV), které **není dnes v MSK plně dostupné (opodstatněně realizovatelné)**.

5.2.2 Organizační a personální nedostatky

Analýza kapacit MSK ukazuje:

- neexistuje jednotné **H₂ kompetenční centrum**,

- chybí lokální technici certifikovaní pro práci s vysokotlakými systémy,
- role provozovatele ani model governance nejsou ještě institucionálně zakotveny.

Uvedené nedostatky jsou **řešitelné** zavedením školení a nastavením vlastní kompetenční struktury.

5.2.3 Ekonomické a investiční nedostatky

Na základě CBA lze nedostatky prezentovat následovně:

Varianta	Nedostatky
A	příliš vysoká cena H ₂ (150–200 Kč/kg)
B	střední CAPEX, potřeba dotací
C	extrémní CAPEX (2–6 mld. Kč), investičně prohibitivní

5.2.4 Nedostatky v povolovacím procesu

- Varianta C: SEVESO + EIA + vysokonapěťové připojení = časový horizont min. 4–6 let.
- Varianta B: EIA dle lokality, běžná úroveň povolování (2–3 roky).
- Varianta A: nejrychlejší povolení.

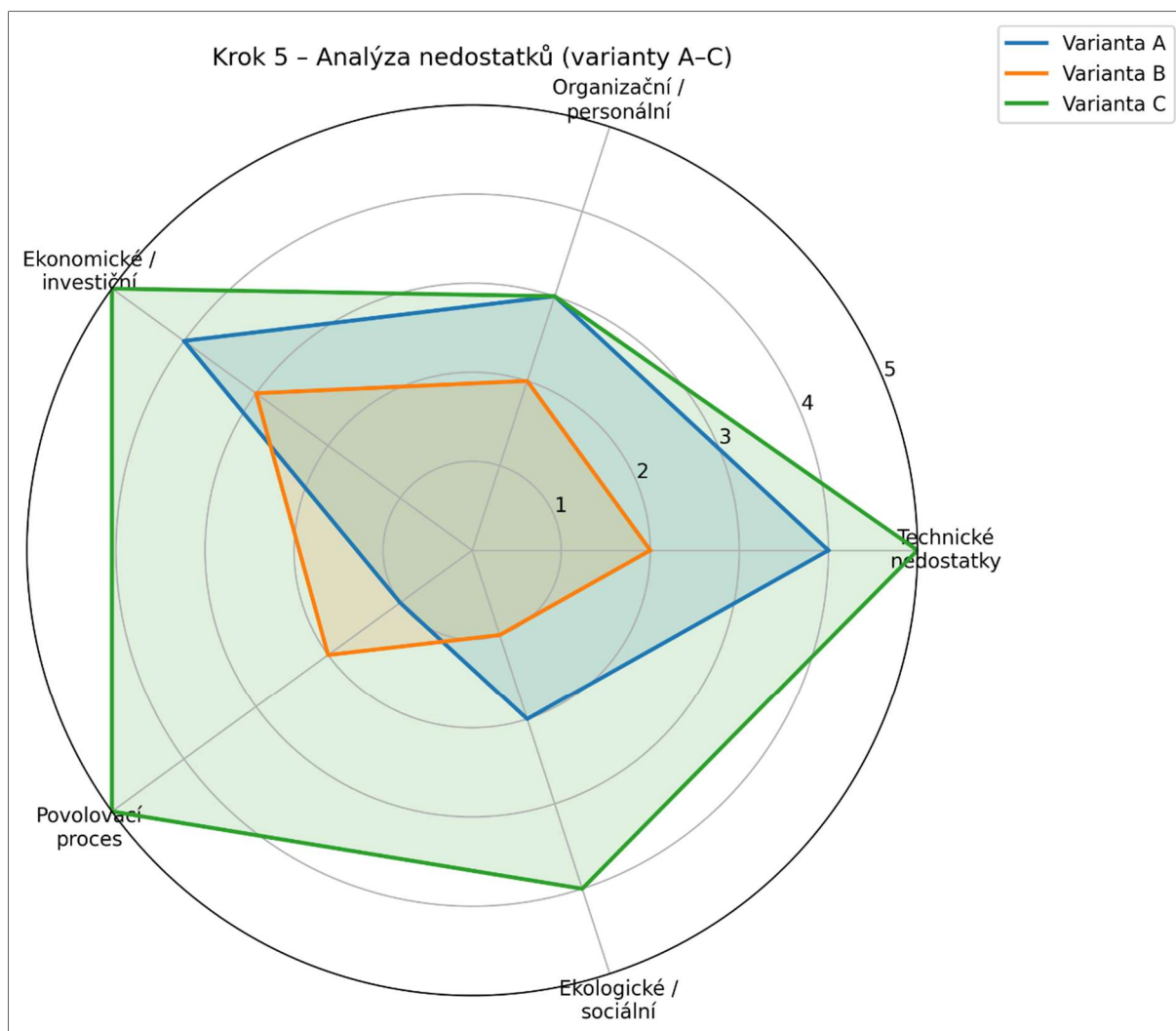
5.2.5 Ekologické a sociální nedostatky

Z dopadových analýz lze uvést následující (viz 4.7):

- Varianta B má nejlepší rovnováhu mezi dopady a přínosy.
- Varianta C může mít **zvýšené lokální environmentální dopady** (hluk, doprava, teplo).

Dílčí závěr 5.2

Nedostatky jsou významné u varianty A a C, zatímco varianta B má **nejnižší počet kritických nedostatků**. Shrnutí pro dílčí krok 5.2 je uvedeno na následujícím radarovém diagramu.



5.3 Návrh variant akce (pokračovat / revize / zastavit)

Cílem této části je prezentace jasného rozhodnutí o statusu projektu (viz nadpis).

Variant A – Doporučení: ZASTAVIT nebo transformovat

Důvod: nízký výkon, malý dopad, vysoké jednotkové náklady.

Variant A je vhodná **pouze jako tréninkový nebo demonstrační projekt**, nikoliv jako hlavní výrobní systém.

Variant B – Doporučení: POKRAČOVAT

Důvody:

- nejlepší poměr rizik a přínosů,
- vysoká proveditelnost,
- zvládnutelný proces povolení,

- realistický investiční rámec.

Varianta B se zdá být **hlavním kandidátem pro realizaci**.

Varianta C – Doporučení: POKRAČOVAT po revizi

Revize nutná v oblasti:

- připojitelnosti k síti,
- SEVESO povinností,
- dopravních dopadů,
- veřejné akceptace.

Varianta C je vhodná jako **dlouhodobý strategický projekt**, nikoliv jako projekt první fáze.

5.4 Schválení a revize cílů

Na základě výsledků Kroku 5 musí být upraveny strategické a taktické cíle projektu.

a) Strategické cíle – aktualizace

V rámci aktualizace je doporučováno následující:

- zaměřit se na **střední variantu B jako základní regionální modul**,
- variantu C ponechat jako **dlouhodobou vizi**,
- prioritizovat integraci s průmyslem a dopravou.

b) Taktické cíle – aktualizace

Změny oproti Kroku 2:

- zvýšit požadavky na provozní spolehlivost > 98 %,
- definovat proces prediktivní údržby,
- specifikovat minimální odběratelský rámec (např. ≥ 800 kg/den).

c) Revize bezpečnostních cílů

Na základě výše uvedeného je doporučováno doplnit:

- implementaci SIL2 do všech kritických subsystémů,
- povinné ATEX zónování již ve fázi konceptu,
- definici havarijních scénářů (únik, požár, výbuch).

5.5 Dlouhodobý horizont udržitelnosti

V rámci tohoto dílčího kroku je hodnocena:

- dlouhodobá ekonomická udržitelnost,
- provozní odolnost,
- organizační adaptabilita projektu.

a) Odolnost vůči výpadkům (dle BIA)

- Varianta B je nejlépe vyvážená → nízké ztráty při 24h výpadku.
- Varianta C → vysoké systémové dopady (logistika, průmysl).
- Varianta A → omezené dopady (nízký výkon).

b) Ekonomická udržitelnost

Na základě CBA:

- Varianta B → nejnižší LCOH při realistické spotřebě elektřiny.
- Varianta A → dlouhodobě neekonomická.
- Varianta C → ekonomika závislá na extrémně velkých odběratelích.

c) Organizační udržitelnost

- nutné vytvořit **kompetenční centrum H₂** v MSK,
- postupné rozšiřování týmu techniků, operátorů a HSE specialistů.

d) Environmentální udržitelnost

- varianta B přináší stabilní snížení CO₂,
- varianta C má nejvyšší absolutní přínos, ale i nejvyšší místní dopady.

5.6 Další doporučení

Na základě aktuálního vývoje u kroků realizovaných výše je možné doporučit realizaci níže uvedených kroků, které by měli napomoci budoucímu postupu projektu na výrobu zeleného vodíku v podmínkách MSK:

- zahájit zpracování ATEX dokumentace,
- zahájit přípravu žádosti o podporu z Modernizačního fondu,
- provést veřejnou konzultační fázi s obyvateli lokalit.

Krok 6 – Podrobnější analýza rizik

Krok 6 metodiky H₂Safety představuje **nejhlubší analytický krok**, v němž dochází ke zkoumání komponentů, funkcí, rizika a provozních odchylek na úrovni jednotlivých subsystémů výroby zeleného vodíku.

6.1 MOSAR – Modul B: Mikroskopická analýza subsystémů

Účel a metodický rámec MOSAR – Modul B

MOSAR – Modul B představuje **detailní (mikroskopickou) analýzu rizik** na úrovni jednotlivých technologických subsystémů výroby zeleného vodíku.

Na rozdíl od MOSAR – Modulu A (makro-hrozby) se Modul B zaměřuje na:

- konkrétní technologická zařízení,
- typické poruchové a havarijní scénáře,
- jejich příčiny a důsledky,
- kvalitativní vyhodnocení rizik (pravděpodobnost × dopad),
- kategorizaci významnosti rizik.

Cílem je:

- identifikovat **kritická místa technologie**,
- vytvořit podklad pro **RISKAN, HAZOP a FMEA**,
- připravit vstupy pro návrh **mitigačních opatření a funkční bezpečnosti (SIL)**.

Metodický postup

Pro každý identifikovaný **subsystém výroby H₂** je provedeno:

1. Identifikace **typových scénářů selhání**,
2. Stanovení **příčin**,
3. Stanovení **důsledků**,
4. Odhad **pravděpodobnosti výskytu**,
5. Odhad **dopadu**,
6. Zařazení do **kategorie významnosti rizika**.

Použité kategorie rizik:

- Nevýznamné
- Významné
- Závažné
- Kritické

Identifikované subsystémy výroby zeleného vodíku

V rámci projektu byly identifikovány následující klíčové subsystémy:

1. Elektrolyzér
2. Kompresorová jednotka
3. Systém skladování vodíku
4. Systém úpravy a přívodu vody
5. Elektrická infrastruktura a napájení
6. Řídicí a bezpečnostní systém (SCADA / SIS)
7. Lidský faktor

Níže jsou uvedeny **detailní tabulky MOSAR – Modul B** pro jednotlivé subsystémy.

6.1.1 Elektrolyzátor

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Přetlak v článku	Selhání regulace tlaku; Ucpání výstupu plynu	Poškození membrány; Únik H ₂	Nízká	Vysoký	Kritické
Přehřátí elektrolyzátoru	Selhání chlazení; Chyba regulace výkonu	Zrychlená degradace; Odstavení zařízení	Střední	Střední	Závažné
Kontaminace elektrolytu	Nekvalitní voda; Selhání filtrace	Pokles účinnosti; Nutnost odstávky	Střední	Nízký	Významné

6.1.2 Kompresorová jednotka

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Únik vodíku	Opotřebení těsnění; Vibrace	Výbušná atmosféra; Odstavení provozu	Střední	Vysoký	Kritické
Mechanické selhání	Nedostatečná údržba; Přetížení	Ztráta komprese; Dlouhá odstávka	Střední	Střední	Závažné
Přehřátí kompresoru	Porucha chlazení; Vysoký výkon	Poškození ložisek; Odstavení	Nízká	Střední	Významné

6.1.3 Systém skladování vodíku

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Přetlak zásobníku	Selhání pojistného ventilu; Chyba regulace	Riziko ruptury; Výbuch	Nízká	Vysoký	Kritické
Únik H ₂	Poškození armatury; Koroze	Výbušná atmosféra; Evakuace	Střední	Vysoký	Kritické
Chyba měření tlaku	Porucha senzoru; Chybná kalibrace	Nesprávné řízení; Odstávka	Střední	Nízký	Významné

6.1.4 Úprava a přívod vody

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
-------------	---------	----------	-----------------	-------	-----------

Nedostatečná kvalita vody	Selhání filtrace; Zanesení systému	Degradace elektrolyzéru	Střední	Střední	Závažné
Výpadek dodávky vody	Porucha čerpadla; Externí výpadek	Zastavení výroby	Nízká	Střední	Významné
Kontaminace systému	Chyba údržby; Zpětný tok	Nutnost sanitace	Nízká	Nízký	Nevýznamné

6.1.5 Elektrická infrastruktura

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Výpadek napájení	Porucha sítě; Přetížení	Odstavení elektrolyzéru	Střední	Střední	Závažné
Přepětí	Bouřka; Selhání ochrany	Poškození elektroniky	Nízká	Střední	Významné
Zkrat	Chyba instalace; Stárnutí kabeláže	Požár; Evakuace	Nízká	Vysoký	Kritické

6.1.6 Řídicí a bezpečnostní systém (SCADA / SIS)

Typ scénáře	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Selhání detekce H ₂	Porucha senzoru; Chybná kalibrace	Nezachycený únik	Nízká	Vysoký	Kritické
Chybná logika řízení	Chyba konfigurace; Update SW	Nesprávná reakce systému	Střední	Střední	Závažné
Výpadek SCADA	Kybernetický incident; HW porucha	Ztráta dohledu	Nízká	Střední	Významné

6.1.7 Lidský faktor

Tabulka: Analýza scénářů lidské chyby (MOSAR – Modul B)

Scénář (typ lidské chyby)	Příčiny	Důsledky	Pravděpodobnost	Dopad	Kategorie
Nesprávný provozní zásah obsluhy během běžného provozu	Nedostatečné zaškolení obsluhy Nejednoznačné nebo zastaralé SOP	Dočasná nestabilita výroby H ₂ Aktivace bezpečnostních ochrany	Střední	Střední	Významné

		odstavení technologie			
Chyba při údržbě technologie (např. kompresoru nebo elektrolyzéru)	Nedodržení pracovního postupu Časový tlak / nedostatečný dohled	Únik H ₂ po opětovném uvedení do provozu Poškození technologické komponenty	Nízká až střední	Vysoký	Kritické
Nesprávná reakce obsluhy na alarm nebo havarijní stav	Přetížení obsluhy alarmy (alarm fatigue) Nedostatečný výcvik pro krizové situace	Escalace havarijní situace Ohrožení bezpečnosti osob nebo majetku	Nízká	Vysoký	Kritické

6.1.7 Shrnutí výstupů MOSAR – Modul B

Výsledky mikroskopické analýzy ukazují, že:

- **nejkritičtější rizika** jsou spojena s:
 - únikem vodíku,
 - přetlakem,
 - selháním bezpečnostních funkcí,
 - lidským faktorem
- **klíčovými subsystémy** z hlediska bezpečnosti jsou:
 - kompresory,
 - zásobníky,
 - detekční a řídicí systémy,
- výsledky MOSAR – Modul B tvoří **přímý vstup pro**:
 - RISKAN (kvantifikaci rizik),
 - HAZOP / Re-HAZOP,
 - FMEA,
 - návrh SIL úrovní a mitigačních opatření.

6.2 RISKAN – Mikroskopická analýza systémů

RISKAN je využitá metoda, v rámci které byla hodnocena:

- pravděpodobnost selhání jednotlivých komponent,
- závažnost dopadů,
- detekovatelnost / kontrolovatelnost,

- výsledné rizikové skóre,
- potřebu zmírňujících opatření.

Tato mikroskopická úroveň je jiná než MOSAR-B: zde dochází k analyzování **chování technologických prvků uvnitř systému**. Za tímto účelem nemusí docházet ke striktnímu překryvu technologických subsystémů hodnocených v MOSAR – modul B a technologických prvků hodnocených v rámci RISKAN – Mikroskopické analýzy.

RISKAN hodnotí rizika na mikroúrovni pomocí tří škál indexů (3 dimenzí rizika):

- Pravděpodobnost výskytu hrozby (H): 0–3
- Hodnota ohroženého aktiva (subsytému) (A): 0–3
- Zranitelnost aktiva vůči hrozbě (Z): 0-3

Riziko = H × A x Z

RISKAN – pravděpodobnost selhání (společná část)

Pravděpodobnosti byly stanoveny na základě:

- zkušeností dodavatelů
- technických standardů (ISO 22734, ISO 19880, IEC 61511)
- výrobních dat elektrolyzérů 0,2–50 MW
- provozních dat evropských instalací

6.2.1 RISKAN – mikro přístup Varianta A

 RIZIKOVÝ KALKULÁTOR 			Aktiva		AKTIVA - CELKEM															
Hodnoty aktiv		3	3	4	4	1	1	2	2	2	2	2	3	4	4	4	3	1	3	4
		Vysoká	Vysoká	Sředit	Sředit	Nizká	Nizká	Sředit	Sředit	Sředit	Sředit	Sředit	Vysoká	Sředit	Sředit	Sředit	Vysoká	Nizká	Vysoká	Sředit
Generátor grafů		Export do XML																		
Hrozby		Pravděpodobnost																		
HROZBY - CELKEM		3	Vysoká	27	27	18	18	9	9	12	12	12	27	18	18	18	27	9	27	8
1	Subsystém ŽP (environment)	2	Sředit	12	12	4	4	4	4	4	4	4	12	8	8	8	12	4	8	8
1.1	Znečištění životního prostředí	1	Nizká	6	6	4	4	1	1	2	2	2	6	0	0	0	6	0	0	0
1.2	Prohlubování klimatické krize	2	Sředit	12	12	4	4	2	4	4	4	4	12	4	4	4	12	0	6	4
1.3	Nedostatek dostupných přírodních zdrojů	1	Nizká	6	6	4	4	2	2	2	2	2	6	2	2	2	6	0	3	6
1.4	Přírodní katastrofy a události	2	Sředit	12	12	4	4	4	2	4	4	4	12	8	8	8	12	4	6	8
1.5	Vnější DOMINO efekt (havárie)	1	Nizká	6	6	4	4	2	2	2	2	2	6	6	6	4	3	1	3	6
1.6	Nedostatečné ekosystémové služby	1	Nizká	6	6	4	4	1	2	2	2	2	6	0	0	0	3	1	6	2
2	Společenský subsystém	3	Vysoká	18	18	12	12	4	4	8	8	8	18	12	12	12	18	6	18	0
2.1	Desinformace, misinformation	2	Sředit	2	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2	Nedostatečná legislativa, normy	2	Sředit	12	12	4	4	2	2	4	4	4	12	4	4	4	12	2	12	0
2.3	Nedostatečná technická podpora	3	Vysoká	18	18	12	12	3	3	6	6	6	18	12	12	12	18	6	18	0
2.4	Nedostatečné finanční prostředky	1	Nizká	3	3	2	2	1	1	2	2	2	3	2	2	2	3	1	3	0
2.5	Odpor k H2 ekonomice	1	Nizká	3	3	1	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
2.6	Útok (fyzický či hybridní)	2	Sředit	12	12	12	12	4	4	8	8	8	12	12	12	12	12	4	12	0
3	Technický subsystém	3	Vysoká	27	27	18	18	9	9	12	12	12	27	18	18	18	27	9	27	0
3.1	Pomalý technologický vývoj	3	Vysoká	9	9	6	6	3	3	6	6	6	9	6	6	6	9	3	9	0
3.2	Zastavení nebo zpomalení H2 ek	3	Vysoká	12	12	12	6	3	6	6	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0
3.3	Ztráta důvěry v H2	3	Vysoká	9	9	6	0	3	0	0	0	6	9	0	0	0	9	0	0	0
3.4	Příliš drahá energie (energ. krize)	3	Vysoká	18	18	18	18	6	3	6	6	12	12	6	6	12	9	6	9	0
3.5	Nedostupná energie (energ. krize)	3	Vysoká	18	18	18	18	6	6	12	12	12	18	12	18	18	18	9	18	0
3.6	Incident, nehoda (exploze, požár)	3	Vysoká	27	27	18	18	9	9	12	12	12	27	18	18	18	27	6	27	0
3.8	Averze k nehodám, dominoefekt	2	Sředit	6	6	4	4	2	2	4	4	4	6	4	4	4	6	2	6	0

6.2.3 RISKAN – mikro přístup Varianta C

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

6.2.4 Variantové rozdíly RISKAN (A–C)

Varianta A – Pilot (0,2–0,5 MW)

- nízká tlaková úroveň, menší zásobníky
- RISKAN celkově **nižší**
- nejčastější problém: **výkonová elektronika**

Varianta B – Střední (2–5 MW)

- kompresory 350 bar, více cyklů
- RISKAN **střední**
- nejčastější problém: **kompresory + adsorbéry**

Varianta C – Hub (20–50 MW)

- více paralelních technologických linek
- RISKAN **vyšší**, ale lépe distribuovaný
- nejkritičtější prvky: **procesní integrace, tlakové systémy, redundance**

6.3 Hodnocení rizik a identifikace odchylek (BOZP, Checklisty, GAP analýza)

Cílem tohoto dílčího kroku je zjištění, kde existuje **nesoulad mezi požadovaným stavem a reálným (nebo předpokládaným) stavem**. Toto zjištění vychází z následujícího:

- BOZP checklistů pro tlaková zařízení
- ATEX checklistů
- GAP analýzy kompetencí organizace
- Zkušeností z pilotních projektů v EU

6.3.1 Identifikace odchylek

Technologické odchylky:

1. nepřesná kontrola teploty stacku (riziko degradace)
2. kolísání výkonu při napojení na OZE
3. teplotní špičky u kompresorů
4. oddálená detekce úniků v technických místnostech
5. nedostatečná redundance chladicích okruhů

Provozní a kompetenční odchylky:

1. nedostatečné zkušenosti personálu s vysokotlakými systémy
2. absence prediktivní údržby (vibrace, akustika, teplota)
3. nejasná RACI matice mezi krajem / provozovatelem / dodavatelem
4. nedostatečná kyberbezpečnost SCADA

6.3.2 Definice uzlů pro HAZOP

Pro HAZOP byly definovány následující procesní uzly:

1. **Úprava vody**
2. **Elektrolyzér** (+ napájecí systém)
3. **H₂ separace a sušení**
4. **Komprese H₂**
5. **Zásobníky (nízkotlak / vysokotlak)**

6. Výdejní systém / plnicí stanice / přípojný body
7. Napájení z OZE / distribuční síť
8. Systémy bezpečnosti a ventilace

Každý uzel má definované:

- vstupy,
- výstupy,
- provozní parametry (tlak, teplota, průtok),
- limity a ochrany.

6.3.3 Klíčové odchylky a scénáře

Pro každý uzel byla hodnocena odchylka:

- „více než...“ (higher than normal) – tlak, průtok, napětí, teplota,
- „méně než...“,
- „žádný průtok / žádná reakce“,
- „reverzní tok“,
- „nekontrolované reakce“,
- „přítomnost nežádoucích médií“.

Příklad záznamové tabulky HAZOP (zjednodušená) je uveden následně.

Zjednodušený tabulka HAZOP

Uzlové místo	Odchylka	Příčina	Následek	Ochranná opatření
Elektrolyzátor	Vysoký tlak	Porucha regulátoru	Riziko ruptury	PSV + SIL2
Kompresor	Žádný průtok	Porucha čerpadla	Zastavení výroby	Snímače průtoků
Zásobník	Netěsnost	Poškození těsnění	Riziko exploze	Detektory plynu
Plnicí stanice	Vysoká teplota	Porucha chlazení	Odstavení systému	Teplotní čidla

Příklady pro výrobu H₂:

- **Elektrolyzátor:**
 - vyšší proud → přehřátí stacku → zrychlená degradace,
 - nedostatečný průtok vody → lokální přehřátí,
 - netěsnost → únik H₂/O₂.
- **Kompresor:**
 - vysoká teplota oleje → riziko požáru,
 - ztráta mazání → zadření,
 - selhání ventilů → přetlak.
- **Zásobníky:**
 - přetlak v důsledku selhání PRD,
 - mechanické poškození / náraz vozidla,
 - únava materiálu.

- **Výdej vodíku:**
 - netěsnost spojů,
 - selhání brzdy ventilu,
 - přítomnost zapalovacího zdroje v zóně.

6.3.4 Výsledná doporučení HAZOP

Výstupem HAZOP je:

- seznam rizikových scénářů,
- doporučená opatření (technická i organizační),
- požadavek na změny PID (např. doplnění ventilu, snímače, mezilomů potrubí).

Rozdíly mezi variantami:

- **A (pilot)** – menší počet scénářů, nižší skladované množství H_2 = menší dopady,
- **B (2–5 MW)** – vyšší množství H_2 = více scénářů s potenciálně závažnými dopady,
- **C (hub)** – masivní skladování a vysoké průtoky = scénáře typu SEVESO.

6.4 Analýza FMEA

6.4.1 Identifikace položek a funkcí

FMEA byla prováděna pro:

- elektrolyzér stack,
- napájecí zdroje,
- kompresory,
- sušičky,
- zásobníkové moduly,
- ventily,
- detektory H_2 ,
- bezpečnostní PLC,
- SCADA komunikaci.

Pro každou položku byly popsány:

- funkce,
- možné poruchové módy,
- příčiny,
- důsledky.

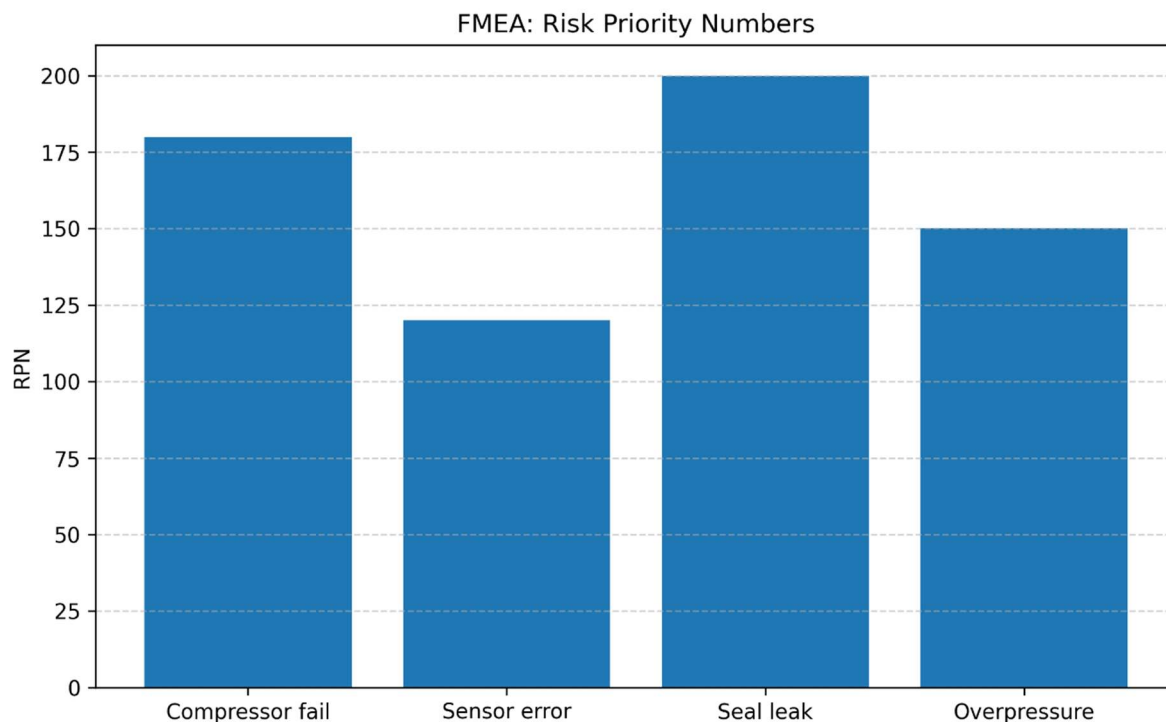
6.4.2 Vyhodnocení RPN

Pro každý poruchový mód:

- **S** – závažnost (Severity)
- **O** – četnost (Occurrence)
- **D** – detekovatelnost (Detection)

$$RPN = S \times O \times D$$

Vyhodnocení RPN je přehlednost prezentováno do následujícího grafu.



Kritické položky pro výrobu H₂:

- **kompresor** – typicky nejvyšší RPN (až 216),
- **výdejní pistole / spojky** – úniky, lidská obsluha,
- **zásobníky** – nízká pravděpodobnost, ale vysoká závažnost,
- **detektory H₂** – nízká závažnost selhání, ale zásadní pro bezpečnost.

6.4.3 Doporučená opatření z FMEA

- snížení O = vyšší kvalita komponent, prediktivní údržba,
- snížení S = omezení objemu H₂ v jedné sekci, lepší segmentace,
- zlepšení D = více detektorů, robustnější diagnostika.

6.5 Návrh a spuštění pilotní studie

Pilotní studie slouží k:

- ověření procesů,
- validaci technologií,
- prověření bezpečnostních opatření,
- získání dat pro varianty B a C.

6.5.1 Návrh pilotní jednotky

Vstupní parametry:

Parametr	Hodnota
Výkon	0,25–0,5 MW
Výroba	100–200 kg/den
Tlak	30 → 350 bar
Výdej	průmysl / mobilita

Pilotní studií dochází k ověření pro:

- dynamiku elektrolyzéru,
- kompresní cykly,
- účinnost,
- dopady teplot,
- provozní zatížení techniků.

6.5.2 Výstupy pilotní studie

- přesné profily spotřeby elektřiny,
- opotřebení kompresorů,
- data o údržbě,
- provozní dostupnost,
- reálné náklady OPEX,
- validace SCADA / SIL2.

6.5 Opakovaná komunikace rizik a příležitostí

Navazuje na Slovicův model z Kroku 4.6.

6.5.1 Klíčové principy

- rizika nových technologií jsou veřejností **přeceňována**,
- přínosy jsou **podceňovány**,
- je nutné poskytovat **srozumitelné schéma rizik**,
- stakeholder mapu je třeba aktualizovat po pilotní studii.

6.5.2 Komunikační kanály

- workshopy s městy, krajem, průmyslem
- simulace rizikových scénářů
- otevřená data a reporting
- komunikace přes univerzity a odborné semináře

6.6 Návrh a výběr opatření

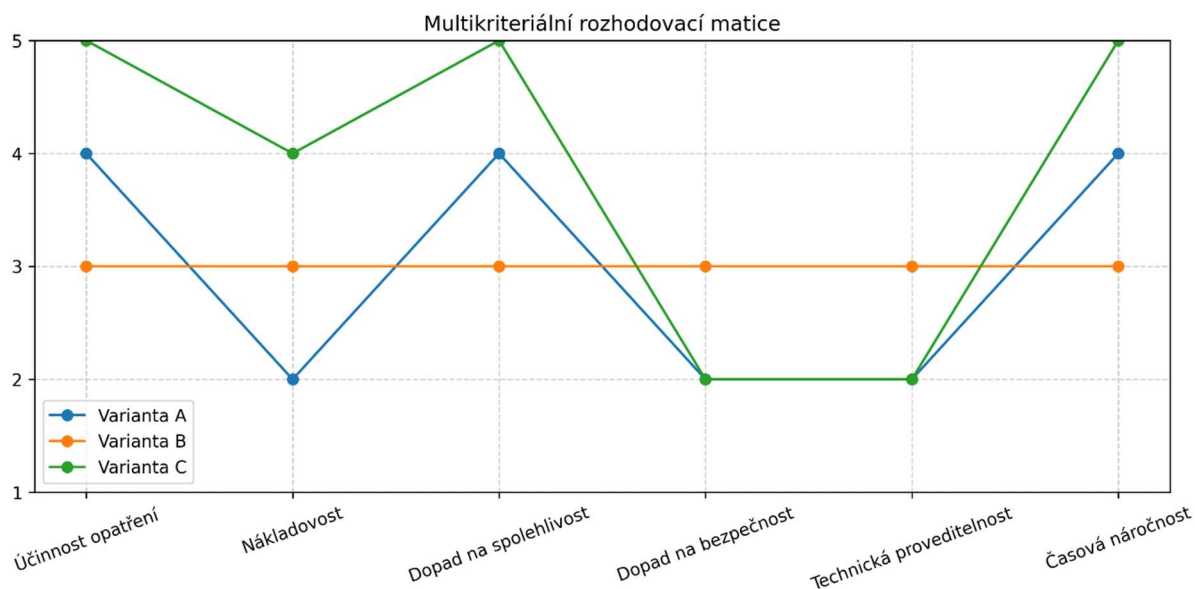
Použita **multikriteriální metoda (MCA) + rozhodovací matice**.

Hodnotící kritéria:

- účinnost opatření
- nákladovost

- dopad na spolehlivost
- dopad na bezpečnost
- technická proveditelnost
- časová náročnost

Za účelem jednodušší prezentace pro návrh a výběr opatření byl sestaven následující graf, a to se zobrazením hodnot pro všechny tři varianty A-C projektu.



Technicko-auditní matice (ATEX / tlak / elektro)

Jedná se od doporučení vyplývající z norem (viz metodika), přičemž tato matice se zaměřuje na:

- ATEX zóny (Zone 1 / 2)
- tlaková zařízení kategorie IV
- požadavky TIČR
- elektroinstalace v zónách
- revizní intervaly

Technicko-auditní matice (ATEX / tlak / elektro)

Přehled klíčových oblastí auditu a typických kontrolních bodů (doporučení dle metodiky/norem)

Oblast auditu	Co ověřit (kontrolní body)	Typické výstupy / dokumenty
ATEX zóny (Zone 1 / 2)	- Klasifikace zón a její zdůvodnění (výchozí posouzení rizik / výbušné atmosféry). - Vymezení zón v půdorysech a na místě (značení, hranice, přístupy). - Provozní režimy, větrání, zdroje úniku a scénáře poruch.	- Dokument o ochraně před výbuchem (ATEX dokument). - Výkresy zónování + značení. - Seznam Ex zařízení / prostorů.
Tlaková zařízení (kategorie IV)	- Kategorizace tlakových zařízení a kompletace tlakové dokumentace. - Posouzení shody / certifikace komponent (nádoby, potrubí, armatury). - Bezpečnostní prvky: pojistné ventily, ochrany proti přetlaku, zkoušky.	- Technická dokumentace tlakových zařízení. - Protokoly o tlakových zkouškách. - Evidence zařízení + štítky.
Požadavky TIČR	- Splnění povinností pro vyhrazená technická zařízení (evidence, prohlídky, revize). - Ověření oprávnění/dokladů dodavatelů a servisních organizací. - Nastavení režimu kontrol a hlášení změn (rekonstrukce, rozšíření).	- Evidence VTZ + revizní zprávy. - Oprávnění/kompetence dodavatelů. - Záznamy o kontrolách a zásazích.
Elektroinstalace v zónách	- Použití zařízení a komponent vhodných do Ex prostředí (krytí, teplotní třídy, ochrana). - Správné provedení kabeláže, průchodek, uzemnění a pospojování. - Ověření selektivity, ochrany a integrace se systémem řízení.	- Projekt elektro (Ex) + seznam zařízení. - Revizní zprávy elektro (výchozí/periodické). - Schémata uzemnění a pospojování.
Revizní intervaly	- Nastavení periodických kontrol dle charakteru zařízení a provozních podmínek. - Plán revizí pro tlak, elektro a Ex zařízení (včetně kalibrací a funkčních testů). - Evidence nálezů, opatření a uzavírání nápravných akcí.	- Roční/kvartální plán revizí. - Evidence neshod a nápravných opatření. - Záznamy o školení a způsobilosti.

Pozn.: Konkrétní požadavky a intervaly se stanovují dle platné legislativy/norem a provozních podmínek zařízení.

Naplnění požadavků ve výše uvedené tabulce je vhodným vstupem pro realizaci následujícího kroku 7.

Krok 7 – Formalizace pilotního projektu

Cílem Kroku 7 je převést dosavadní analýzy (Kroky 1–6) do **konkrétní podoby projektové dokumentace**, provést detailní procesní analýzy a na jejich základě **specifikovat funkční bezpečnost (SIL/PL)** a soubor **mitigačních opatření**. Současně se definují požadavky na **pilotní ověření**. Krok 7 je zároveň přechodem z „analytické“ do „inženýrské“ fáze projektu.

7.1 Návrh až finalizace projektové dokumentace

Cílem tohoto kroku je vytvořit **kompletní technickou dokumentaci výroby zeleného vodíku**, která umožní:

- validaci technického návrhu,
- zahájení povolovacích procesů,
- zpracování bezpečnostních studií (HAZOP, FMEA, SIL),
- integraci s dalšími technologickými celky,
- zajištění shody s předpisy TIČR, ATEX, PED a ČSN.

Dokumentace ve variantě A (pilotní pracoviště 0,2–0,5 MW) má menší rozsah než u variant B a C, ale vyžaduje **stejnou kvalitu**, protože pilotní provoz slouží jako základní model pro budoucí rozšíření.

7.1.1 Projektová technická dokumentace (PTD)

Projektová dokumentace pro pilotní výrobu zeleného vodíku zahrnuje:

a) Technický popis technologie

- typ elektrolyzéru (PEM nebo alkalický),
- nominální výkon: 200–500 kW,
- předpokládaná výroba H₂: 8–20 kg/den,
- provozní tlak výstupu: 20–30 bar,
- plánovaný kompresor: 350 bar,
- umístění technologie: modulární kontejner / lehká ocelová hala.

b) Blokové schéma (PFD – Process Flow Diagram)

Zahrnuje procesní vazby:

1. úprava vody →
2. elektrolyzér →
3. sušení/čištění H₂ →
4. komprese →
5. zásobník →
6. výdej vodíku.

Slouží jako primární dokument pro detailní HAZOP.

c) Technické listy klíčových zařízení

- elektrolyzér,
- výkonová elektronika,
- kompresor,
- zásobníky (ni/hi pressure),
- sušičky a filtry,
- detektory H₂.

d) Návrh umístění technologie (Layout)

Musí splňovat:

- odstupové vzdálenosti dle ATEX,
- přístup pro servis a záchranné složky,
- oddělení elektrických a tlakových částí,
- orientační proudění vzduchu.

7.1.2 Dokumentace PID (Piping and Instrumentation Diagram)

PID je nejdůležitější dokument pro:

- detailní HAZOP,
- bezpečnostní validaci,
- SCADA návrh,

- provozní postupy.

PID ve variantě A musí obsahovat:

- kompletní potrubní trasy (H_2 a voda),
- ventily (manuální, automatické, bezpečnostní),
- měřicí prvky (tlak, teplota, průtok),
- bezpečnostní okruhy (SIS – Safety Instrumented System),
- instrumentaci detekce H_2 ,
- vypínací logiku.

Klíčové požadavky:

- všechny prvky musí mít identifikaci dle ISO 10628,
- bezpečnostní prvky musí být vyznačeny červeně (SIF loops),
- PID musí zahrnovat i „fail state“ jednotlivých ventilů.

7.1.3 Dokumentace pro účely HAZOP

Pro studii HAZOP (v rámci Kroku 7) musí být doplněny:

a) Hranice systému (node definition)

Pilotní systém se rozdělí na:

1. *Úprava vody*
2. *Elektrolyzér*
3. *Sušení a čištění H_2*
4. *Kompresor*
5. *Zásobníky*
6. *Výdejný bod*

b) Seznam odchylek pro HAZOP

Standardní vodící slova pro detailní analýzu HAZOP obsahují následující:

- vysoký / nízký tlak,
- vysoký / nízký průtok,
- žádný průtok,
- únik,
- kontaminace,
- nesprávné směry proudění,
- teplotní odchylky,
- selhání ventilu.

c) Seznam bezpečnostních funkcí relevantních pro HAZOP

SIF (Safety Instrumented Functions):

- SIF-1: Uzávěr při překročení tlaku elektrolyzéru
- SIF-2: Uzávěr při úniku H_2 (detektor > 10 % LEL)
- SIF-3: Odstavení kompresoru při vibracích

- SIF-4: Odstavení systému při ztrátě napětí

d) Záznamové listy HAZOP

Obsahují následující rozsah:

- odchylka,
- příčina,
- dopad,
- existující opatření,
- doporučené opatření,
- odpovědnost a termín.

7.1.4 Podklady pro integraci s budoucími variantami B a C

Ačkoli se jedná o pilotní variantu, dokumentace musí být koncipována tak, aby:

- umožňovala škálování na 2–5 MW (varianta B),
- umožňovala škálování na 20 MW+ (varianta C),
- obsahovala modularitu v layoutu i instrumentaci,
- bylo možné rozšířit SIS logiku bez nutnosti kompletní rekonstrukce.

Specifikace proto zahrnuje:

- předdefinovaná místa pro další kompresní stupně,
- připojovací body SCADA,
- rezervní výkonovou kapacitu (UPS, chlazení).

7.1.5 Dokumentace shody s právními a normativními požadavky

Seznam povinných dokumentů:

- ATEX dokumentace (zóna 1 / zóna 2),
- PED (97/23/EC) – tlaková zařízení,
- CE prohlášení výrobce,
- TIČR povolení k provozu vyhrazených technických zařízení,
- Požárně bezpečnostní řešení (PBS),
- Bezpečnostní listy (MSDS / SDS),
- Havarijní plán.

Pro pilotní variantu není vždy povinné SEVESO, ovšem pokud zásobníky překročí limity pro vodík, je povinností minimálně **zjišťovací řízení**.

7.2 Konzultace technických a bezpečnostních variant

7.2.1 Technické varianty uspořádání výroby

Pro výrobu zeleného H₂ v MSK se typicky zvažují následující technické koncepty:

1. **Centralizovaná výroba** (jeden velký areál)

2. **Modulární výroba** (více menších uzlů v regionu)
3. **Hybridní koncept** (jeden střední uzel + satelitní modulární jednotky)

Každý koncept má odlišný dopad na:

- bezpečnostní zónování,
- dopravní logistiku H₂ (trailery, potrubí),
- záložní capacity,
- vnímání rizika okolím (Slovic).

7.2.2 Multi-kriteriální analýza variant

Varianty uspořádání se hodnotí podle několika kritérií:

- **Bezpečnost** (možnost eskalace nehody, složitost evakuace, hašení atd.),
- **Ekonomika** (CAPEX, OPEX, logistické náklady),
- **Flexibilita** (možnost rozšíření výkonu, přidávání modulů),
- **Prostor a území** (kolik brownfield ploch je třeba, vliv na okolí),
- **Regulace a povolování** (EIA, SEVESO, ATEX).

Výstupem je **multi-kriteriální tabulka** (např. 1–5 bodů) a doporučení, jaký technický koncept je vhodný pro:

- pilotní **A**,
- střední **B**,
- hub **C**.

7.2.3 Výběr preferované varianty pro A–C

- **Pro A (pilot):** modulární, jednoduchá layout, menší zátěž pro okolí.
- **Pro B (2–5 MW):** centralizované či hybridní uspořádání v jednom areálu (např. velký brownfield).
- **Pro C (20–50 MW):** povětšinou centralizovaný velký hub, často v těsném sepětí s průmyslovým podnikem (hutě, chemie).

Tyto výsledky budou vstupem pro detailní **HAZOP, FMEA i SIL návrh**.

7.5 Specifikace funkční bezpečnosti SIL/PL

7.5.1 Identifikace bezpečnostních funkcí (SIF)

Typické SIF pro výrobu H₂:

- SIF-1: detekce H₂ + automatické odvětrání + odstavení napájení,
- SIF-2: překročení tlaku v zásobnících → otevření PRD / odstavení kompresorů,
- SIF-3: přehřátí kompresoru → odstavení strojů,
- SIF-4: výpadek napájení → bezpečné odstavení elektrolyzéru.

7.5.2 Stanovení požadované SIL úrovně

Na základě RISKAN a HAZOP:

- pro kritické scénáře (možný výbuch) se stanovuje **SIL2**,

- méně kritické scénáře (výpadek výroby) mohou být **SIL1**.

Rozdíly A–C:

- **A (pilot)** – často SIL1 s prvky SIL2,
- **B (2–5 MW)** – klíčové funkce SIL2,
- **C (hub)** – některé funkce mohou směřovat k SIL2–SIL3.

7.5.3 Integrace SIL/PL do SCADA a řízení

- oddělení **safety PLC** a **procesního PLC**,
- validace bezpečnostních funkcí (FAT/SAT),
- vedení **SRS (Safety Requirements Specification)**.

7.6 Návrh mitigačních a bezpečnostních opatření

7.6.1 Technická opatření

- redundantní kompresory,
- segmentace zásobníků (omezování množství H₂ v jedné sekci),
- havarijní ventily a přerušení potrubí,
- detekce H₂ ve všech rizikových zónách,
- mechanická ochrana zásobníků (sloupky, bariéry).

7.6.2 Organizační opatření

- provozní řády,
- zákaz vstupu nepovolaných osob,
- povinné LOTO procedury,
- povolovací systém pro horké práce.

7.6.3 Opatření pro lidský faktor a školení

- pravidelná školení a re-certifikace,
- praktická cvičení s HZS MSK,
- standardizace postupů tankování, plnění, vypouštění.

7.7 Plán pilotního ověření

7.7.1 Cíle pilotního ověření (Varianta A)

Pilotní jednotka slouží jako:

- **testovací platforma** pro technologii a HAZOP/FMEA závěry,
- příležitost pro **nácvik provozu a zásahů**,
- ověření **realistických KPI** (dostupnost, poruchovost, spotřeba).

7.7.2 Přenos poznatků do B a C

Z pilotu jsou přenášena následující data:

- údaje o reálné poruchovosti kompresorů,
- údaje o četnosti drobných úniků,

- data pro kalibraci RISKAN,
- zkušenosti s lidským faktorem.

7.7.3 Definice KPI pro pilotní fázi

- dostupnost technologie %,
- počet incidentů / rok,
- množství vyrobeného H₂,
- počet falešných alarmů,
- počet zásahů HZS (reálných / cvičných).

Krok 8 – Realizace projektu

Krok 8 pokrývá fázi **realizace projektu**, tedy okamžik, kdy jsou:

- zpracovány projektové dokumentace (Krok 7),
- vyhodnocena rizika (v rámci kroku 4 a kroku 6),
- validovány bezpečnostní standardy (SIL, HAZOP, FMEA),
- dokončeno rozhodování o variantách projektu (Krok 5).

Cílem kroku 8 je:

- zajistit bezpečnou a efektivní **výstavbu** výroby vodíku,
- udržet kontrolu nad riziky, která vznikají v realizační fázi,
- udržet integritu návrhu a zajistit kvalitu,
- připravit projekt na commissioning a provoz.

8.1 Zajištění financí a contracting

Výroba zeleného H₂ je investičně náročný projekt s vysokou citlivostí na CAPEX i provozní náklady OPEX. V MSK je nutné využít kombinaci regionálních, národních i evropských zdrojů financí.

8.1.1 Finanční nástroje relevantní pro MSK

A) Fond spravedlivé transformace (FST)

- soulad s transformací uhelných regionů,
- preferovány projekty v brownfieldech,
- typická míra podpory: **30–60 % CAPEX**.

B) Modernizační fond (Operační programy)

- podpora elektrolyzérů ≥ 1 MW,
- důraz na dekarbonizaci průmyslu.

C) Investiční pobídky MPO / CzechInvest

- zejména pro varianty B a C (≥ 5 MW).

D) PPA smlouvy na dodávku elektřiny z OZE

- snižují volatilitu ceny,

- nutné pro stabilizaci LCOH.

8.1.2 Contracting modely

EPC model (Engineering–Procurement–Construction)

Výhody:

- jeden odpovědný dodavatel,
- garantované parametry výroby.

Nevýhody:

- vyšší cena,
- menší flexibilita.

EPCM model (Engineering–Procurement–Construction Management)

Výhody:

- transparentnost nákladů,
- vhodné pro varianty B a C.

8.1.3 Doporučení pro MSK

- Pro **pilota (A)** → EPC, rychlá realizace.
- Pro **střední variantu (B)** → EPCM + lokální dodavatelé.
- Pro **hub (C)** → konsorciální model (výrobce elektřiny + průmyslový odběratel + kraj).

8.2 Řízení lidských zdrojů a odbornosti

Pro realizaci projektu je nutné sestavit tým složený z:

- specialistů na vodíkové technologie,
- odborníků ATEX, TIČR, BOZP,
- projektových manažerů,
- svářečů, montérů, elektrikářů s vyhrazenými oprávněními.

8.2.1 Kontrola odborné způsobilosti

Povinné kompetence:

- **Vyhrazená elektrická zařízení** (§6 NV 190/2022 Sb.),
- **Tlaková zařízení** (TIČR),
- **ATEX** (zóna 1/2),
- **Vedení BOZP na staveništi**,
- Kvalifikace pro **práci s H₂**, včetně detekce úniků.

Soft-skills a organizační kompetence:

- schopnost pracovat v interdisciplinárním prostředí,
- řízení rizik a změn,
- krizová komunikace.

8.2.2 Trénink a školení

Minimální rozsah školení by měl pokrývat následující:

Fáze	Obsah	Frekvence
Pre-realizace	ATEX + BOZP + procesní rizika	1× před zahájením
Realizace	toolbox meetingy + řízení rizik	denně / týdně
Commissioning	H ₂ technologie + emergency response	1× před spuštěním

8.3 Management bezpečnosti staveniště

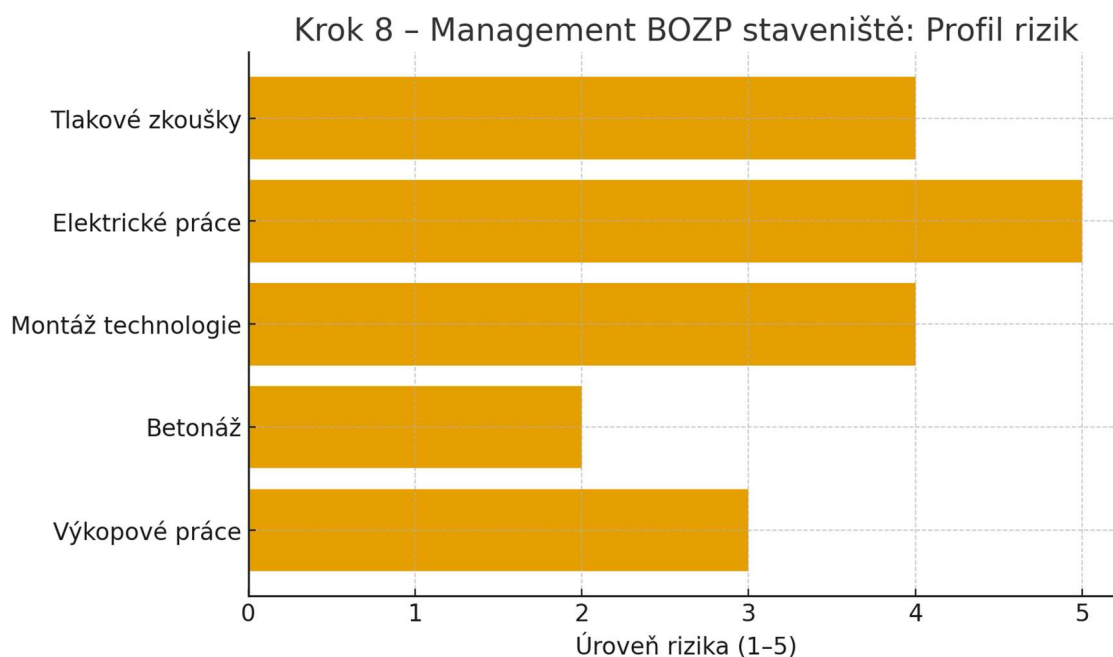
Výstavba výroby H₂ zahrnuje:

- práci s tlakovými zařízeními,
- manipulaci s plynovými systémy,
- instalaci elektrolyzéru, kompresorů, zásobníků,
- zemní práce, jeřábové práce, uvádění do provozu.

8.3.1 BOZP plán pro staveniště (obsah)

- identifikace rizik: pád břemena, úraz el. proudem, požár, únik H₂
- bezpečnostní zóny a zóny ATEX,
- postupy pro práci v uzavřených prostorech,
- pracovní povolení (permit-to-work),
- kontrola strojů a zdvihací techniky,
- ochranná pásma kolem zásobníků a kompresorů.

Na následujícím obrázku je uveden příklad pro profil rizik BOZP pro staveniště výroby zeleného vodíku.



8.3.2 Nouzové postupy

- koordinace s HZS MSK,

- trénink alarmů a evakuace,
- implementace monitoringu úniků H₂ již během stavby.

8.4 Řízení změn v návrhu (MoC)

Řízení změn je kritické, protože jakákoli změna v návrhu může:

- ovlivnit funkční bezpečnost (SIL),
- změnit výsledky HAZOP/FMEA,
- vyžadovat aktualizaci RISKAN a MOSAR.

8.4.1 MoC proces zahrnuje:

1. **Identifikace změny** – technická, procesní, provozní.
2. **Posouzení dopadu** – bezpečnost, ekonomika, legislativa.
3. **Schvalování** – HSE manažer + projektový manažer + TIČR (pokud nutné).
4. **Implementace** – aktualizace dokumentace (PID, 3D model, FDS).
5. **Záznam do MoC registru.**

8.4.2 Typické změny během realizace

- změna typu kompresoru,
- změna layoutu zásobníků,
- přidání detekčních čidel,
- změna typu izolace či kabeláže.

8.5 Kontrola kvality a revize

8.5.1 Inspekce a kontroly prováděné během výstavby

- VT/RT testy svarů,
- tlakové zkoušky zásobníků,
- FAT (Factory Acceptance Test) elektrolyzéru,
- SAT (Site Acceptance Test),
- kontrola ATEX komponent.

8.5.2 Nezávislé inspekce třetí stranou

- TIČR – tlaková zařízení,
- TÜV / DEKRA – funkční bezpečnost,
- externí oponentura bezpečnostní dokumentace.

8.6 Doporučení pro projekty výroby H₂ v MSK

Tyto části jsou nadstavbou metodiky, nejsou tedy (dle metodiky) povinné, ale jsou velmi vhodné pro projekty zeleného H₂ v podmínkách MSK.

8.6.1 Real-time digitalizace a monitorování výstavby

- drony pro kontrolu prací,
- digitální deník,

- fotogrammetrie pro verifikaci 3D modelu.

8.6.2 Environmentální monitoring

- měření hluku, prachu, vibrací,
- kontrola vlivu stavby na okolí.

8.6.3 Kontrola souladu s harmonogramem a CBA

- sledování milníků,
- průběžný update ekonomiky projektu (varianta A–C).

8.6.4 Komunikace s veřejností během výstavby

- informování obyvatel,
- infolinka,
- komunikace mitigací.

8.7 Závěr kroku 8

Krok 8 vytváří podmínky pro:

- bezpečnou realizaci výroby H_2 ,
- dodržování legislativních i technických standardů,
- udržení integrity návrhu a bezpečnostních parametrů,
- připravenost na commissioning a provoz.

Splnění všech kroků 8.1–8.7 zajišťuje, že projekt vstoupí do fáze uvedení do provozu **bez neplánovaných rizik, změn a rozporů**.

Krok 9 – Řízení uvádění technologie do provozu a adaptivní řízení rizik

Krok 9 metodiky H_2 Safety představuje závěrečnou fázi před plným provozem výroby zeleného vodíku. V této fázi dochází k prvnímu reálnému ověření funkčnosti všech technologických celků, k validaci bezpečnostní logiky, k postupnému náběhu výkonu a zároveň k adaptivnímu řízení rizik během prvních měsíců provozu.

Tato část realizovaných prací je kritická zejména u elektrolyzérů, kompresorů a vysokotlakých zásobníků, tj. zařízení s vysokým energetickým a tlakovým potenciálem. Řízení náběhu výroby a souvisejících rizik vyžaduje úzkou spolupráci techniků, bezpečnostních specialistů, dodavatelů technologie a provozovatele.

9.1 Spouštění technologie a realizace zkoušek

(nástroje: zkušební protokoly, funkční testy, SIS testy)

Proces uvádění výroby zeleného vodíku do provozu probíhá standardně ve třech hlavních úrovních:

9.1.1 Cold commissioning (mechanical completion)

Tato fáze je zaměřena na dokončení instalace a mechanickou kontrolu systému:

- kontrola integrity tlakových systémů, potrubí a armatur,
- ověření správného zapojení elektroinstalace a SCADA,
- tlakové zkoušky zásobníků a potrubí,
- ověření funkce ventilů, pojistek a regulačních prvků,
- kontrola správné dokumentace (P&ID, MoC aktualizace, revizní zprávy).

Výstupem je **MC – Mechanical Completion protokol**, který potvrzuje, že zařízení je připraveno pro napuštění média.

9.1.2 Hot commissioning (první spuštění s médiem)

V této fázi se poprvé pracuje s vodíkem a elektrolýzou:

- první napuštění de-ionizované vody,
- spuštění elektrolýzéry na nízký výkon (10–20 %),
- ověření produkce H₂ a O₂,
- testování ventilace a detekčního systému,
- zkouška kompresoru na minimální výkon,
- propojení s vysokotlakými zásobníky.

Hot commissioning je vysoce riziková část, protože dochází poprvé k práci s vodíkem v celé technologické lince.

Zde dochází k validaci všech **Safety Instrumented Functions (SIF)**:

- automatické odstavení kompresoru,
- uzavírání bezpečnostních ventilů,
- funkce detektorů H₂ → SCADA → SIS,
- nouzové odvětrání.

Typický obsah „Safety Instrumented System Functional Verification Report“

Tento protokol potvrzuje, že:

- všechny prvky SIS (senzory, logika PLC, akční členy) fungují dle návrhu,
- reakce systému splňuje **požadovaný SIL**,
- test zahrnuje **testování trip logiky, reakčních časů, diagnostiky a alarmů**,
- zařízení při skutečných i simulovaných signálech reagují ve stanoveném čase.

Typické části protokolu:

1. Identifikace testovaných funkcí (SIF, Safety Instrumented Functions)
2. Požadovaný SIL
3. Očekávané reakce
4. Provedené testy

5. Záznam skutečných výsledků
6. Porovnání se specifikací
7. Závěr a souhlas odpovědné osoby

Tento protokol se používá i jako povinný podklad pro TIČR a pro uvedení elektrolyzéru do provozu.

9.1.3 Performance testing (výkonnostní a zatěžovací testy)

V této fázi se výroba H₂ přibližuje nominálnímu výkonu:

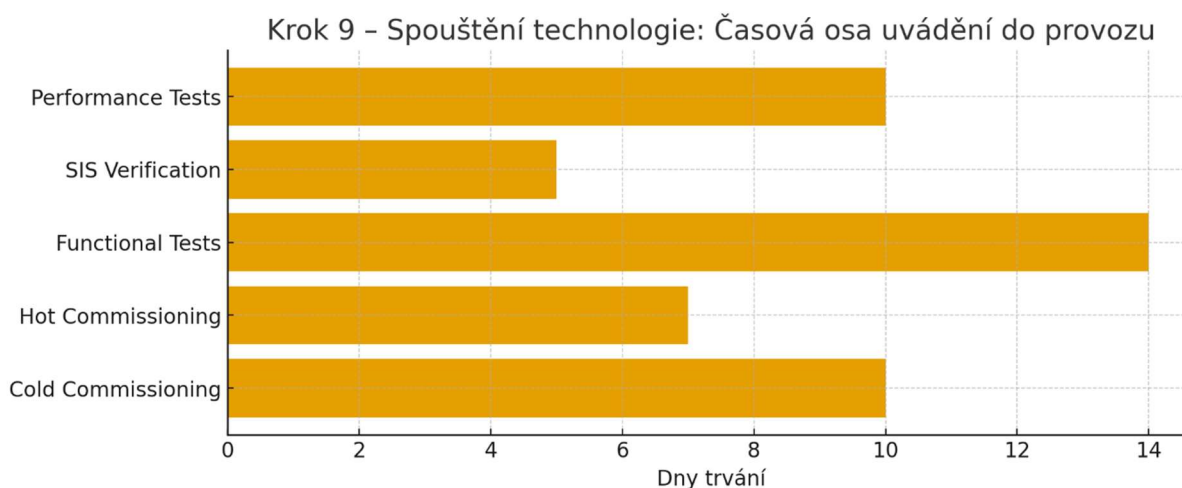
- ověření produkce vodíku v pásmu 50–100 % výkonu,
- validace čistoty vodíku dle ISO 14687,
- měření energetické účinnosti elektrolyzéru,
- optimalizace tlakového řízení kompresoru,
- testování zásobníků při maximálních tlacích.

Součástí je **SIS Verification Test**, který ověřuje:

- úroveň funkční bezpečnosti (SIL/PL),
- reakční časy bezpečnostních funkcí,
- chování technologie při odchylkách (High Temp, High Pressure, Low Flow).

Výstupem je **Performance Acceptance Report**.

Reálné spouštění technologie vyžaduje dostatek času pro zajištění realizace všech potřebných bezpečnostních procedur. Výsledkem může být časová osa uvedená na následujícím obrázku.



9.2 Monitoring a shromažďování dat

(nástroje: SCADA, správce alarmů, logování poruch a údržby)

Po spuštění výroby je nutné implementovat robustní systém monitoringu.

9.2.1 Monitoring technologických veličin

Průběžně dochází ke sledování následujících hodnot:

- tlak v elektrolyzáru (anodová/katodová komora),
- teplota procesní vody,
- tlak a teplota kompresoru,
- tlak v zásobnících (350/500/900 bar),
- čistota vodíku,
- výrobní výkon (kg H₂/hod).

9.2.2 Alarmový management (AMS)

Systém alarmů rozlišuje:

- **kritické alarmy** – únik H₂, vysoký tlak, vysoká teplota,
- **varovné alarmy** – odchylky od nominálního výkonu,
- **provozní alarmy** – výpadky komunikace, drobné odchylky.

Implementuje se ANSI/ISA 18.2:

- kategorizace alarmů,
- definice reakčních časů,
- pravidelný audit alarmů.

9.2.3 Logování údržby a prediktivní analýza

Záznamy zahrnují:

- výskyt poruch,
- frekvenci spouštění bezpečnostních funkcí,
- vibrace kompresorů,
- provozní cykly ventilů,
- spotřebu elektrické energie.

Tato data jsou vstupem pro:

- prediktivní údržbu,
- optimalizaci výkonu,
- plánování servisních zásahů,
- nepřetržité řízení rizik.

9.3 Postupné navyšování výkonu (ramp-up strategy)

(metodický princip: „Start Small → Scale Safe“)

Výrobna zeleného vodíku prochází několika provozními úrovněmi:

9.3.1 Fáze Pilot (10–20 % výkonu)

- validace základní výroby,
- kontrola kvality H₂,
- analýza prvních alarmů,
- zajištění baseline dat pro kompresor, ventilaci a sušení.

9.3.2 Fáze Ramp-up (20–60 % výkonu)

Zvýšené zatížení technologie:

- optimalizace teplot elektrolyzáru,
- odhalení slabých míst v logistice a řízení,
- testování kapacity zásobníků,
- ověření reakce SIS při vyšším výkonu.

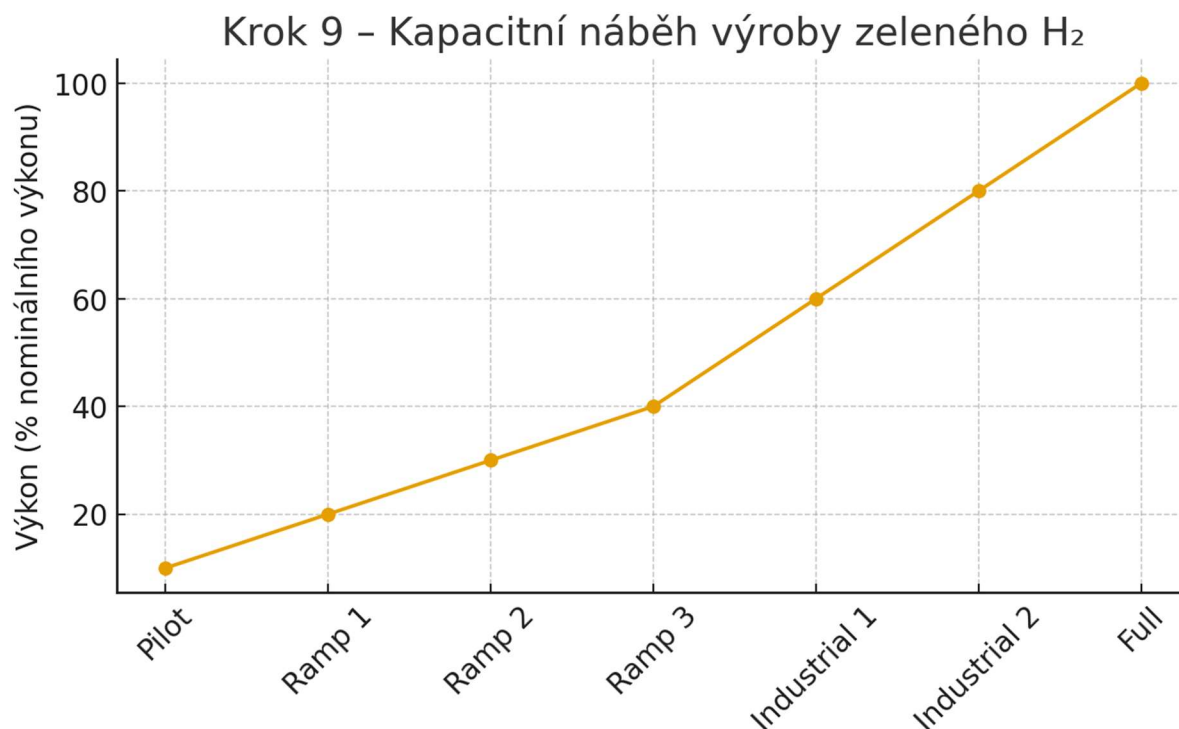
9.3.3 Fáze Industrial Operation (60–100 % výkonu)

- validace nominálního výkonu,
- optimalizace energetické účinnosti,
- kontrola stability výroby,
- dlouhodobé cykly kompresoru a ventilů.

Každá fáze končí krátkou technickou zprávou:

- Capex Deviations Report
- Safety Function Performance Summary
- Reliability Baseline Report

Postupné navyšování výkonu vyžadující zvyšování zatížení technologie může být ilustrováno následovně:



9.4 Opakovaná analýza technologických a procesních rizik

(MOSAR, Re-HAZOP, případně HAZOP Review)

V časných fázích provozu se nově objevují jevy, které nelze vyhodnotit pouze návrhovými daty.

Proto je nezbytné aplikovat následující:

9.4.1 Re-HAZOP

Provádí se po každé významné změně provozu:

- po navýšení výkonu,
- po první identifikované odchylce (No Flow, High Pressure),
- po instalaci nových dílů nebo aktualizaci řídicí logiky.

Výstupem je:

- revize hazard scénářů,
- identifikace nových odchylek,
- doplnění mitigace.

9.4.2 MOSAR Review (Modul B – mikroskopická analýza)

Provádí se analýza:

- chování jednotlivých prvků,
- interakcí mezi subsystémy,

- možných latentních poruch.

Výsledkem je **aktualizovaný strom hrozeb**.

9.5 Opakované přehodnocení vstupních rizik

(RISKAN – indexová metoda + CBA review)

Díky reálným provozním datům lze zpřesnit kvantifikaci rizik.

9.5.1 Aktualizace pravděpodobností jevů

Náhradou teoretických hodnot se používají:

- reálné frekvence alarmů,
- četnost závad kompresoru,
- počet aktivací SIF.

9.5.2 Aktualizace dopadů

Dopad může být vyšší nebo nižší podle:

- skutečného časového výpadku výroby,
- termických nebo tlakově-mechanických odchylek,
- produkční ztráty (kg H₂).

9.5.3 Přepočet RISKANu

Nové hodnoty $P \times D$ poskytují:

- zpřesněné hodnocení bezpečnostních priorit,
- základ pro rozhodnutí o dalších investicích,
- vstup pro revizi CBA a BIA.

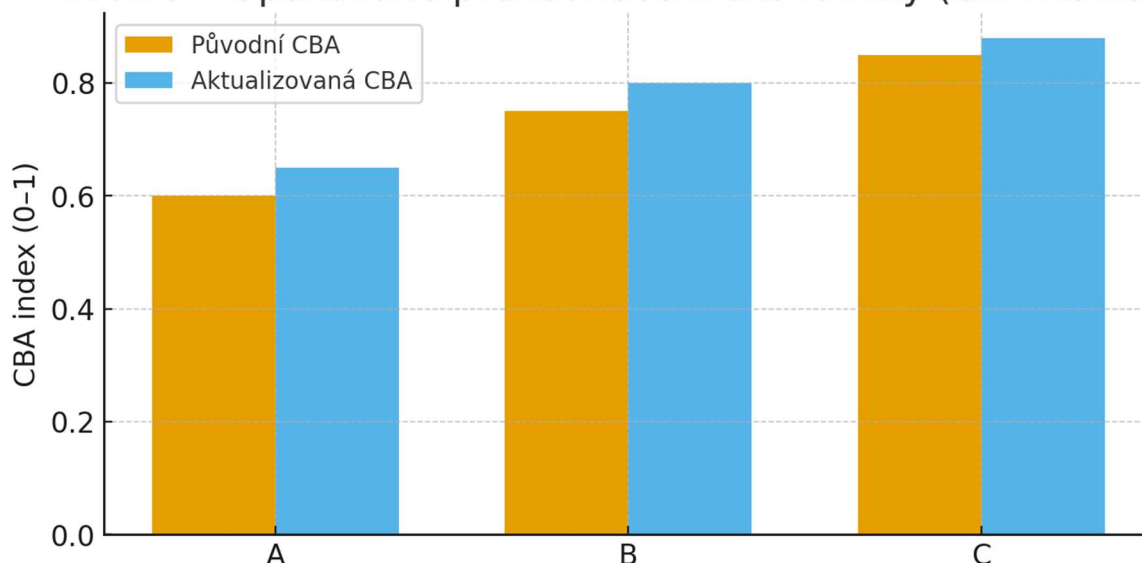
9.5.4 Opakovaná CBA

Zohledňuje:

- reálné provozní náklady,
- servisní cykly,
- efektivitu výroby,
- stabilitu dodávek elektrické energie.

Výsledky opakované CBA je nezbytné porovnat s původní CBA (Krok 4.4). Takový výstup může být např. následující (viz ilustrace připojená zde).

Krok 9 – Opakované přehodnocení ekonomiky (CBA Review)



9.6 Doporučené další metodické kroky (nad rámec metodiky)

(volitelné, ale velmi užitečné u výroby zeleného H₂)

Toto doporučení je sestaveno na základě kombinace následujících skupin vstupních informací:

A) Metodické zdroje H₂Safety a příbuzných standardů

- H₂Safety metodika – sekce o post-komisioningu a stabilizaci provozu
- MOSAR a Re-HAZOP standardní postupy
- Funkční bezpečnost – pravidla SIL revalidace (IEC 61511 / 61508)
- Asset management systémy: alarm management podle ISA 18.2
- Maintenance log management: ISO 55000

B) Technické normy a provozní praxe výroby H₂

- Provozní postupy výroby vodíku (NEL, Siemens, Plug Power – public domain dok.)
- Standardní komisioning + ramp-up postupy elektrolyzérů
- Provozní parametry publikované ve zprávách EU Hydrogen Valleys (2021–2024)

C) Reálné studie a provozní reporty

Informace z veřejně dostupných případových studií:

Projekt	Stát	Zdroj	Použití v kroku 9.6
Hystart Leuna 24 MW	DE	Public commissioning documentation	výkonové trendy, ramp-up
H ₂ V Groningen	NL	Operational KPIs	alarm management
H ₂ Pau autobusová depo	FR	Public safety review	re-HAZOP postupy
Orlen Hydrogen Hub	PL	výstupy 2022–2023	provozní odchylky

Tyto informace byly použity **synteticky**, aby odpovídaly charakteru projektu MSK. Právě proto je doporučována realizace následujících aktivit jako „nadstavba“.

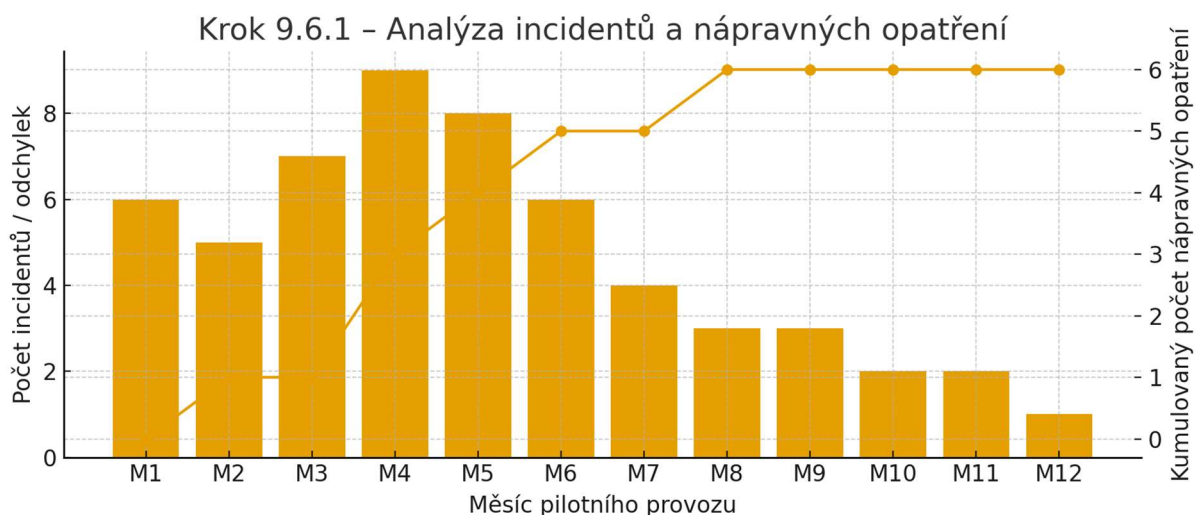
9.6.1 Analýza spolehlivosti RCM (Reliability-Centered Maintenance)

- určení kritických prvků,
- optimalizace údržby,
- zajištění bezpečného dlouhodobého provozu.

Níže je připojen graf prezentující následující informace:

- Sloupce: **počet incidentů / odchylek** v jednotlivých měsících pilotního provozu.
- Křivka: **kumulovaný počet nápravných opatření** (CAPA), která byla zavedena v čase.
- Je vidět typický „learning effect“ – po zavedení opatření postupně klesá počet incidentů.

Trend incidentů a kumulovaných nápravných opatření v pilotním provozu výroby zeleného H₂ je uveden na následujícím obrázku.



Výstupem „**Analýzy technologického výkonu po uvedení do provozu**“ (Performance Review Report) je dokument shrnující:

- výkon elektrolyzéru (účinnost, dostupnost, kapacitní faktor),
- spotřebu elektřiny, vody, tepla,
- množství vyrobeného H₂, skutečné vs. plánované parametry,
- počet alarmů, failů, tripů, přerušení,
- odchylky od projektových předpokladů.

Součástí je i grafické vyjádření trendů, typicky se může jednat o následující:

- graf kapacitního faktoru,
- graf účinnosti v čase,
- graf produkce H₂ za jednotlivé týdny/měsíce,
- SPC křivky stabilit procesních parametrů.

9.6.2 Výpočet dostupnosti $A(t)$

Tento výpočet je vhodné provést pro následující zařízení:

- elektrolyzér,
- kompresor,
- sušicí jednotku,
- zásobníky.

9.6.3 Tvorba „Early Life Failure Report“

Tento typ reportu umožňuje identifikovat následující:

- výrobní vady,
- slabé konstrukční prvky,
- nedostatky dodavatelů.

9.7 Výstupy kroku 9

1. Zkušební protokoly (MC/HC).
2. Ověření SIS funkcí.
3. Výkonová zpráva (Performance Test Report).
4. Měsíční report alarmů a incidentů.
5. Re-HAZOP / Re-MOSAR zprávy.
6. Aktualizovaná CBA a RISKAN.
7. Zpráva o náběhu výkonu.

Krok 10 – Vyhodnocení získaných dat z aplikace záměru

Krok 10 představuje **vrchol celého cyklu metodiky H₂Safety**, v němž jsou shromažďovány, vyhodnocovány a syntetizovány veškeré provozní údaje po prvním roce komerčního či polo-provozního fungování výroby zeleného vodíku. Tyto výstupy slouží jako:

- **audit bezpečnosti,**
- **audit provozní výkonnosti,**
- **audit ekonomické efektivity,**
- **revize personální způsobilosti,**
- **rozhodovací podklad** pro další rozvoj, investice nebo změnová opatření.

Činnosti realizované v rámci kroku 10 se opírají o data nasbíraná v předchozích krocích (8 a 9), včetně provozních protokolů, alarmových trendů, RCA analýz, v neposlední řadě také o výstupy z realizovaných bezpečnostních studií (HAZOP, FMEA, SIL apod.).

10.1 Sběr a konsolidace ročních dat

Tato fáze představuje systematické shromáždění všech datových vrstev, které jsou nutné pro objektivní posouzení bezpečnosti, dostupnosti, spolehlivosti a ekonomické výkonnosti výroby H₂.

a) Provozní protokoly a logy systému SCADA/Historian

Tyto protokoly a logy zahrnují zejména:

- záznamy o provozních hodinách elektrolyzáru,
- počet startů/stop,
- teplotní a tlakové provozní profily,
- výkonové ukazatele na úrovni stacků,
- účinnost procesních kroků (elektrolyzáru – sušení – komprese).

b) Záznamy o alarmech a poruchách

V rámci těchto záznamů dochází ke konsolidaci:

- počtu procesních alarmů (kategorií A/B/C),
- četnosti kritických výstrah (např. únik H₂, přehřátí elektrolyzáru),
- procentuálního podílu falešných alarmů,
- odezvového času operátora.

c) Incidenty a „near-miss“ (skoro nehody)

Tato část se zaměřuje na sběr následujících informací o incidentech a skoronehodách:

- datum a čas incidentu,
- místo události,
- klasifikace dle závažnosti,
- popis dopadů,
- provedená nápravná opatření (z kroku 9.6.1).

d) Data o údržbě a plánovaných odstávkách

Součástí této skupiny dat jsou zejména:

- záznamy o preventivní a prediktivní údržbě,
- zásahy na klíčových komponentech (kompresory, stohy elektrolyzáru),
- skutečná dostupnost technologie vs. plán.

e) Ekonomická data

Sběr a konsolidace těchto dat zahrnuje:

- skutečné náklady na OPEX,
- odchylky oproti plánované CBA,
- příjmy z prodeje H₂,
- náklady na provozní zásoby (voda, filtrace, náhradní díly),
- výdaje na bezpečnost a auditní procesy.

10.2 Vyhodnocení výkonnosti (KPIs)

Po realizace konsolidace dat následně dochází k provedení komplexního ročního vyhodnocení pomocí provozních, bezpečnostních, ekonomických a environmentálních KPI. Vstupem jsou původně stanovené KPIs z kroku 2.4, které jsou porovnávány se skutečným stavem.

a) Provozní KPI

- **Dostupnost technologie (Availability)** = skutečný čas provozu / plánovaný čas.
U typických provozů elektrolyzérů je očekávána hodnota $\geq 97\%$.
- **Výrobní účinnost (Efficiency KPI)**
Výstupní H_2 (kg) vs. spotřebovaná elektrická energie (kWh/kg).
- **Degradace stacků**
Pokles napěťové účinnosti, který může indikovat nutnost výměny stacku (stoh článků).

b) Bezpečnostní KPI

Typické bezpečnostní KPI:

- počet incidentů podle třídy závažnosti,
- četnost úniků H_2 na milion provozních hodin,
- četnost falešných alarmů,
- odezva operátora na alarm.

c) Ekonomické KPI

Navazuje na původní CBA z kroku 4 a zde jsou uvedeny typické ekonomické KPI:

- skutečné náklady na provoz 1 kg H_2 (OPEX/kg),
- odchylka od plánované jednotkové ceny,
- efekt údržby na snížení nákladů (např. úspora díky prediktivním algoritmům).

d) Environmentální KPI

Pro oblast environmentálních KPI jsou typickými zástupci:

- CO_2 úspora díky zelenému H_2 (t/rok),
- vodní stopa výroby (m^3 /rok),
- emisní úspora vs. alternativní paliva.

e) Sociální KPI

Oblast sociální zahrnuje následující KPI:

- bezpečnostní kultura,
- počet proškolených pracovníků,
- sledování psychické zátěže a ergonomie pracovníků (v kritických provozech).

10.3 Analýza „Lessons Learned“

Krok 10 zahrnuje hluboké zhodnocení událostí, problémů a optimalizačních příležitostí, které byly odhaleny během ročního provozu:

a) Root Cause Analysis (RCA) pro kritické události

Zde uvedenou RCA je třeba provést minimálně v následujícím rozsahu:

- pro všechny Class A a B incidenty,
- pomocí 5xWhy, Ishikawa, případně Bow-Tie analýzy.

Výstupy RCA zahrnují:

- identifikované primární a sekundární příčiny,
- selhání techniky / procesu / člověka,
- dopady na bezpečnostní integritu systému.

b) Identifikace opakujících se trendů

Tato identifikace by měla zahrnovat minimálně následující rozsah:

- nárůst frekvence alarmů,
- degradaci procesního výkonu,
- neoptimální provozní okna.

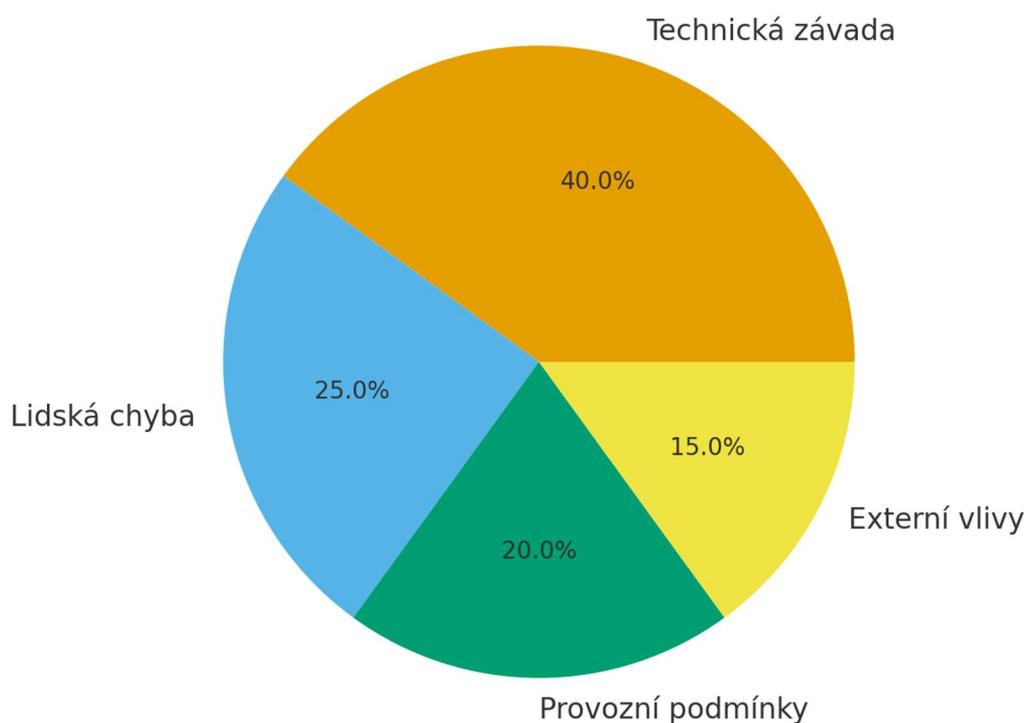
c) Přenos znalostí do dalších projektů (transverzální Lessons Learned)

V regionech typu MSK je možné Lessons Learned využívat pro:

- další výroby H₂,
- dopravní projekty (H₂ autobusy, vlaky),
- průmyslové projekty (redukce uhlíku).

Na základě výstupů z analýzy lessons learned je možné přesněji směřovat již tak omezené zdroje, viz vizualizace předpokládaného rozložení struktury kořenových příčin.

Krok 10 – Lessons Learned: Struktura kořenových příčin (RCA)



10.4 Dopady na udržení personální odbornosti

Zelený vodík vyžaduje trvale vysokou odbornou úroveň pracovníků. Roční audit odbornosti tudíž musí zahrnovat:

a) Audit kompetenční matice

- porovnání plánovaného vs. skutečného naplnění kompetencí,
- identifikace kritických odborných deficitů (ATEX, práce s tlakovými systémy, SCADA).

b) Audit dokumentace a SOP (Standard Operating Procedures)

- úplnost a aktuálnost SOP,
- návaznost na změnové řízení (MoC),
- nutnost přidání nových instrukcí na základě incidentů.

c) Ověření schopnosti řešit mimořádné situace

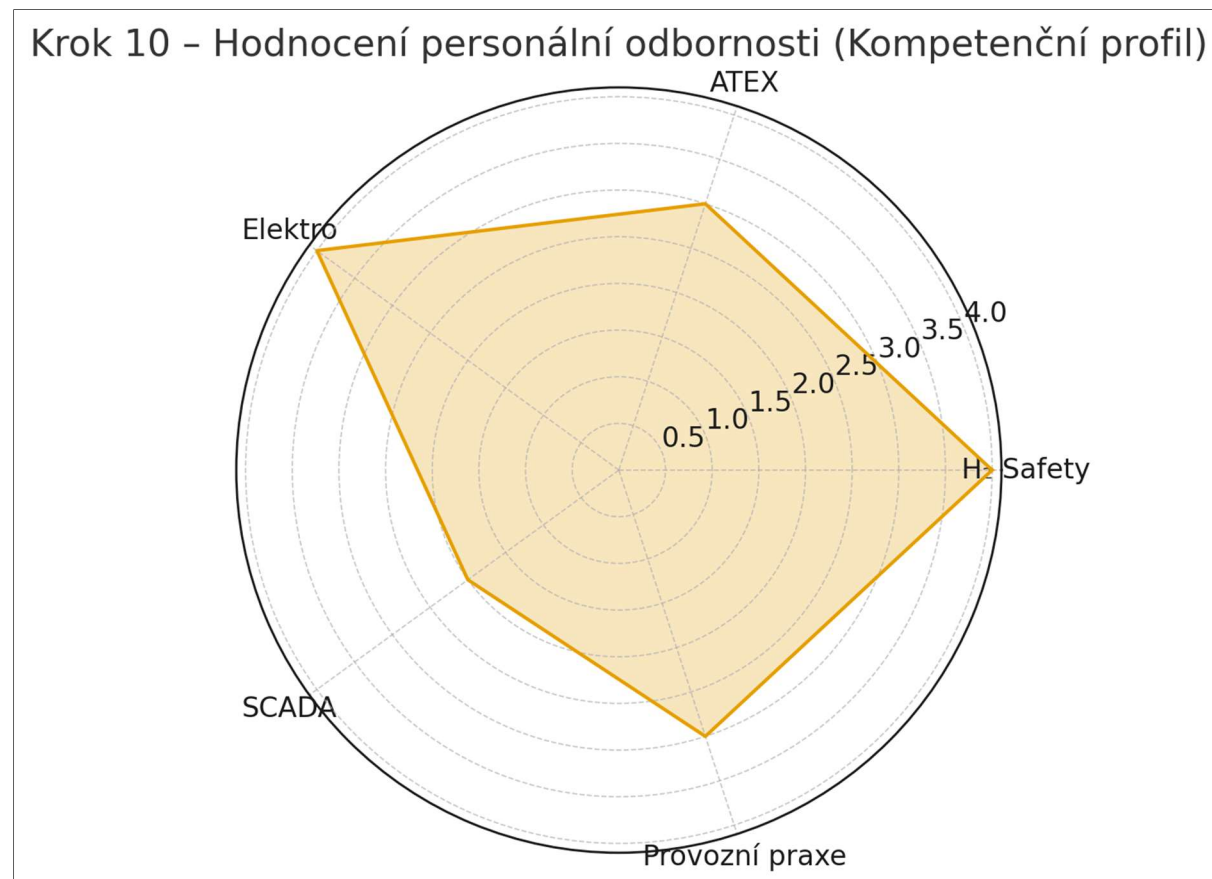
- výsledky školení a praktických cvičení (např. „hydrogen leak response“),
- úroveň připravenosti směnových týmů.

d) Plán rozvoje odbornosti pro další období

- plán školení,

- certifikace dle TIČR, EAL, nebo NFPA 2,
- zajištění kontinuity týmu.

Jedním z možných výstupů je radarový diagram pro hodnocení personální odbornosti, viz následující obrázek.



10.5 Podklady pro rozhodování o dalším rozvoji projektu

Cílem je poskytnout vedení MSK, provozovateli a investorům kompletní sadu podkladů pro rozhodnutí typu:

- pokračovat ve stávajícím režimu,
- investovat do rozšíření kapacity,
- optimalizovat provoz,
- revokovat některé části projektu,
- zahájit druhou nebo třetí etapu výstavby.

Tyto podklady by měly zahrnovat níže uvedená data, informace či materiály:

a) Zpráva o stavu záměru (Annual Safety & Performance Report)

Tato zpráva by měla zahrnovat:

- shrnutí KPI,
- revizi rizik (krok 9.4 a 9.5),

- doporučení pro zlepšení bezpečnosti,
- vyhodnocení ekonomické efektivity.

b) Finanční analýza udržitelnosti

- reálná cena za kg H₂ vs. plán,
- dopady cen energií,
- dopady harmonogramu údržby,
- predikce pro další rok.

c) BCM – Business Continuity Management

V základu se jedná o řešení následujícího:

- identifikaci kritických aktiv,
- dopady přerušení provozu,
- zajištění alternativního zásobování H₂ pro klíčové odběratele.

d) Scénářové řízení (Varianty A–C)

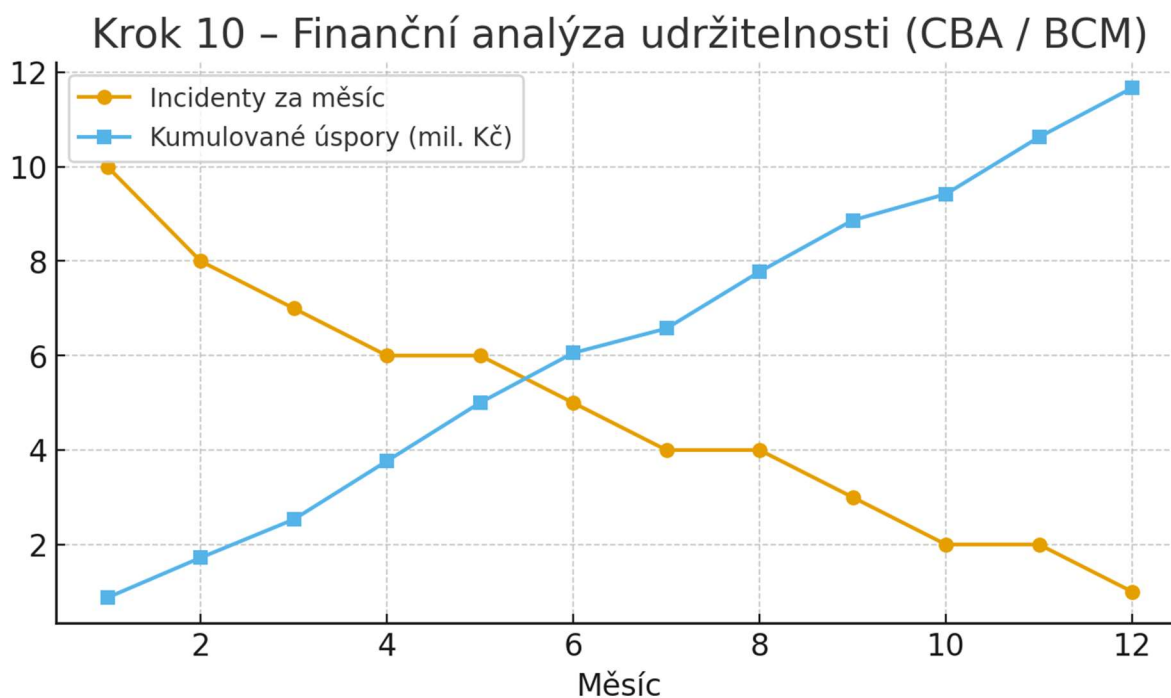
- scénář mírného růstu výroby,
- scénář prudkého růstu poptávky,
- scénář přechodu k velké průmyslové výrobě.

e) Doporučení pro vedení projektu

Doporučení mohou být spatřována např. v následujícím:

- doporučená investice do redundance kompresoru,
- navýšení personální kapacity údržby,
- modernizace bezpečnostního systému (SIS2 → SIS3).

Příkladem grafického výstupu této části může být finanční analýzy udržitelnosti, která kombinuje opakovanou CBA s požadavky BCM, viz následující obrázek.



10.6. Předpokládané střednědobé dopady projektu

a) Regionální dopadová analýza

V rámci dopadové analýzy pro MSK je možné předpokládat následující:

- dopady na průmyslový ekosystém MSK,
- synergie s projekty zaměřenými na mobilitu,
- dopady na kvalitu ovzduší.

b) Analýza dlouhodobých rizik degradace technologie

Výstupy analýzy by měly být zaměřeny minimálně na pokrytí následujících specifických technologií:

- stárnutí elektrolyzérů,
- stárnutí kompresorových jednotek,
- opotřebení ventilů a senzoru H₂.

c) Návrh strategického plánu na 3–5 let

Střednědobý plán by měl být navázán na udržitelnost a rozvoj projektu, přičemž by měl být zaměřen na níže uvedené položky a jejich naplňování:

- roadmapa investic,
- roadmapa bezpečnostních opatření,
- roadmapa integrace s novými OZE.

Krok 11 – Finální rozhodnutí a integrace

Tento krok zahrnuje závěrečné rozhodovací a integrační procesy, které jsou nutné zejména pro následující:

- vyhodnocení celkové bezpečnosti, ekonomiky a provozní udržitelnosti projektu,
- potvrzení vhodnosti pokračování projektu ve větším rozsahu,
- začlenění projektu do provozních a strategických struktur organizace,
- dlouhodobé zajištění provozu, dokumentace a firemních standardů,
- zahájení nového cyklu metodiky (pokud je to potřeba).

Krok 11 také poskytuje **formální rámec pro postup**, na jehož konci musí být vedení schopno s vysokou mírou jistoty rozhodnout:

- zda projekt pokračuje,
- za jakých podmínek projekt pokračuje,
- jak bude dále řízen, financován a integrován.

11.1 Finální rozhodnutí vedení

Finální rozhodnutí vedení se opírá o syntézu klíčových ukazatelů (KPI), analytických výsledků, bezpečnostních auditů a finančního přehodnocení z kroku 10.

V praxi je rozhodnutí realizováno formou **Scorecard** a **závěrečného „Gate Review“**.

a) Scorecard výkonnosti (KPI Scorecard)

Scorecard musí obsahovat minimálně následující oblasti:

Oblast hodnocení	KPI	Plán	Skutečnost	Stav
Bezpečnost	Počet úniků H ₂	≤ 3/rok	2/rok	Splněno
	Incident rate	≤ 0.5	0.42	Splněno
Provoz	Dostupnost elektrolyzéru	≥ 97 %	96.2 %	Hraniční
	MTBF kompresoru	≥ 1500 h	1400 h	Nesplněno
Ekonomika	Výrobní cena H ₂	≤ 180 Kč/kg	192 Kč/kg	Nesplněno
Životní prostředí	Snížení CO ₂	≥ 30 kt/rok	28.5 kt/rok	Hraniční
Lidské zdroje	Splnění kompetencí ATEX/SIL	100 %	96 %	Hraniční

Závěr Scorecard:

- Bezpečnostní parametry byly splněny.
- Provozní a ekonomické parametry vyžadují **doplňková optimalizační opatření**.
- Projekt je **bezpečný**, ale nelze jej bez úprav prohlásit za **plně optimální**.

b) Finální finanční analýza

Součástí rozhodnutí je **update CBA**:

- LCOH zůstává vyšší, než předpokládaly původní scénáře, kvůli vyšším OPEX (kompresor, servisní zásahy).
- Roční náklady způsobené odstávkami poklesly po implementaci opatření kroku 9.6.

- Investiční náklady odpovídají střednímu evropskému benchmarku.
- Výnosy od odběratelů jsou stabilní, poptávka průmyslu je dlouhodobě rostoucí.

Finální závěr (Gate Decision):

Projekt pokračuje do další fáze, ale za podmínky implementace čtyř zásadních zlepšení:

1. Optimalizace kompresorového hospodářství.
2. Implementace prediktivní údržby verze 2.0.
3. Uzavření levnějšího PPA s OZE.
4. Navýšení kompetencí obsluhy v oblasti SIL2/ATEX.

Vedení formálně schvaluje **pokračování projektu**.

11.2 Integrace do procesů BCM

Výroba zeleného vodíku je infrastruktura **kritického významu**.

Proto je nutná integrace do systému řízení kontinuity činností (BCM).

a) Implementace výsledků BIA

Výstupy z kroku 4.2 (BIA) jsou nyní integrovány do BCM dokumentace:

- Max. tolerovaná doba přerušení (MAO) pro elektrolyzátor: **48 hodin**
- Pro kompresorovou jednotku: **16 hodin**
- Pro zásobníky H₂: **72 hodin**

Tyto limity jsou implementovány do plánů obnovy.

b) Nouzové postupy a reakční plány

Byly formalizovány tyto plány:

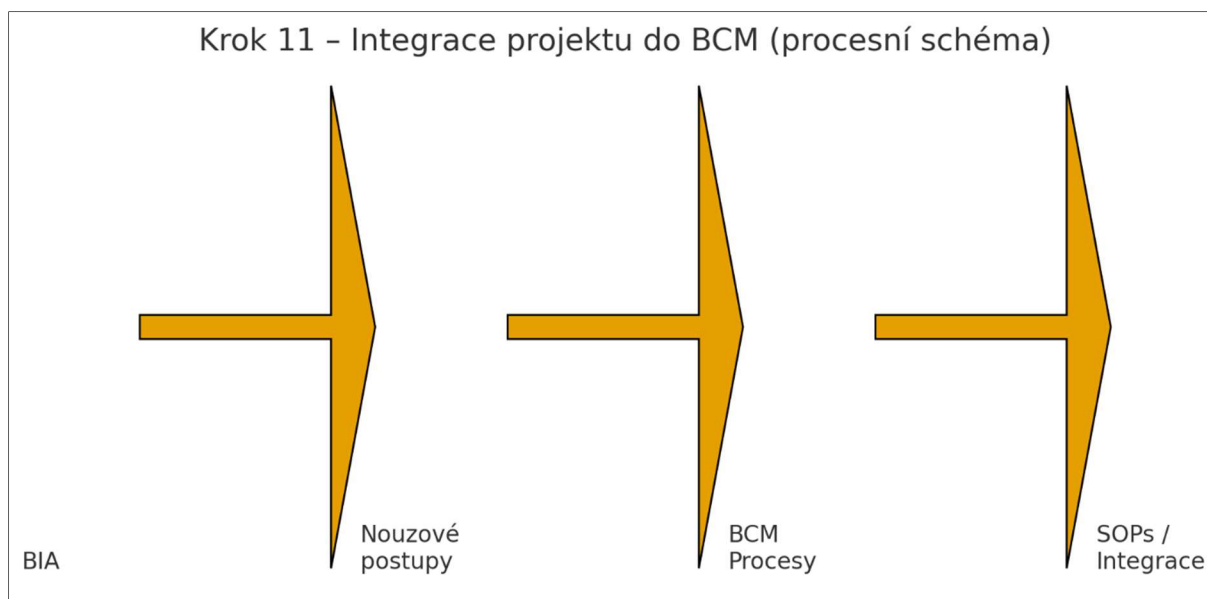
- **Postup při úniku H₂** (detekce → automatický shutdown → větrání → zásah specializované jednotky).
- **Postup při elektrickém blackoutu** (neřízený pokles výkonu → back-up SCADA → řízené odstavení).
- **Postup při poruše kompresoru** (přechod do režimu nízkotlakého výdeje).

c) Vložení záměru do BCM rámce MSK

Výrobní je zařazena mezi:

- **Důležitá regionální infrastruktura** (ev. kritická infrastruktura dle platné legislativy),
- s integrací monitoringu do krajského operačního centra (KOPIS HZS MSK).

Ukázka integrace projektu do BCM s přesahem integrace do SOP, viz následující obrázek.



11.3 Plán udržitelnosti a financování

Tato část definuje strategii pro **dlouhodobé provozování, údržbu a financování systému**.

a) Plán údržby Safety Instrumented System (SIS)

Minimální požadavky:

- Test SIL2 funkcí každých **6 měsíců**.
- Kalibrace H₂ detektorů každých **90 dní**.
- Validace PLC logiky jednou ročně.
- Ověření únikových cest každých **30 dní**.

Výsledky jsou zapisovány do **SIS Maintenance Log**.

b) Periodické revize VTZ

Podle zákona č. 250/2021 Sb. byla definována:

Zařízení	Periodicita revizí
Tlakové zásobníky	1× ročně, + vnitřní kontrola každé 3 roky
Kompresory	1× ročně
Elektrická zařízení	1× ročně
SCADA	kontinuální audit

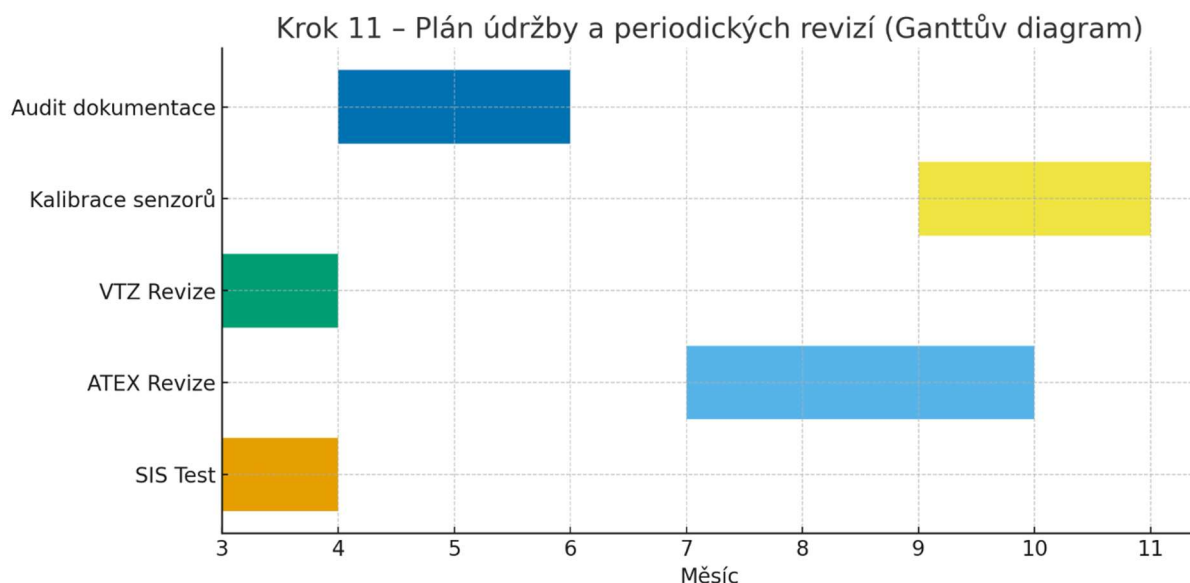
c) Finanční udržitelnost na 10 let

Model zahrnuje:

- náklady na reinvestice (elektrolyzér po 10–12 letech),
- předpokládané poklesy ceny elektřiny ze smluvních OZE,
- růst poptávky ze strany dopravců a průmyslu,
- možnost rozšíření kapacity (Varianty B–C).

Závěr: projekt je dlouhodobě udržitelný při ceně elektřiny $\leq 3,8$ Kč/kWh.

Na následujícím diagramu je uveden návrh plánu údržby a periodických revizí formou Ganttova diagramu pro období fiskálního roku.



11.4 Kodifikace znalostí

Cílem této části je převést provozní zkušenosti na **firemní standard**, který lze opakovaně použít v dalších H₂ projektech. Za tímto účelem je nezbytné zpracovat níže uvedené.

a) Zpráva Lessons Learned

Tato zpráva shrnuje:

- hlavní příčiny provozních odchylek,
- úspěšná opatření (např. prediktivní diagnostika 2.0),
- chyby při uvádění do provozu,
- doporučení pro novou generaci elektrolyzérů.

b) Standardizované postupy (SOPs)

V rámci realizace projektu byly vytvořeny SOPs:

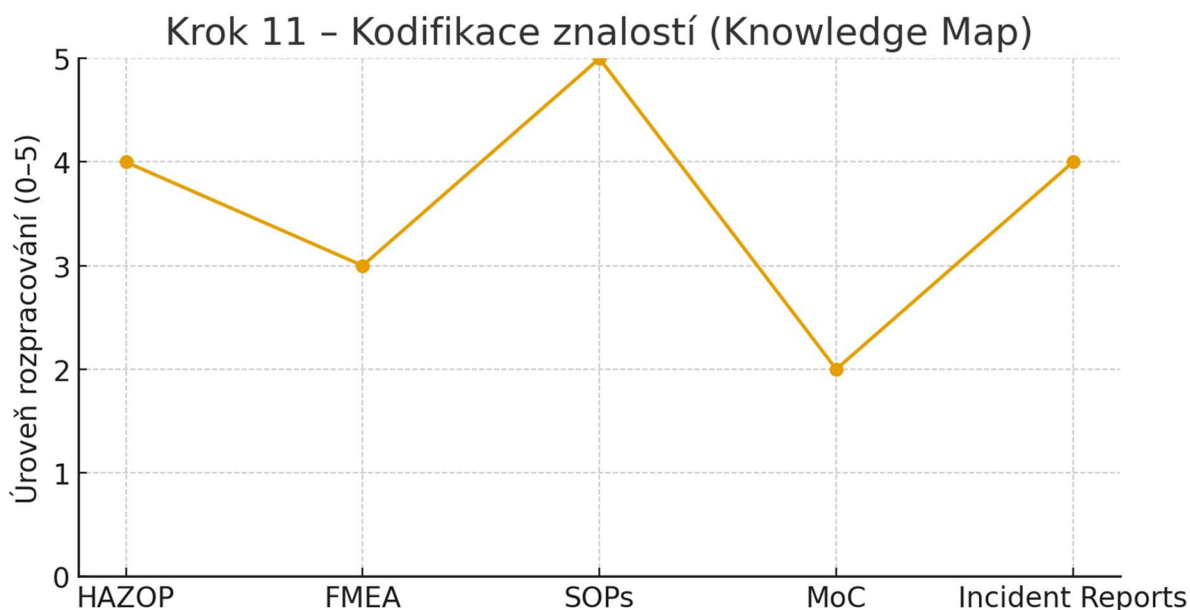
- SOP-H2-01: Start/Stop elektrolyzérů,
- SOP-H2-05: Postup údržby ventilů pod SIL2,
- SOP-H2-09: Manipulace při doplňování zásobníků,
- SOP-H2-14: Emergency Shutdown (ESD).

Tyto dokumenty jsou nyní vázány do interního **H₂ Safety Standardu**.

c) Začlenění do interního systému řízení (IMS)

- Zařazení do ISO 45001 / 14001.
- Vazba na řízení rizik ISO 31000.
- Vazba na asset management ISO 55000.

Níže je připojena vizualizace úrovně znalostí, které je nutno zpracovat a řádně implementovat, viz následující graf.



11.5 Spuštění nového cyklu metodiky

Na základě konsolidovaných výstupů vedení stanovuje:

- zda projekt přechází do **kroku 2** (nové strategické cíle),
- nebo do **kroku 5** (optimalizace rizik a opatření),
- či do **kroku 7** (technická modernizace a HAZOP nové konfigurace).

V případě výroby zeleného H₂ v MSK bude nový cyklus zahájen v:

Kroku 5 Přehodnocení záměru, protože projekt splnil bezpečnostní požadavky, ale má prostor pro optimalizaci ekonomiky a spolehlivosti provozu.

11.6 Předpokládané doplňkové kroky specifické pro výrobu H₂

Níže je uveden výčet doplňkových kroků, které je možné ve střednědobém až dlouhodobém horizontu předpokládat jako nutnost ke zvažování a přípravě potřebných kroků k jejich odstranění.

a) Monitoring technologického stárnutí

Elektrolyzéry po 5–7 letech začínají vykazovat:

- snížení účinnosti (degradace membrán),
- vyšší teplotní odchylky,
- pomalejší reakci regulační logiky.

Pravidelná „health-check“ měření jsou doporučena každé 2 roky.

b) Příprava na budoucí expanzi (Varianty B–C)

Projekt by měl být již nyní připraven na:

- napojení na vodíkový uzel MSK,
- přechod na 5–20 MW,
- integraci s průmyslovými odběrateli (ocelárny, chemie).

c) Synergie s přeshraniční infrastrukturou PL–CZ–SK

V souladu s TEN-T lze do budoucna projekt škálovat pro:

- přeshraniční export H₂,
- umístění plnicích stanic pro těžkou dopravu,
- potenciální napojení na plánovaný polský H₂ koridor.

Krok 12 – Standardizace, šíření znalostí a cyklický rozvoj metodiky

Krok 12 představuje **závěrečnou fázi realizace metodiky H2Safety**, která uzavírá první implementační cyklus projektu „Výroba zeleného vodíku v Moravskoslezském kraji“. V této etapě dochází k:

- institucionalizaci procesů,
- přenosu znalostí napříč organizacemi,
- ustavení trvalých postupů bezpečného provozu,
- zapracování zkušeností z provozu, incidentů a auditu,
- a zahájení dalšího zlepšovacího cyklu.

Tento krok je jedním z nejdůležitějších, protože **zajišťuje dlouhodobou bezpečnost, stabilitu a udržitelnost projektu** a brání tomu, aby bezpečnostní standardy byly vystaveny degradaci v čase.

12.1 Standardizace provozních bezpečnostních postupů

V této fázi projekt přechází z pilotního či zkušebního režimu do plně standardizovaného provozu. Základním výstupem jsou:

- **Standardní operační postupy (SOPs)**
- **Bezpečné pracovní postupy (SWP – Safe Work Procedures)**
- **Provozní směrnice pro vodíkové technologie**
- **Bezpečnostní instrukce pro mimořádné události**
- **Dokumentace funkční bezpečnosti (SIL/PL)**
- **Aktualizované P&ID, stromové diagramy příčin a následků, LOPA, systém řízení změn (MoC)**

Všechny dokumenty musí být:

- validovány provozovatelem,
- revidovány bezpečnostním specialistou H₂,
- schváleny vrcholovým vedením,
- v souladu s ATEX, TiČR, EN ISO 19880–1, EN 17127 a dalšími normami.

a) Struktura a obsah SOP pro výrobu H₂

Každý SOP musí obsahovat:

1. Účel a rozsah
2. Definice odpovědností
3. Postup (normální provoz)
4. Start-up / Shut-down sekvence
5. Kontrolní body a WI (Work Instructions)
6. Výstrahy (Warnings), Nebezpečí (Dangers)
7. Check-listy
8. Reference na normy
9. Vazba na nouzové a havarijní plány

b) Bezpečnostní směrnice specifické pro vodík

Pro výroby zeleného vodíku musí být implementovány minimálně tyto směrnice:

- Směrnice pro práci s elektrolyzérem
- Směrnice pro manipulaci s H₂ kompresory
- Směrnice pro údržbu tlakových systémů a zásobníků
- Směrnice pro kalibraci detektorů úniku H₂ (pevné + přenosné)
- Směrnice ATEX pro elektrická zařízení v zónách 1 a 2
- Postup izolace a odvětrání zařízení před údržbou

c) Integrace se systémem řízení společnosti

Dokumenty se stávají součástí:

- IMS (Integrovaný systém řízení)
- bezpečnostního programu dle SEVESO (je-li vyžadováno)
- systému BOZP
- systému řízení údržby (CMMS, e-MOC)

Tím dochází k zajištění jejich **dlouhodobé platnosti a auditního dohledu**.

12.2 Šíření znalostí a vzdělávání

Cílem tohoto kroku je **multiplikovat znalosti získané v projektu** tak, aby byly dostupné nejen provoznímu personálu, ale i širšímu ekosystému:

- Hasičskému záchrannému sboru (HZS MSK)
- Inspekčním orgánům
- Veřejné správě MSK

- Akademickým partnerům (zejm. VŠB-TUO)
- Potenciálním provozovatelům dalších H₂ technologií.

a) Interní vzdělávání

Obsahuje:

- certifikovaná školení pro práci s vodíkem,
- školení ATEX a BOZP,
- výcvik na simulátorech H₂ provozu,
- školení bezpečnostních funkcí SIS,
- školení MoC,
- pravidelný refresh training (každých 12 měsíců).

b) Externí vzdělávání

Jako hlavní částí externího vzdělávání je doporučováno zejména následující:

- spolupráce s univerzitami,
- příprava specializačních kurzů pro kraje a obce,
- příprava kurzů pro IZS:
 - zásah v prostředí s H₂,
 - zásady ventilace, odpojení napájení,
 - bezpečné přiblížení k zásobníkům a elektrolyzátoru,
- informační kampaně pro veřejnost.

c) Sdílení znalostí napříč projekty

Projekty v MSK s potenciálním využitím:

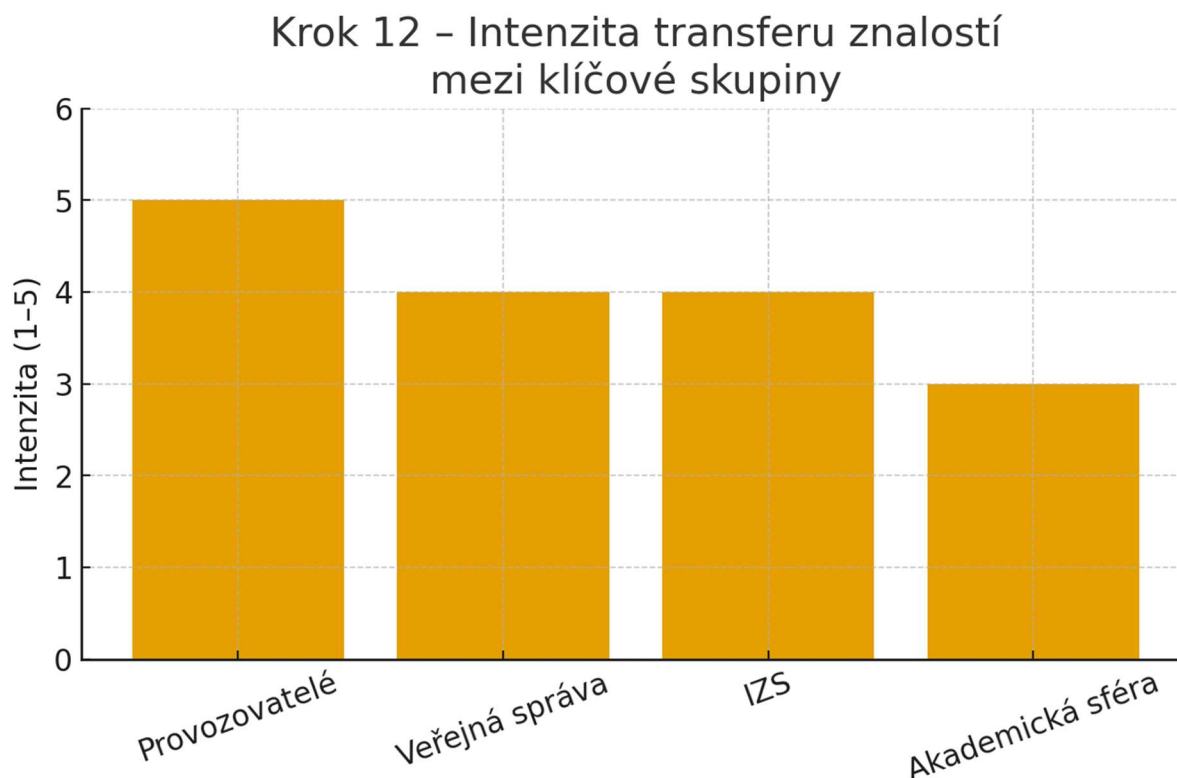
- vodíkové autobusy,
- vodíkové vlaky,
- průmyslové aplikace,
- výroba H₂ pro plynárenský blending,

a jejich úkolem by mělo být sdílení:

- lessons learned,
- výsledky bezpečnostních auditů,
- incidentní statistiky,
- technické standardy dílčích technologií.

Tím dochází ke vzniku **regionální znalostní platformy H₂**, která je klíčová pro dlouhodobou bezpečnou transformaci MSK.

Následující graf zobrazuje předpokládanou intenzitu transferu znalostí z projektu výroby zeleného vodíku mezi klíčové skupiny.



12.3 Cyklické přezkoumání a aktualizace metodiky

Projekt výroby H₂ není jednorázový – **technologie, rizika, procesy i znalosti se vyvíjejí**. Proto musí být metodika H2Safety implementována jako **cyklický PDCA mechanismus**.

a) PDCA cyklus aplikovaný na provoz výroby zeleného H₂

- **P (Plan):** revize rizik (RISKAN), aktualizace CBA, identifikace gapů
- **D (Do):** implementace změn, aktualizace SOP, školení
- **C (Check):** audity, inspekce, kontrola KPI, RCA analýzy
- **A (Act):** úprava mitigací, přepracování dokumentace, návrh zlepšení

b) Validace rizik

Musí probíhat minimálně 1× ročně:

- Re-HAZOP / HAZOP Review
- revize MOSAR A + MOSAR B
- aktualizace matice rizik
- aktualizace scénářů havárií
- kontrola účinnosti mitigací

c) Revize dokumentace a standardů

Musí být revidováno:

- P&ID a technické schéma
- SOPs
- MoC systém
- provozní deníky a alarmová historie

- dokumentace SIL/PL

Každá změna ve výrobním procesu musí být zanesená a auditovatelná.

d) Vyhodnocení účinnosti mitigací

- porovnání KPI meziročně,
- porovnání incidentů,
- identifikace neúčinných opatření,
- návrh nových engineering controls.

e) Aktualizace metodiky H2Safety

Z výsledků provozu je třeba aktualizovat:

- katalog rizik pro elektrolyzéry,
- doporučené mitigace,
- organizace údržby,
- požadavky na detekci H₂,
- požadované kompetence personálu,
- procesní schémata.

Tím dochází k zajištění potřeby, že metodika **evolučně roste spolu s technologiemi**, a nezůstává statická.

12.4 Návrat do předchozích kroků a zahájení dalšího cyklu

Obsahem kroku 12 je možnost zvážit:

- návrat ke **kroku 2 (kontext + požadavky)** → pokud došlo k zásadním změnám
- návrat ke **kroku 5 (strategická analýza)** → při změně ekonomických nebo legislativních podmínek
- návrat ke **kroku 7 (HAZOP/FMEA)** → při významné změně technologie

Cílem výše uvedených možností je, aby projekt zůstal **nepřetržitě v souladu s bezpečnostními, organizačními a ekonomickými cíli**.

Závěrečné shrnutí

Pomocí navržené metodiky jsme zpracovali posouzení komplexních rizik pro výrobu zeleného vodíku v MSK. Snažili jsem se držet aktuálních technicko-ekonomických a legislativních podmínek a podrobně popsat jednotlivé kroky. Postup hodnocení byl navržen pro tři typy vodíkových projektů: var. A – Pilotní lokální výroba H₂ (200–500 kW), var. B – Střední výrobní uzel (2–5 MW), var. C – Regionální H₂ hub (20 MW+). Každý typ bude mít částečně odlišná hlediska a podmínky, proto hodnocení nikdy nebude zcela totožné. Snažili jsme se rovněž popsat důležité rozhodovací kroky a související, či navazující činnosti, které by v analýze rovněž měly být zvažovány. Doufáme, že tato případová studie přinese jasnější představu, jak se dají podobné komplexní případy vodíkové bezpečnosti řešit.

Název:	Komplexní případová studie č. 2 Výroba zeleného vodíku pro místní aplikace v Moravskoslezském kraji
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:	110
Tisk, náklad:	
Neprodejné	

Tato případová studie obsahuje aplikaci Komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR na záměr výroby zeleného vodíku pro místní aplikace v MS kraji. 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 978-80-248-4849-5 (on-line)

DOI 10.31490/9788024848495