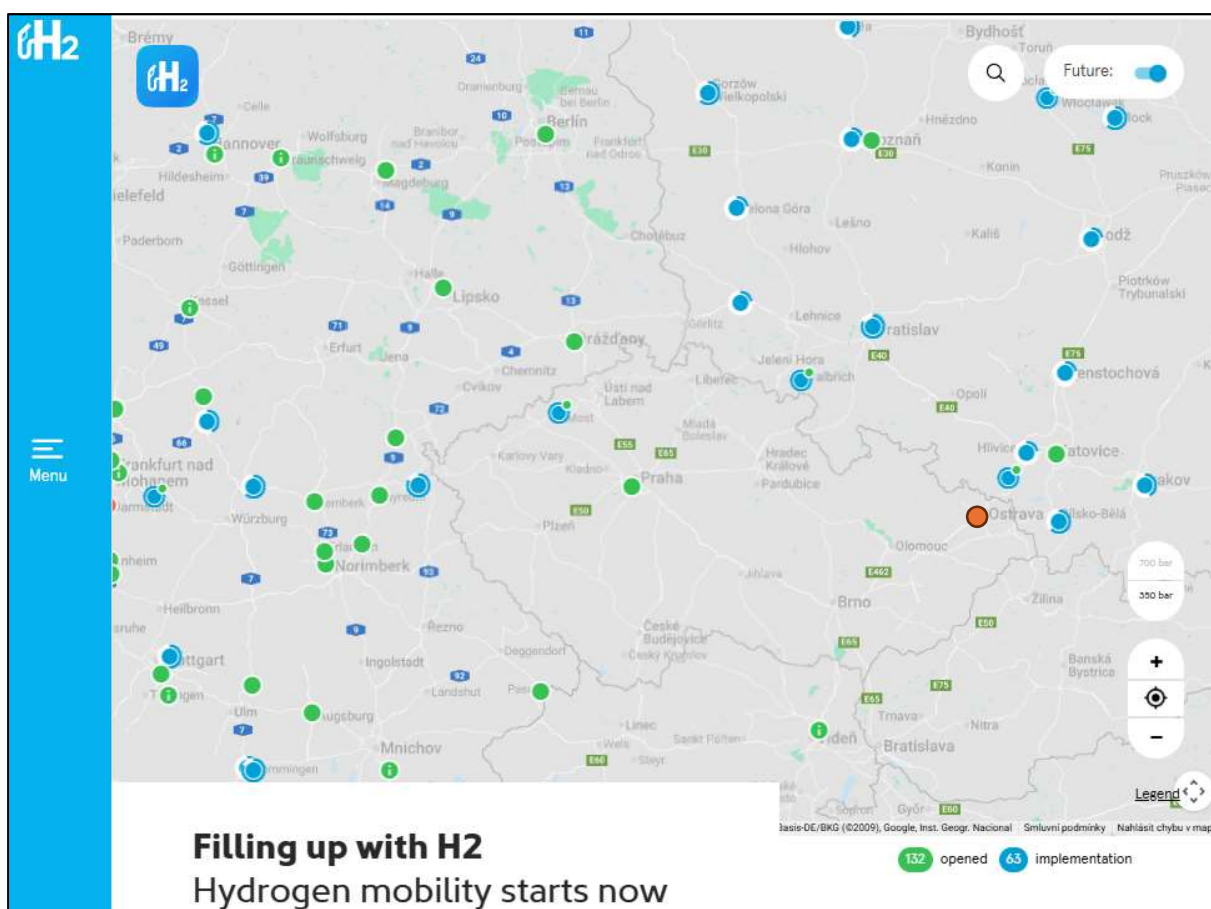


## Komplexní případová studie č. 1

### Záměr projektu na využití vodíku v MHD v Ostravě (MSK)



(Zdroj ilustrační mapy k tématu studie: <https://h2.live/en/> )

*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 města Ostravy zavést vodík (H<sub>2</sub>) jako palivo pro městskou hromadnou dopravu (MHD), například jako jedno z možných alternativních paliv pro autobusovou dopravu. Ostrava má díky své průmyslové historii a množství brownfieldů velmi příhodné podmínky pro rozvoj vodíkových technologií, včetně výroby, skladování a distribuce vodíku.

Jak je vidět z mapy současných i do budoucna plánovaných vodíkových plnicích stanic v evropském prostoru (<https://h2.live/en/>), Česká republika výrazně zaostává co do počtu nově realizovaných či plánovaných nových vodíkových stanic vůči svým sousedům. Ať už se jedná o plnicí zařízení či čerpací stanice pro hromadnou či osobní dopravu. Moravskoslezský kraj, jakožto jedna z dynamicky se rozvíjejících oblastí ČR, mající progresivní vedení s dlouhodobou podporou inovací včetně nových zdrojů energie, by se realizací tohoto záměru mohl znovu zařadit mezi nejpokrokovější kraje nejen v ČR, ale také v prostoru EU.

Studie zahrnuje:

- strategický a provozní kontext Ostravy,
- předběžnou analýzu rizik – makro pohled (MOSAR A, RISKAN, SWOT, BIA, CBA),
- podrobnější analýzu rizik -mikro pohled (MOSAR B, RISKAN ),
- technické analýzy infrastruktury (elektrolyzéry, komprese, zásobníky, tankování),
- HAZOP & FMEA,
- návrh pilotního projektu a následného škálování pro 30–50 autobusů a budoucí osobní dopravu,
- ekonomické scénáře podle středoevropských makroekonomických parametrů,
- grafické přílohy a doporučení pro implementaci.

Studie se zaměřuje nejen na technickou proveditelnost a bezpečnost, ale také na procesní řízení, organizační strukturu projektu, odhadované náklady, provozní model a doporučený postup implementace v Ostravě.

***Poznámka:** Využitá metodika „H2Safety“ obsahuje ve svém popisu jednotlivých doporučovaných kroků množství dotčené související legislativy, metod a českých i zahraničních norem. Uvažovaný, posuzovaný až realizovaný záměr využití 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 o ilustrativní příklady, ne ucelené studie. Předložit analytické práce v plném rozsahu nebylo cílem této případové studie.*

*Tento příklad byl částečně zpracován a revidován s pomocí umělé inteligence (ChatGPTplus, v.5.2).*

## Záměr projektu na využití vodíku v MHD v Ostravě (MSK)

### OBSAH:

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>KROK 1 START ZÁMĚRU / PROJEKTU .....</b>                                                                     | <b>6</b>  |
| 1.1 ÚČEL PROJEKTU .....                                                                                         | 6         |
| 1.2 ROZSAH PROJEKTU .....                                                                                       | 6         |
| 1.3 KLÍČOVÍ POTENCIÁLNÍ AKTÉŘI PROJEKTU .....                                                                   | 7         |
| 1.4 VYMEZENÍ HRANIC PROJEKTU .....                                                                              | 8         |
| 1.5 VARIANTY PROJEKTU .....                                                                                     | 8         |
| 1.6 OČEKÁVANÉ PŘÍNOSY PROJEKTU .....                                                                            | 9         |
| 1.7 KLÍČOVÉ PŘEDPOKLADY .....                                                                                   | 9         |
| 1.8 IDENTIFIKACE POČÁTEČNÍCH RIZIK .....                                                                        | 9         |
| <b>KROK 2 KONTEXT A CÍLE ZÁMĚRU .....</b>                                                                       | <b>10</b> |
| 2.1 VNĚJŠÍ KONTEXT PROJEKTU .....                                                                               | 10        |
| 2.2 VNITŘNÍ KONTEXT MĚSTA OSTRAVY A DPO .....                                                                   | 11        |
| 2.3 STRATEGICKÉ CÍLE PROJEKTU .....                                                                             | 12        |
| 2.4 TAKTICKÉ CÍLE PROJEKTU .....                                                                                | 12        |
| 2.5 PROJEKTOVÁ OMEZENÍ .....                                                                                    | 12        |
| 2.6 POČÁTEČNÍ ANALÝZA ZAJINTERESOVANÝCH STRAN (HIGH-LEVEL) .....                                                | 13        |
| 2.7 HLAVNÍ DOPADY PROJEKTU .....                                                                                | 13        |
| 2.8 SOULAD PROJEKTU S VNĚJŠÍMI DOKUMENTY .....                                                                  | 13        |
| <b>KROK 3 PROJEKTOVÝ TÝM A GOVERNANCE .....</b>                                                                 | <b>14</b> |
| 3.1 PROJEKTOVÁ ORGANIZAČNÍ STRUKTURA .....                                                                      | 14        |
| 3.2 DETAILNÍ ROLE A ODPOVĚDNOSTI .....                                                                          | 15        |
| 3.3 KOMPETENČNÍ MATICE (RACI MODEL) .....                                                                       | 17        |
| 3.4 KOMUNIKAČNÍ A REPORTINGOVÝ MODEL .....                                                                      | 17        |
| 3.5 ŘÍZENÍ PROJEKTU, SPRÁVA RIZIK DLE DOBRÉ PRAXE (GOVERNANCE) .....                                            | 18        |
| 3.6 ORGANIZAČNÍ SCHÉMA PROJEKTU .....                                                                           | 18        |
| <b>KROK 4 PŘEDBĚŽNÁ IDENTIFIKACE A VYHODNOCENÍ VSTUPNÍCH RIZIK PROVOZU, NAKLÁDAJÍCÍHO S H<sub>2</sub> .....</b> | <b>19</b> |
| 4.1 MOSAR A – MAKROSKOPICKÁ ANALÝZA RIZIK .....                                                                 | 19        |
| 4.2 SWOT ANALÝZA .....                                                                                          | 21        |
| 4.3 BIA – BUSINESS IMPACT ANALYSIS .....                                                                        | 22        |
| 4.4 CBA – COST–BENEFIT ANALÝZA .....                                                                            | 23        |
| 4.5 GRAFICKÉ ČÁSTI .....                                                                                        | 24        |
| <b>KROK 5 PŘEHODNOCENÍ ZÁMĚRU .....</b>                                                                         | <b>26</b> |
| 5.1 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ PŘEDBĚŽNÉ ANALÝZY RIZIK .....                                                               | 26        |
| 5.2 IDENTIFIKACE KLÍČOVÝCH PŘEKÁŽEK A JEJICH ŘEŠITELNOST .....                                                  | 27        |

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3 DOPORUČENÍ, ZDA PROJEKT POKRAČUJE A V JAKÉ VARIANTĚ .....                       | 27        |
| 5.4 PŘIPRAVENOST PROJEKTU POKRAČOVAT DO KROKU 6 DLE METODIKY .....                  | 28        |
| <b>KROK 6 PODROBNÁ ANALÝZA RIZIK.....</b>                                           | <b>29</b> |
| 6.1 DEFINICE ANALYZOVANÉHO SYSTÉMU (H <sub>2</sub> PRO MHD) A JEHO SUBSYSTÉMŮ ..... | 29        |
| 6.2 MOSAR B – IDENTIFIKACE HROZEB NA ÚROVNI TECHNOLOGICKÝCH UZLŮ .....              | 30        |
| 6.3 RISKAN (PODROBNĚJŠÍ MATICE INTERAKCÍ MEZI HROZBAMI A AKTIVY) .....              | 35        |
| 6.4 HAZOP – SYSTEMATICKÁ ANALÝZA PROVOZNÍCH ODCHYLEK.....                           | 36        |
| 6.5 FMEA – FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS .....                                  | 37        |
| 6.6 SOUHRN ZJIŠTĚNÍ Z HAZOP & FMEA .....                                            | 38        |
| 6.4 NÁVRH MITIGACÍ (TECHNICKÉ A ORGANIZAČNÍ).....                                   | 38        |
| 6.5 VÝSTUPY KROKU 6 .....                                                           | 39        |
| <b>KROK 7 FORMALIZACE PILOTNÍHO PROJEKTU .....</b>                                  | <b>39</b> |
| 7.1 DEFINICE PILOTNÍHO PROJEKTU .....                                               | 39        |
| 7.2 FINÁLNÍ TECHNICKÁ KONFIGURACE PILOTU (DOPORUČENÁ) .....                         | 40        |
| 7.3 ZÁVĚR APLIKACE KROKU 7 .....                                                    | 40        |
| <b>KROK 8 REALIZACE PROJEKTU.....</b>                                               | <b>41</b> |
| 8.1 HLAVNÍ MILNÍKY REALIZACE .....                                                  | 41        |
| 8.2 ZJEDNODUŠENÝ PROJEKTOVÝ GANTT DIAGRAM .....                                     | 43        |
| 8.3 ŘÍZENÍ KVALITY.....                                                             | 44        |
| 8.4 ŘÍZENÍ ZMĚN .....                                                               | 45        |
| 8.5 INCIDENT MANAGEMENT (OSTRAVA H <sub>2</sub> MODEL).....                         | 45        |
| 8.6 PŘÍPRAVA PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU .....                                         | 45        |
| 8.7 ZÁVĚR KROKU 8 .....                                                             | 46        |
| <b>KROK 9 OVĚŘENÍ V PRAXI (PILOTNÍ PROVOZ).....</b>                                 | <b>46</b> |
| 9.1 CÍLE PILOTNÍHO PROVOZU .....                                                    | 46        |
| 9.2 PARAMETRY PILOTNÍHO PROVOZU .....                                               | 47        |
| 9.3 OVĚŘENÍ BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ .....                                           | 47        |
| 9.4 PROVOZNÍ MĚŘENÍ – DEFINICE KPI .....                                            | 48        |
| 9.5 REÁLNÉ CHOVÁNÍ BĚHEM PILOTNÍHO PROVOZU (OČEKÁVANÉ ZÁVĚRY) .....                 | 49        |
| 9.6 VALIDACE BEZPEČNOSTNÍCH ANALÝZ (MOSAR B, HAZOP, FMEA).....                      | 49        |
| 9.7 DOPORUČENÍ PRO ŠKÁLOVÁNÍ DO FÁZE 2 (30–50 AUTOBUSŮ) .....                       | 49        |
| 9.8 ZÁVĚR APLIKACE KROKU 9 .....                                                    | 50        |
| <b>KROK 10 FINÁLNÍ HODNOCENÍ PROJEKTU .....</b>                                     | <b>50</b> |
| 10.1 SOUHRN ZJIŠTĚNÍ V OBLASTI ZAJIŠTĚNÍ RIZIK A SOUVISEJÍCÍ BEZPEČNOSTI .....      | 51        |
| 10.1.1 NEJKRITICHTĚJŠÍ TECHNICKÁ RIZIKA BYLA IDENTIFIKOVÁNA.....                    | 51        |
| 10.1.2 NEBEZPEČNOST H <sub>2</sub> TECHNOLOGIE JE ZVLÁDNUTELNÁ .....                | 51        |
| 10.2 ZBYTKOVÉ RIZIKO PO ZAVEDENÍ MITIGACÍ .....                                     | 52        |
| 10.3 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ – FINÁLNÍ PŘEHLED .....                                   | 53        |

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 10.4 PROVOZNÍ PŘIPRAVENOST .....                                                                                | 53        |
| 10.5 KONTROLNÍ CHECKLIST PŘIPRAVENOSTI .....                                                                    | 53        |
| 10.6 FINÁLNÍ ZÁVĚR KROKU 10 .....                                                                               | 54        |
| <b>KROK 11 ROZHODNUTÍ O PŘIJETÍ ČI NEPŘIJETÍ VÝSTUPŮ, PLÁN IMPLEMENTACE .....</b>                               | <b>54</b> |
| 11.1 STRATEGICKÉ ROZHODNUTÍ NA ZÁKLADĚ PILOTU .....                                                             | 54        |
| 11.2 DEFINICE FÁZE 2 – MĚSTSKÁ INFRASTRUKTURA H <sub>2</sub> .....                                              | 55        |
| 11.3 IMPLEMENTAČNÍ PLÁN PRO FÁZI 2 .....                                                                        | 55        |
| 11.4 ZDROJE A ZÁVAZKY POTŘEBNÉ PRO FÁZI 2 .....                                                                 | 57        |
| 11.5 MATICE ROZHODNUTÍ .....                                                                                    | 57        |
| 11.6 ZÁVĚR KROKU 11 .....                                                                                       | 57        |
| <b>KROK 12 FINALIZACE, SCHVÁLENÍ A ZÁVĚREČNÁ DOPORUČENÍ .....</b>                                               | <b>58</b> |
| 12.2 FORMÁLNÍ ROZHODNUTÍ .....                                                                                  | 59        |
| 12.3 DOPORUČENÍ PRO IMPLEMENTACI FÁZE 2 .....                                                                   | 60        |
| 12.4 DOPORUČENÍ PRO KOMUNIKACI S VEŘEJNOSTÍ .....                                                               | 60        |
| 12.5 DOPORUČENÍ PRO DLOUHODOBÝ PROVOZ A AKTUALIZACE .....                                                       | 61        |
| 12.6 FINÁLNÍ DOPORUČENÍ PRO ROZVOJ PROJEKTU .....                                                               | 61        |
| 12.7 ZÁVĚREČNÝ VERDIKT STUDIE .....                                                                             | 61        |
| <b>SHRNUTÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE PRO VRCHOLOVÝ MANAGEMENT A VEDENÍ MSK (HEJTMAN<br/>KRAJE, STAROSTA MĚSTA) .....</b> | <b>62</b> |
| <b>PODROBNĚJŠÍ SHRNUTÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE PRO ZASTUPITELE KRAJE A MĚSTA .....</b>                                 | <b>63</b> |
| 1. STRATEGICKÝ KONTEXT A MOTIVACE PROJEKTU .....                                                                | 63        |
| 2. VARIANTY PROJEKTU A JEJICH CHARAKTERISTIKY .....                                                             | 63        |
| 3. KLÍČOVÉ ZÁVĚRY ANALÝZY PODLE H <sub>2</sub> SAFETY (KROKY 1–12) .....                                        | 64        |
| 4. KLÍČOVÁ DOPORUČENÍ PRO VEDENÍ MĚSTA / KRAJE / DOPRAVCE .....                                                 | 65        |
| 5. ZÁVĚR SHRNUTÍ .....                                                                                          | 65        |

# Krok 1 Start záměru / projektu

## 1.1 Účel projektu

Účelem projektu je zavést technologicky, ekonomicky a bezpečnostně udržitelný systém využití vodíku (H<sub>2</sub>) jako paliva pro městskou hromadnou dopravu (MHD) v Ostravě, a to formou pilotního projektu a následného rozšíření na plný provoz.

Tento projekt:

- demonstruje využitelnost H<sub>2</sub> v městské dopravě,
- propojuje ekologické, technologické a inovativní cíle města,
- poskytne strukturované bezpečnostní řízení rizik podle metodiky H2Safety,
- ověří technicko-ekonomickou proveditelnost pro 30–50 autobusů,
- vytváří základ pro budoucí H<sub>2</sub> infrastrukturu v MSK.

Projekt je řízen jako **strategická investice** města Ostravy, která má vysoký inovační potenciál a přímý vliv na veřejný život obyvatel města.

## 1.2 Rozsah projektu

Rozsah zahrnuje několik vzájemně provázaných oblastí:

### Technologická část

- instalace elektrolyzéru o výkonu 1 MW (pilot) a příprava na 2–5 MW (škálování),
- vybudování kompresních a skladovacích kapacit pro H<sub>2</sub>,
- instalace 1–2 výdejních stojanů pro autobusy a doplňkového stojanu pro osobní vozy,
- ATEX zónování, bezpečnostní systémy, monitoring a SCADA.

### Provozní část

- nákup a provoz 10–15 pilotních autobusů (fáze 1),
- následně 30–50 autobusů (fáze 2),
- testování provozních režimů, tankování, údržby a reakcí na incidenty.

### Procesní a bezpečnostní část

- makroskopická analýza rizik (SWOT, MOSAR A, BIA, CBA),
- mikroskopická analýza (MOSAR B, RISKAN mikro),
- HAZOP/FMEA,
- plán krizových situací a řízení změn (MoC),
- validace bezpečnostních opatření během pilotního provozu.

#### **Ekonomická část**

- analýza CAPEX/OPEX pro různé varianty výkonu (1–5 MW),
- citlivostní analýza ceny elektřiny,
- dotace, dlouhodobé smlouvy PPA, potenciál průmyslových odběratelů.

#### **Komunikační část**

- komunikace s veřejností (vnímání rizik dle Slovice),
- interní komunikace DPO a města,
- komunikace s investory a průmyslovými partnery.

### **1.3 Klíčové potenciální aktéři projektu**

Projekt se dotýká několika vrstev aktérů:

#### **Politicko-strategičtí aktéři**

- Statutární město Ostrava
- Moravskoslezský kraj
- Ministerstvo dopravy, Ministerstvo průmyslu a obchodu
- Integrovaný regionální operační program (IROP)
- Modernizační fond

#### **Provozní a technicko-logističtí aktéři**

- Dopravní podnik Ostrava (DPO)
- Energetické společnosti (ČEZ, Veolia, Heimstaden – dle variant)
- Dodavatelé elektrolyzérů (NEL, PlugPower, Siemens, Sunfire)
- Dodavatelé kompresorů (Howden, Burckhardt Compression)
- Dodavatelé detekčních systémů a ATEX komponent

#### **Regulační a kontrolní instituce**

- HZS Moravskoslezského kraje
- TIČR
- Stavební úřad
- Odbor životního prostředí
- Povolení EIA / IPPC (dle rozsahu)

#### **Společenské skupiny**

- obyvatelé Ostravy,
- komunitní skupiny,

- média,
- univerzity (VŠB-TUO),
- zájmové ekologické organizace.

## 1.4 Vymezení hranic projektu

Projekt se soustředí výhradně na:

- výrobu H<sub>2</sub> v elektrolyzáru (nikoli SMR či pyrolýzu),
- skladování v tlakových zásobnících 300–700 bar,
- výdejní infrastrukturu pro autobusy (a v budoucnu pro osobní vozy),
- provoz autobusů v reálném městském prostředí.

Nezahrnuje:

- vybudování celostátní H<sub>2</sub> sítě,
- přímou integraci do průmyslu (zatím),
- vodíkové tramvaje, vlaky, těžké stroje,
- výrobu H<sub>2</sub> z biomasy nebo organických odpadů.

## 1.5 Varianty projektu

Projekt lze realizovat ve třech základních variantách:

### **Varianta A – Pilotní (konzervativní)**

- 1 MW elektrolyzáru
- 10–15 autobusů
- 1 kompresní a výdejní stanice
- minimální organizační dopad
- testování všech bezpečnostních prvků

### **Varianta B – Městský základní provoz (doporučená)**

- 2–3 MW elektrolyzáru
- 30–50 autobusů
- 1–2 H<sub>2</sub> stanice v Ostravě
- integrace s městskými energetickými plány
- využití 1–2 brownfieldů (např. Karolina, Hranečník)

### **Varianta C – Rozšířený městský provoz + osobní segment**

- 5 MW elektrolyzáru
- 50+ autobusů

- až 5 000 osobních H<sub>2</sub> vozů (Toyota Mirai, Hyundai Nexo...)
- 2–3 H<sub>2</sub> stanice
- komplexní řízení bezpečnosti, školení, datový monitoring

## 1.6 Očekávané přínosy projektu

### Ekologické

- snížení emisí CO<sub>2</sub> o 2 000–4 000 t/rok při nahrazení 30–50 dieselových autobusů,
- nulové lokální emise NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM,
- lepší kvalita ovzduší v průmyslovém městě.

### Technologické a inovativní

- vytvoření prvního městského H<sub>2</sub> hubu v MSK,
- získání know-how pro širší rozvoj vodíkových projektů,
- posílení konkurenceschopnosti regionu.

### Sociální a společenské

- zvýšení prestiže města,
- vytvoření nových pracovních míst v oblasti H<sub>2</sub> technologií,
- edukace veřejnosti v pokročilých technologiích.

## 1.7 Klíčové předpoklady

- dostupnost vhodných brownfieldů,
- stabilní cena elektřiny / PPA kontrakty,
- politická podpora magistrátu a kraje,
- dostupnost servisních odborníků pro H<sub>2</sub> infrastrukturu,
- fungující proces povolování EIA a stavebních povolení.

## 1.8 Identifikace počátečních rizik

- nedostatečná dostupnost levné elektřiny,
- veřejné obavy z bezpečnosti (Slovic: vnímání rizika jako neznámého),
- nedostupnost odborníků,
- zpoždění povolovacích procesů,
- rizika v oblasti komprese a vysokotlakých systémů.

## Krok 2 Kontext a cíle záměru

Krok 2 metodiky H2Safety definuje rámec, v němž projekt vzniká, a propojuje vnější podmínky (legislativa, strategie, trh, technologie) s vnitřními faktory města Ostravy, Dopravního podniku Ostrava (DPO) a regionálního prostředí Moravskoslezského kraje.

### 2.1 Vnější kontext projektu

#### 2.1.1 Legislativní rámec České republiky a EU

Projekt je formován několika úrovněmi regulací:

##### Evropská legislativa a strategie

- **Fit for 55** – tlak na snížení emisí CO<sub>2</sub> o 55 % do roku 2030.
- **EU Hydrogen Strategy (2020)** – podpora využití zeleného vodíku v dopravě a energetice.
- **Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR, 2023)** – předpokládá rozvoj sítě H<sub>2</sub> stanic do roku 2030.
- **TEN-T** – tranzitní koridory mohou být napojeny na H<sub>2</sub> infrastrukturu.

##### Národní rámec

- **Státní energetická koncepce ČR** – předpokládá rozvoj vodíkových technologií pro průmysl a dopravu.
- **Národní akční plán čisté mobility** – explicitně počítá s H<sub>2</sub> pro MHD a veřejnou dopravu.
- **Zákon č. 250/2021 Sb. – vyhrazená zařízení** – klíčový pro elektrolyzéry, tlaková zařízení a kompresní infrastrukturu.
- **Zákon o prevenčním posuzování závažných havárií (SEVESO)** – může se vztahovat na velké skladovací kapacity H<sub>2</sub>.
- **ATEX 100a / ATEX 137** – určují povinnosti zaměstnavatele a certifikaci zařízení.

##### Regionální dokumenty

- **Strategie rozvoje Moravskoslezského kraje 2021–2027** – podporuje transformaci regionu směrem k čistým technologiím.
- **Akční plán nízkoemisní mobility MSK** – vyjmenovává H<sub>2</sub> jako perspektivní řešení pro MHD.
- **Plán udržitelné městské mobility Ostravy (SUMP)** – obsahuje důraz na bezemisní dopravu a technologické inovace.

Legislativní kontext jednoznačně podporuje zavádění vodíku v dopravě, zejména tam, kde bateriové technologie narážejí na limity (autobusy ve špičkách, nízké teploty, dlouhé trasy).

## 2.1.2 Ekonomické a technologické prostředí

### Ceny energií a ekonomické trendy

- Ceny elektřiny v ČR ve střednědobém horizontu 2025–2035 vykazují stabilizaci na úrovni 4–6 Kč/kWh.
- Ekonomická návratnost H<sub>2</sub> projektů závisí na přímých kontraktech PPA (Power Purchase Agreements).
- Trend dotací: EU směřuje miliardy EUR do vodíku (IPCEI, Modernizační fond).

### Technologická připravenost

- Elektrolyzéry (alkalické i PEM) jsou komerčně dostupné v jednotkách až desítkách MW.
- Kompresory 350 / 700 bar jsou standardně používány v Evropě.
- Výdejní stojany pro MHD existují, využívají vysokotlaké zásobníky a bezpečnostní rychloventily.
- H<sub>2</sub> autobusy (Toyota, Solaris, CaetanoBus, Van Hool) jsou již ve standardním evropském provozu.

### Benchmark – srovnání Evropských měst

Města využívající H<sub>2</sub> autobusy (min. 20 ks):

| Město    | Země | Počet H <sub>2</sub> busů | Klíčová výhoda                                 |
|----------|------|---------------------------|------------------------------------------------|
| Aberdeen | UK   | 25                        | dlouhodobá zkušenost s H <sub>2</sub> dopravou |
| Köln     | DE   | 52                        | robustní infrastruktura 2+ MW                  |
| Pau      | FR   | 15                        | horské trasy, náhrada dieselů                  |
| Bolzano  | IT   | 20                        | komplexní řízení rizik, výzkum                 |

Zkušenosti ukazují, že **města velikosti Ostravy** jsou ideálními kandidáty pro 30–50 H<sub>2</sub> autobusů.

## 2.2 Vnitřní kontext města Ostravy a DPO

### 2.2.1 Institucionální připravenost

Ostrava je technologicky progresivní město:

- již provozuje velkou flotilu CNG autobusů,
- má zkušenosti s elektrobusy a dobíjecí infrastrukturou,
- disponuje moderními vozovny (Hranečník, Poruba),
- aktivně řeší nízkoemisní politiku v dopravě.

Dopravní podnik Ostrava (DPO) má:

- stabilní technické oddělení,
- zkušenosti se zaváděním rizikových technologií (tlakové systémy, elektro),
- vyškolené řidiče a mechaniky,
- pokročilý systém řízení flotily (dispatching, SCADA).

## 2.2.2 Lokální specifika města

Ostrava má několik silných lokálních podmínek:

- **brownfieldy vhodné pro umístění H<sub>2</sub> stanice** (Karolina, Hranečník, Dolní oblast Vítkovice),
- vysoký dopravní provoz na magistralé — ideální pro demonstraci nízkých emisí,
- veřejné vnímání životního prostředí je zde nadprůměrně citlivé,
- dostupnost vědecko-výzkumných partnerů (VŠB-TUO, CIIRC, H<sub>2</sub> Testing Facility).

## 2.3 Strategické cíle projektu

Strategické cíle vycházejí z potřeb města i nadřazených dokumentů:

### S1 – Dekarbonizace dopravy v Ostravě

Vodík umožňuje dosažení emisí blízkých nule během provozu.

### S2 – Transformace brownfieldů

Využití nevyužitých území pro infrastrukturu budoucnosti.

### S3 – Vytvoření regionálního H<sub>2</sub> hubu

Ostrava se může stát centrem vodíkových technologií v MSK.

### S4 – Získání technologického know-how

Pilot poskytne základ pro širší infrastrukturu města.

### S5 – Přenositelnost řešení

Model H<sub>2</sub> MHD může být aplikován i v dalších městech regionu (FM, Opava, Havířov).

## 2.4 Taktické cíle projektu

T1 – vybudovat pilotní 1 MW H<sub>2</sub> stanici do 24 měsíců,

T2 – zahájit provoz 10–15 H<sub>2</sub> autobusů ve fázi 1,

T3 – rozšířit flotilu na 30–50 autobusů ve fázi 2,

T4 – nasadit multiúrovňové bezpečnostní systémy (ATEX, SIL2),

T5 – validovat provozní náklady během prvních 12 měsíců,

T6 – připravit škálování na 2–5 MW ve fázi 3.

## 2.5 Projektová omezení

- kapacita distribuční soustavy (nutnost 22–35 kV přípojky),
- složité povolenací procesy u EIA,

- vysoké náklady na elektřinu (hlavní OPEX),
- dostupnost servisních techniků,
- veřejné vnímání bezpečnosti vodíku.

## 2.6 Počáteční analýza zainteresovaných stran (high-level)

Na základě principů Paula Slovice:

### Faktory ovlivňující veřejné vnímání rizik

- riziko je vnímáno jako *nové*,
- má potenciál *katastrofických následků*,
- veřejnost nemá nad rizikem *kontrolu*,
- technologie je *málo známá*,
- důvěra ve správce rizika (DPO, město) bude klíčová.

## 2.7 Hlavní dopady projektu

### Pozitivní dopady

- čistší ovzduší,
- technologické inovace,
- příprava města na budoucí energetiku.

### Negativní dopady (potenciální)

- riziko výbuchu či požáru při špatné manipulaci,
- zvýšené nároky na odborný personál,
- vyšší OPEX v porovnání s CNG flotilou.

## 2.8 Soulad projektu s vnějšími dokumenty

Projekt je v plném souladu s:

- SUMP Ostrava,
- Strategii rozvoje MSK,
- Národním plánem čisté mobility,
- politikou EU v oblasti dekarbonizace dopravy.

## Krok 3 Projektový tým a governance

Nasazení vodíku v městské dopravě patří mezi složité technologické projekty, které se dotýkají oblastí energetiky, chemické bezpečnosti, dopravního inženýrství, právní regulace a veřejné správy. Dobře navržený projektový tým je základem řízení rizik, kontroly kvality a úspěšné realizace.

Níže je rozpracována struktura, kompetenční požadavky, odpovědnosti a komunikační systém projektu „H<sub>2</sub> v MHD Ostrava“.

### 3.1 Projektová organizační struktura

Projektová struktura má být **matricového typu**, kombinující:

- vedení města (strategická rovina),
- vedení DPO (provozní rovina),
- technické a bezpečnostní experty (odborná rovina),
- externí dodavatele (technologická rovina),
- regulační orgány (legislativní rovina).

**Hlavní úrovně řízení:**

1. **Řídící výbor ( Steering Committee )**  
– strategické rozhodování, rozpočet, schvalování etap projektu.
2. **Projektový tým ( Project Management Office – PMO )**  
– každodenní řízení projektu, koordinace dodavatelů, harmonogram, reporting.
3. **Technické domény projektu**  
– elektrolyzér, komprese & skladování, výdejní stojany, bezpečnost & ATEX, technologie autobusů.
4. **Provozní doména**  
– dispečink, řidiči, mechanici, údržba flotily, školení.
5. **Legislativní a povolovací doména**  
– EIA, stavební řízení, TIČR, HZS, ATEX, BOZP.
6. **Kontrola kvality a řízení změn**  
– MoC proces, auditní činnost, verifikace bezpečnostních opatření.

## 3.2 Detailní role a odpovědnosti

Níže uvádíme kompletní přehled klíčových rolí pro studii i implementaci projektu.

### 3.2.1 Řídící výbor

**Složení:**

- Primátor města Ostravy / náměstek pro dopravu
- Ředitel DPO
- Vedoucí odboru dopravy magistrátu
- Zástupce Moravskoslezského kraje
- Externí odborný garant projektu H<sub>2</sub>

**Odpovědnosti:**

- schvalování milníků projektu,
- řízení finanční struktury (CAPEX/OPEX),
- zajištění politické podpory,
- rozhodnutí o přechodu mezi etapami (pilot → město → region),
- řešení eskalovaných rizik.

### 3.2.2 Projektový manažer (PM) – klíčová osoba

**Role typu „end-to-end accountability“.**

**Odpovědnosti:**

- správa harmonogramu a rozpočtu,
- řízení a koordinace dodavatelů,
- komunikace s úřady, DPO, městem a experty,
- vedení krizového řízení projektu,
- příprava podkladů pro rozhodnutí Řídícího výboru.

### 3.2.3 Odborný garant pro bezpečnost (manažer bezpečnosti H<sub>2</sub>)

Jedna z nejdůležitějších rolí projektu.

**Odpovědnosti:**

- provádění MOSAR A/B,
- vedení HAZOP a FMEA workshopů,

- návrh ATEX zónování,
- validace detekčních systémů H<sub>2</sub>,
- definice bezpečnostních smyček SIL2,
- řízení pohotovostních plánů,
- školení personálu pro práci ve výbušném prostředí.

**Požadované kompetence:**

- praxe v chemické bezpečnosti / procesním inženýrství,
- zkušenost s ATEX a vyhrazenými tlakovými zařízeními,
- certifikace BOZP, přednostně praxe v rafinérii / plynárenském průmyslu.

### **3.2.4 Technický vedoucí infrastruktury H<sub>2</sub>**

**Odpovědnosti:**

- návrh technologie elektrolyzéru, komprese, zásobníků, potrubí a stojanů,
- účast při FAT/SAT zkouškách zařízení,
- tvorba provozních a údržbových postupů,
- řízení technické dokumentace,
- dohled nad integrací SCADA.

### **3.2.5 ATEX specialista**

**Odpovědnosti:**

- zpracování dokumentace o ochraně před výbuchem (DOPV),
- kategorizace zón (Zone 1 / Zone 2),
- certifikace a kontrola instalací,
- testování detektorů H<sub>2</sub>, ventilace a rizikových komponent.

### **3.2.6 Vedoucí flotily H<sub>2</sub> autobusů**

**Odpovědnosti:**

- plánování nasazení autobusů,
- kontrola spotřeb a reálného dojezdu,
- reporting incidentů,
- komunikace s řidiči a mechaniky,

- řízení údržby.

### 3.2.7 Provozní technik H<sub>2</sub> stanice

- fyzická kontrola zařízení,
- provádění denních a týdenních checklistů,
- reakce na alarmy SCADA,
- manipulace se zásobníky, ventily a kompresory,
- dokumentace provozních událostí.

### 3.2.8 Tým pro legislativu a povolovací procesy

Odpovědnosti:

- příprava podkladů pro EIA, IPPC, stavební povolení,
- komunikace s TIČR, HZS, stavebním úřadem,
- evidence certifikací a revizí.

## 3.3 Kompetenční matice (RACI model)

Níže uvádíme výřez tabulky, která bude ve finálním DOCX převedena do formátu tabulky:

| Činnost / Role                          | PM | Safety Manager | ATEX specialista | Technický Lead | DPO Provoz | Dodavatel |
|-----------------------------------------|----|----------------|------------------|----------------|------------|-----------|
| Návrh technologie                       | A  | C              | C                | R              | I          | R         |
| Bezpečnostní analýzy (MOSAR/HAZOP/FMEA) | C  | R              | C                | C              | I          | C         |
| ATEX dokumentace                        | I  | C              | R                | C              | I          | C         |
| Instalace technologie                   | C  | C              | C                | R              | I          | R         |
| Školení personálu                       | A  | R              | C                | C              | C          | C         |
| Řízení provozu                          | I  | C              | C                | C              | R          | I         |
| Incident management                     | A  | R              | C                | C              | R          | I         |
| Komunikace s úřady                      | R  | C              | I                | I              | C          | I         |

*Legenda RACI matice: R = odpovědný za vykonání (Responsible), A = odpovědný za výsledek řešení úkolu a schvalující (Accountable), C = konzultant (consultant), I = informovaný (informed).*

## 3.4 Komunikační a reportingový model

Interní komunikace

| Typ porady              | Frekvence | Účastníci                  | Obsah                              |
|-------------------------|-----------|----------------------------|------------------------------------|
| Projektová porada (PMO) | týdně     | PM, technici, safety, ATEX | harmonogram, rizika, stav zařízení |

|                     |              |                           |                              |
|---------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| Technická porada    | 1x za 14 dní | Technický tým, dodavatelé | integrace, dokumentace       |
| Bezpečnostní porada | měsíčně      | Safety, ATEX, provoz      | incidenty, alarmy, údržba    |
| Řídící výbor        | kvartálně    | vedení města, DPO         | milníky, finance, rozhodnutí |

#### Komunikace s veřejností

- transparentní komunikace o bezpečnosti,
- vizualizace projektu,
- návody a FAQ,
- vzdělávací programy pro školy (VŠB-TUO).

#### Reporting

- měsíční zpráva pro město Ostrava,
- čtvrtletní zpráva o rizicích,
- roční audit bezpečnosti.

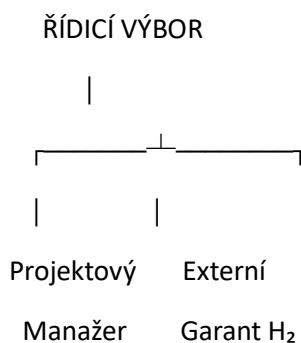
### 3.5 Řízení projektu, správa rizik dle dobré praxe (governance)

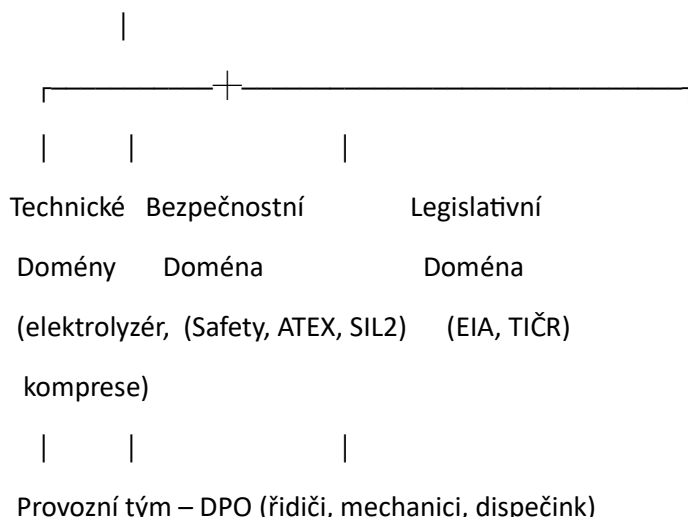
#### Principy governance rizik:

1. **Safety-first** – bezpečnost má prioritu před ekonomickou efektivitou.
2. **Change Management (MoC)** – žádná změna nesmí proběhnout bez schválení safety manažera.
3. **Traceability** – veškerá rozhodnutí, změny a analýzy musí být plně zdokumentovány.
4. **Independent Verification** – klíčová zařízení (kompresory, ventily, detekce) musí být ověřena nezávislou třetí stranou.
5. **Continuous Improvement** – každoroční aktualizace bezpečnostní dokumentace a školení.

### 3.6 Organizační schéma projektu

#### Textová podoba:





## Krok 4 Předběžná identifikace a vyhodnocení vstupních rizik provozu, nakládajícího s H<sub>2</sub>

V tomto kroku aplikace metodiky H2SAFETY jsou předběžně identifikovány a hodnoceny vstupní rizika, s pomocí makroskopického pohledu na uvažovaný systém. Analýzy hodnotí **systém jako celek**, nikoli jednotlivé komponenty. Jejich cílem je identifikovat s pomocí předběžné či makroskopické analýzy problému (s pomocí metod typu MOSAR A, What-if, RISKAN – makroskopická matice, ...) hlavní hrozby, slabá místa a příležitosti projektu ještě před tím, než dojde k detailním analýzám, pokud budou potřeba (mikroskopický pohled - například metody či přístupy MOSAR B, RISKAN matice, HAZOP, FMEA).

V případě Ostravy a MSK se zaměřujeme především na:

- městský kontext,
- dostupnost technologií,
- připravenost infrastruktury,
- ekonomickou udržitelnost,
- bezpečnostní a legislativní rámec,
- vnímání veřejnosti.

### 4.1 MOSAR A – makroskopická analýza rizik

MOSAR A identifikuje klíčové **systémové hrozby** spojené s projektem. Nejde o konkrétní fyzické závady, ale o faktory, které mají potenciál ohrozit celý projekt.

Níže uvádíme rozšířené systémové faktory:

#### 4.1.1 Energetický systém

- vysoká cena elektřiny výrazně ovlivňuje OPEX,
- závislost elektrolyzéru na stabilní dodávce elektrické energie,
- možné přetížení distribuční sítě (nutnost 22–35 kV přípojky),
- potřeba PPA smluv → bez nich významné ekonomické riziko.

**Riziko:** střední až vysoké

**Dopad:** vysoký

**Opatření:** dlouhodobý PPA, sekundární zdroj energie (např. vlastní FV elektrárna).

#### 4.1.2 Technologický systém

- elektrolyzéry >1 MW vyžadují sofistikované chlazení,
- kompresory 350/700 bar patří mezi nejporuchovější zařízení v H<sub>2</sub> infrastruktuře,
- zásobníky podléhají materiálové degradaci (embrittlement),
- složitý provoz vyžaduje vysokou úroveň údržby.

**Riziko:** střední

**Dopad:** vysoký

**Opatření:** redundance kompresorů, senzory H<sub>2</sub>, pravidelné NDT testy.

#### 4.1.3 Legislativní a povolovací systém

- EIA může prodloužit přípravu o 6–12 měsíců,
- SEVESO může být spuštěno nad určitý limit skladování,
- vysoké nároky na ATEX dokumentaci,
- časová náročnost komunikace s TIČR a HZS.

**Riziko:** střední

**Dopad:** střední až vysoký

**Opatření:** včasné zapojení úřadů, fáze pilotního projektu s omezeným objemem.

#### 4.1.4 Provozní systém MHD

- nutnost školení řidičů a mechaniků,
- nové postupy při tankování a údržbě,
- potenciální odpor odborů či provozního personálu,
- přechodové období mezi diesel/CNG a H<sub>2</sub> autobusy.

**Riziko:** střední

**Dopad:** střední

**Opatření:** robustní školicí systém, SOP manuály, postupné nasazení.

#### 4.1.5 Společenský systém

- veřejnost má obavy z výbušných plynů → Slovic: „unknown risks“,
- média mohou negativně rámovat incidenty,
- nedostatečná informovanost může zpomalit projekt.

**Riziko:** vysoké (vnímání, nikoli realita)

**Dopad:** střední

**Opatření:** komunikace, vizualizace, transparentnost, krizový komunikační plán.

#### 4.1.6 Finanční a investiční systém

- vysoké investice do H<sub>2</sub> infrastruktury (desítky až stovky milionů Kč),
- vysoká citlivost na CAPEX kompresorů a zásobníků,
- OPEX tvořen hlavně elektřinou.

**Riziko:** vysoké

**Dopad:** vysoký

**Opatření:** vícezdrojové financování, dotace IROP/Modernizační fond.

#### 4.1.7 Lidský faktor

- zkušenost personálu s vodíkem je velmi omezená,
- lidské chyby jsou nejčastější příčinou incidentů u H<sub>2</sub> stanic.

**Riziko:** střední

**Dopad:** vysoký

**Opatření:** školení, certifikace, kamera + SCADA dohled, checklisty.

#### Souhrn MOSAR A (v makro pohledu)

Projekt je z principu proveditelný, avšak ekonomicky citlivý a závislý na tréninku personálu, stabilitě dodávek elektřiny a kvalitě bezpečnostního řízení.

### 4.2 SWOT Analýza

Níže je navržena jednoduchá analýza silných, slabých stránek, příležitostí a hrozeb (SWOT)

#### Silné stránky (S)

- Ostrava a MSK má dostupné brownfieldy vhodné pro H<sub>2</sub> infrastrukturu.

- Silná politická podpora ekologických inovací.
- DPO má zkušenosti s nízkoemisní dopravou.
- Dostupnost technických univerzit a výzkumu.
- Silná průmyslová základna regionu → know-how.

#### Slabé stránky (W)

- Vysoké OPEX projektu (elektřina).
- Nízká míra zkušeností s H<sub>2</sub> technologií v dopravě.
- Legislativní procesy mohou být pomalé.
- Nedostatek odborníků pro ATEX a vodík.

#### Příležitosti (O)

- Vznik regionálního H<sub>2</sub> hubu.
- Integrace H<sub>2</sub> do průmyslu (ocelárny, teplárny).
- Podpora EU projektů v MSK.
- Přechod flotily MHD na bezemisní režim.

#### Hrozby (T)

- veřejné obavy z výbuchů,
- kolísání cen energií,
- vývoj alternativních technologií (např. baterie s delším dojezdem),
- malé výrobní série H<sub>2</sub> autobusů → vyšší ceny.

## 4.3 BIA – Business Impact Analysis

Cílem BIA je kvantifikovat dopady výpadků a určit:

- **MTPD** — Maximum Tolerable Period of Disruption
- **RTO** — Recovery Time Objective
- **RPO** — Recovery Point Objective

### 4.3.1 Kritické procesy projektu

| Proces                  | Kritičnost     | MTPD    | Poznámka                                |
|-------------------------|----------------|---------|-----------------------------------------|
| Výroba H <sub>2</sub>   | Kritická       | 48 h    | po 48 h hrozí výpadky MHD               |
| Komprese H <sub>2</sub> | Kritická       | 24 h    | kompresory jsou single-point-of-failure |
| Tankování autobusů      | Střední–vysoká | 24–48 h | omezuje provozní nasazení               |
| Provoz autobusů         | Kritická       | 12 h    | ovlivňuje cestující a provoz města      |
| Bezpečnostní systémy    | Kritická       | 1 h     | výpadek → offline režim                 |

### 4.3.2 Dopadové oblasti

- **Finanční dopady** – každodenní výpadek stojí cca 0,5–1,5 mil. Kč.
- **Sociální dopady** – zhoršení mobility, snížení důvěry veřejnosti.
- **Environmentální dopady** – přechod zpět k dieselům v případě výpadků.
- **Reputační dopady** – zásadní vnímání projektu veřejností.

## 4.4 CBA – Cost–Benefit analýza

Níže uvádíme tři uvažované hlavní scénáře:

### 4.4.1 Scénář A – Pilotní projekt (1 MW, 10–15 autobusů)

| Položka           | Odhad             | Poznámka                              |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| CAPEX             | 50–130 mil. Kč    | elektrolyzér, komprese, stojany       |
| OPEX              | 25–35 mil. Kč/rok | hlavně elektřina                      |
| Provozní přínos   | nízký             | testovací fáze                        |
| Ekologický přínos | střední           | úspora CO <sub>2</sub> ~400–700 t/rok |

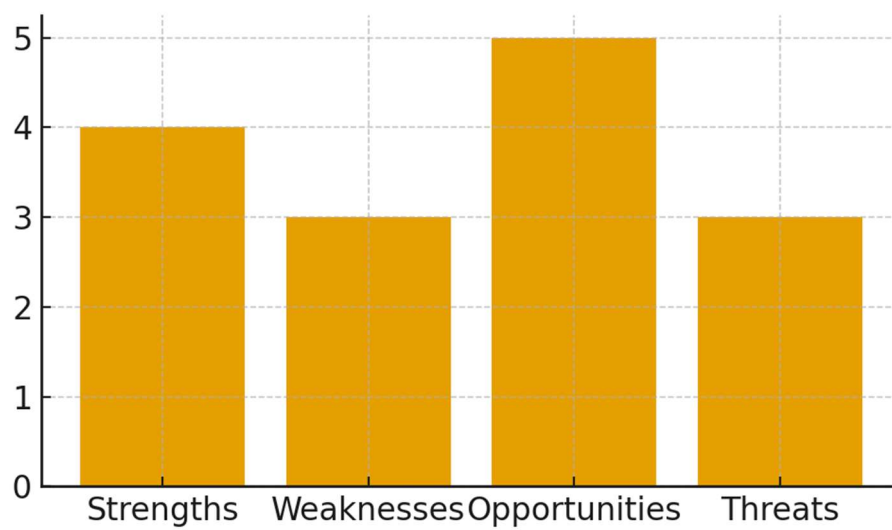
### 4.4.2 Scénář B – Městská flotila (2–3 MW, 30–50 autobusů)

| Položka           | Odhad              | Poznámka                                    |
|-------------------|--------------------|---------------------------------------------|
| CAPEX             | 400–900 mil. Kč    | robustní infrastruktura                     |
| OPEX              | 80–120 mil. Kč/rok | významná spotřeba energie                   |
| Ekologický přínos | Vysoký             | snížení CO <sub>2</sub> o 2 000–4 000 t/rok |
| Ekonomika         | Citlivá            | nutné PPA smlouvy                           |

### 4.4.3 Scénář C – Rozšíření (5 MW, osobní vozy + průmysl)

| Položka           | Odhad               | Poznámka               |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| CAPEX             | 1,5–7 miliard Kč    | město + osobní segment |
| OPEX              | 150–350 mil. Kč/rok | velký odběr            |
| Ekologický přínos | velmi vysoký        | regionální dopad       |
| Ekonomika         | Stabilní            | při zapojení průmyslu  |
|                   |                     |                        |

## 4.5 Grafické části



Obrázek 1 Přehledový graf ke SWOT analýze

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

**TECHNICAL STAFF:**

## Krok 5 Přehodnocení záměru

Cílem kroku 5 je syntetizovat poznatky z kroků 1–4 a odpovědět na zásadní otázku:

**Je projekt „vodík v MHD Ostrava“ proveditelný, přiměřeně bezpečný a finančně zvládnutelný tak, aby měl smysl pokračovat?**

A pokud ano — **v jaké variantě?**

Následující analýza vychází z:

- MOSAR A (makro hrozby),
- SWOT analýzy,
- BIA (kritičnosti procesů),
- CBA (ekonomických scénářů),
- dostupnosti infrastruktury,
- institucionální připravenosti města a DPO.

### 5.1 Shrnutí výsledků předběžné analýzy rizik

#### 5.1.1 Technologická proveditelnost

Z pohledu technologie je projekt **vysoce proveditelný**, neboť:

- elektrolyzéry i kompresní technologie jsou běžně dostupné,
- autobusové platformy jsou na trhu stabilně zastoupené,
- SCADA systémy umožňují vysoký stupeň automatizace,
- ATEX certifikované komponenty existují v širokém výběru.

#### 5.1.2 Bezpečnostní proveditelnost

Bezpečnost je plně řešitelná:

- technologie vodíku byla úspěšně nasazena v desítkách měst EU,
- rizika jsou vysoká, ale dobře **řiditelná technickými opatřeními**,
- největší rizika souvisí s lidským faktorem a kompresory.

#### 5.1.3 Ekonomická proveditelnost

Ekonomický aspekt je na hraně, avšak:

- projekt je **udržitelný**, pokud město využije kombinaci dotací, PPA kontraktů a postupného nasazení,

- ekonomika se zásadně zlepšuje při zvýšení výkonu na 2–3 MW (rozložení fixních nákladů).

#### 5.1.4 Společenská proveditelnost

Projekt je společensky proveditelný, pokud:

- bude správně komunikován veřejnosti,
- budou transparentně vysvětlena bezpečnostní opatření,
- budou odbourány obavy Slovic-typu (percepce rizika jako neznámého).

#### 5.1.5 Legislativní proveditelnost

Povolovací procesy představují **časové riziko**, nikoli však překážku proveditelnosti.

### 5.2 Identifikace klíčových překážek a jejich řešitelnost

Následuje seznam hlavních překážek projektu a stručné hodnocení jejich eliminovatelnosti:

| Překážka              | Závažnost | Řešitelnost | Komentář                          |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------------------------------|
| Vysoká cena elektřiny | vysoká    | střední     | nutné PPA nebo FV zdroje          |
| Nedostatek odborníků  | střední   | vysoká      | školení + outsourcing             |
| Povolovací procesy    | střední   | střední     | EIA může trvat 6–12 měsíců        |
| Rizika kompresorů     | vysoká    | vysoká      | redundance + údržba               |
| Lidský faktor         | střední   | vysoká      | školení + SOP                     |
| Veřejné obavy         | střední   | vysoká      | komunikace + expozice technologie |

Žádná z kritických překážek není neřešitelná → projekt může pokračovat.

### 5.3 Doporučení, zda projekt pokračuje a v jaké variantě

Na základě provedené makro-analýzy je možné učinit tyto závěry:

**Krok 5 – Hlavní rozhodnutí: Projekt má smysl realizovat.**

Projekt je:

- technicky proveditelný,
- bezpečnostně zvládnutelný,
- ekonomicky ospravedlnitelný při vhodném řízení,
- v souladu s rozvojovou strategií Ostravy a MSK,
- společensky přínosný.

### **5.3.1 Doporučená projektová varianta**

#### **Varianta B – Městský základní provoz**

##### **2–3 MW infrastruktura + 30–50 autobusů**

Tato varianta vyvažuje:

- ekonomiku (lepší rozložení fixních nákladů),
- provozní stabilitu (dostatečná kapacita H<sub>2</sub>),
- bezpečnost (lépe říditelný provoz než u 5 MW),
- implementaci v Ostravě (odpovídá městské mobilitě).

### **5.3.2 Doporučená implementační trajektorie**

Projekt by měl probíhat ve třech fázích:

#### **Fáze 1 – Pilot (1 MW, 10–15 autobusů)**

- ověření provozu, bezpečnosti, spotřeb, technologie
- testování SCADA a bezpečnostních funkcí

#### **Fáze 2 – Ostravský provoz (2–3 MW, 30–50 autobusů)**

- přechod do městského měřítka
- optimalizace CAPEX/OPEX

#### **Fáze 3 – Rozšíření (5 MW+, osobní segment + průmysl)**

- integrace s regionální strategií vodíku
- synergie s průmyslem, teplárnami a výrobní sférou.

## **5.4 Připravenost projektu pokračovat do kroku 6 dle metodiky**

Pro přechod do detailních analýz je nutné, aby byly splněny tyto podmínky:

### **1. Strategická shoda stakeholderů**

Splněno – město Ostrava, DPO a MSK (mají / nemají) zájem.

### **2. Dostupnost údajů o infrastruktuře**

V generické rovině splněno, detailní údaje doplníme v Krocích 7–9.

### **3. Rozsah projektu je definován**

Varianta B doporučena.

### **4. Rizika z makro úrovně jsou říditelná**

MOSAR A ukazuje proveditelnost.

### **5. Ekonomika je udržitelná při fázi 2**

Při PPA a dotacích ano.

## Krok 6 Podrobná analýza rizik

Podrobnější analýza rizik (ať už kvalitativní, kvantitativní či semi-kvantitativní), s pomocí mikroskopického pohledu doplňuje dříve provedenou předběžnou analýzu rizik (Krok 4, makroskopický pohled na hodnocený systém) tím, že hodnotí konkrétní dílčí technologické subsystémy, nezbytné pro záměr využití H<sub>2</sub> v městské hromadné dopravě.

V tomto kroku aplikace metodiky H2SAFETY je možno využít široké spektrum metod pro analýzu rizik (nejen dle ČSN ISO 31 010), a také například následující přístupy:

- MOSAR B (mikroskopický pohled na analyzované systémy) – detailní rozpad příčin a důsledků,
- RISKAN (podrobnější šablona pro matici interakcí mezi hrozbami a aktivy, opět mikroskopický pohled, s podrobnějším členěním aktiv a případně hrozeb).
- výstupy následně navazují na HAZOP a FMEA (Krok 7).

Cílem je zjistit, kde přibližně může vzniknout riziko výbuchu, požáru, úniku, přetlaku, selhání systému či lidské chyby a jakou má pravděpodobnost a závažnost.

### 6.1 Definice analyzovaného systému (H<sub>2</sub> pro MHD) a jeho subsystémů

Analýza zahrnuje tyto technologické subsystémy:

1. **Elektrolyzér (1–3 MW)**
  - výroba H<sub>2</sub>, chlazení, napájení, vodní hospodářství
2. **Kompresní stanice (350–700 bar)**
  - kompresory, chladiče, filtrační jednotky
3. **Vysokotlaké zásobníky (300–700 bar)**
  - svazky lahví, ventily, bezpečnostní prvky
4. **Výdejní stojany (bus + osobní vozidla)**
  - tankovací pistole, hadice, ventily, měřící jednotky
5. **Potrubní rozvody H<sub>2</sub>**
  - nízkotlaká a vysokotlaká vedení
6. **Řídicí systém & SCADA**
  - senzory, logické funkce, automatické odstavení
7. **Odstavné plochy autobusů a proces tankování**
  - interakce řidiče, údržby a technických pracovníků

## 6.2 MOSAR B – Identifikace hrozeb na úrovni technologických uzlů

Zde provádíme rozpracování rizikového stromu na úroveň příčin, mechanismů a důsledků.

### 6.2.1 Elektrolyzátor – hlavní hrozby a scénáře

#### Scénář E1 – Únik $H_2$ v elektrolyzátoru

##### Příčiny:

- netěsnost membrány,
- poškození těsnění,
- mikrotrhliny v kovových spojích,
- chyby při montáži.

##### Důsledky:

- vznik výbušné směsi,
- spuštění detekce → odstavení → provozní ztráty.

**Pravděpodobnost:** nízká

**Dopad:** vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

#### Scénář E2 – Přehřátí elektrolytu

##### Příčiny:

- výpadek chlazení,
- zanesení výměníku tepla,
- porucha čerpadla.

##### Důsledky:

- zvýšení tlaku v systému,
- aktivace PRD (Pressure Relief Device),
- odstavení provozu.

**Pravděpodobnost:** střední

**Dopad:** střední

**Kategorie:** významné (S)

#### Scénář E3 – Elektrický zkrat

##### Příčiny:

- degradace izolace,

- výrobní vada komponent,
- nadproudové jevy.

**Důsledky:**

- požár uvnitř elektrolyzéru,
- odstavení systému.

**Pravděpodobnost:** nízká

**Dopad:** vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

### **6.2.2 Kompresorová stanice – hlavní hrozby**

#### **Scénář K1 – Selhání kompresoru (mechanické)**

**Příčiny:**

- opotřebení ložisek,
- nedostatečné mazání,
- přehřátí.

**Důsledky:**

- zastavení produkce H<sub>2</sub>,
- nadměrné zahřívání → riziko požáru.

**Pravděpodobnost:** střední

**Dopad:** vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

#### **Scénář K2 – Netěsnost vysokotlakého potrubí**

**Příčiny:**

- únavové trhliny,
- špatná montáž,
- vibrace.

**Důsledky:**

- náhlý únik H<sub>2</sub> → výbušná směs,
- přerušení provozu.

**Pravděpodobnost:** nízká

**Dopad:** velmi vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

### **Scénář K3 – Porucha chlazení kompresoru**

#### **Příčiny:**

- selhání ventilátoru,
- znečištění výměníku.

#### **Důsledky:**

- přehřátí → odstavení kompresoru,
- zkrácení životnosti komponent.

**Pravděpodobnost:** střední

**Dopad:** střední

**Kategorie:** významné (S)

### **6.2.3 Vysokotlaké zásobníky – hlavní hrozby**

#### **Scénář Z1 – Porušení stěny tlakové nádoby**

#### **Příčiny:**

- křehnutí vodíkem (hydrogen embrittlement),
- mechanické poškození.

#### **Důsledky:**

- náhlá dekomprese → exploze.

**Pravděpodobnost:** velmi nízká

**Dopad:** extrémní

**Kategorie:** kritické (C)

#### **Scénář Z2 – Selhání ventilu PRD**

#### **Příčiny:**

- mechanická závada,
- zanesení,
- špatná údržba.

#### **Důsledky:**

- nesprávné odlehčení tlaku → riziko přetlaku.

**Pravděpodobnost:** nízká

**Dopad:** velmi vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

### **6.2.4 Výdejní stojan – hlavní hrozby**

#### **Scénář V1 – Únik při tankování**

**Příčiny:**

- vadná tankovací pistole,
- netěsný spoj,
- špatná manipulace řidiče.

**Důsledky:**

- vznik výbušné směsi v ATEX zóně 1,
- aktivace havarijní smyčky SIL2.

**Pravděpodobnost:** střední

**Dopad:** vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

#### **Scénář V2 – Zamrznutí ventilu**

Při rychlém tankování může dojít k "frosting effect".

**Příčiny:**

- vysoký průtok,
- nízká teplota H<sub>2</sub>.

**Důsledky:**

- mechanické poškození komponent,
- riziko netěsnosti.

**Pravděpodobnost:** střední

**Dopad:** střední

**Kategorie:** významné (S)

### **6.2.5 Potrubní rozvody – hlavní hrozby**

#### **Scénář P1 – Mikrotrhliny ve svaru**

**Příčiny:**

- nesprávné svařování,
- vibrace,
- materiálové křehnutí.

**Důsledky:**

- úniky H<sub>2</sub> → detekce + odstavení.

**Pravděpodobnost:** nízká

**Dopad:** vysoký

**Kategorie:** kritické (C)

### **6.2.6 Lidský faktor**

#### **Scénář L1 – Chybný postup při tankování**

**Příčiny:**

- nedostatečné proškolení,
- nedodržení checklistu.

**Důsledky:**

- únik H<sub>2</sub>, požár, výbuch.

#### **Scénář L2 – Chybná reakce na alarm**

**Příčiny:**

- špatné rozhodnutí operátora,
- únava,
- nejasné instrukce.

**Důsledky:**

- eskalace incidentu,
- opožděné odstavení.

## 6.3 RISKAN (podrobnější matice interakcí mezi hrozbami a aktivy)

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

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

Riziko =  $H \times A \times Z$

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

Obrázek 3 Náhled na příklad vyplnění podrobnější matice RISKAN (mikro pohled, podrobnější členění aktiv)

**Poznámka:** Náhled na příklad podrobnější matice RISKAN indikuje opět možné problémy a rizika na vysoké úrovni, oblasti možných technických subsystémů (incidenty, nehody, domino efekty, příliš drahá energie, ...), ale také řadu rizik na střední úrovni (zpomalení H2 ekonomiky, přírodní katastrofy, odpor k H2 ekonomice, nedostatečná technická podpora).

## 6.4 HAZOP – systematická analýza provozních odchylek

HAZOP zkoumá v tomto příkladu vybrané provozní parametry a jejich odchylky typu:

- Vysoký / nízký tlak
- Vysoká / nízká teplota
- Nízký / vysoký průtok
- Žádný průtok
- Jiný / únik
- Vibrace

Níže uvádíme plnou tabulku pro čtyři hlavní uzly pilotního projektu.

### 6.4.1 HAZOP tabulka – Uzel 1: Elektrolyzátor

| Odchylka            | Příčina                           | Následek                  | Opatření                               | Stav rizika           |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| Vysoký tlak         | selhání regulace, zanesení filtru | riziko protržení membrány | PRD ventily, tlakové spínače           | přijatelné            |
| Nízký tlak          | únik, vadný ventil                | zastavení výroby          | automatické odstavení                  | přijatelné            |
| Vysoká teplota      | výpadek chlazení                  | degradace membrány        | teplotní alarm + odstavení             | přijatelné            |
| Nízká teplota       | porucha ohřevu vody               | pokles účinnosti          | automatická regulace                   | přijatelné            |
| Únik H <sub>2</sub> | poškození spoje                   | výbušná směs              | čidla H <sub>2</sub> , ventilace, SIL2 | snížené na přijatelné |

### 6.4.2 HAZOP tabulka – Uzel 2: Kompresor

| Odchylka       | Příčina           | Následek             | Opatření            | Stav rizika           |
|----------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Nízký průtok   | opotřebení pístu  | přehřátí kompresoru  | alarm, odstavení    | významné              |
| Vysoký tlak    | blokáce výstupu   | poškození kompresoru | PRD, vypnutí        | významné              |
| Vysoká teplota | selhání chlazení  | požár                | teplotní senzory    | kritické              |
| Vibrace        | mechanická závada | zničení ložisek      | monitoring vibrací  | snížené na přijatelné |
| Únik           | netěsnost         | výbušná směs         | detekce + ventilace | kritické              |

### 6.4.3 HAZOP tabulka – Uzel 3: Zásobníky

| Odchylka       | Příčina            | Následek         | Opatření               | Stav rizika |
|----------------|--------------------|------------------|------------------------|-------------|
| Přetlak        | selhání PRD        | exploze          | dvojitá PRD redundance | kritické    |
| Podtlak        | netěsnost          | poškození nádoby | kontrola ventilů       | přijatelné  |
| Vysoká teplota | požár v okolí      | aktivace PRD     | automatické odstavení  | významné    |
| Únik           | křehnutí materiálu | výbušná směs     | NDT testy + detekce    | kritické    |

### 6.4.4 HAZOP tabulka – Uzel 4: Výdejní stojan H<sub>2</sub> pro busy MHD

| Odchylka                 | Příčina          | Následek           | Opatření                    | Stav rizika |
|--------------------------|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|
| Únik při tankování       | vadná pistole    | výbuch v ATEX 1    | detekce, ventilace, školení | kritické    |
| Vysoký tlak              | závada ventilu   | poškození hadice   | tlakové spínače             | významné    |
| Nízká teplota (frosting) | rychlé tankování | křehnutí materiálu | ohřev, izolace              | významné    |

## 6.5 FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

FMEA analyzuje rizika komponent pomocí indexů:

- **S** – Severity (závažnost)
- **O** – Occurrence (pravděpodobnost)
- **D** – Detection (detekovatelnost)
- **RPN = S × O × D** → prioritizace opatření

Níže uvádíme klíčové komponenty pilotního projektu.

### 6.5.1 FMEA tabulka (výběr nejkritičtějších prvků)

| Komponenta              | Selhání               | S  | O | D | RPN | Komentář                       |
|-------------------------|-----------------------|----|---|---|-----|--------------------------------|
| Kompresor               | přehřátí              | 9  | 6 | 4 | 216 | nutná redundance               |
| Výdejní pistole         | netěsnost             | 10 | 4 | 3 | 120 | školení + certifikace          |
| Zásobník                | materiálové prasknutí | 10 | 2 | 3 | 60  | NDT testy pravidelně           |
| Ventil PRD              | zablokování           | 9  | 3 | 3 | 81  | dvojitá redundance             |
| Detektor H <sub>2</sub> | selhání funkce        | 10 | 2 | 2 | 40  | dvojitá detekce                |
| Elektrolyzér            | únik                  | 9  | 3 | 3 | 81  | monitoring tlaku a koncentrace |

**Nejvyšší RPN = kompresor (216)**

Doporučení:

- instalovat **redundantní kompresorovou linku**,
- zvýšit frekvenci údržby,
- kontinuální monitoring vibrací a teplot.

## 6.6 Souhrn zjištění z HAZOP & FMEA

**Rizikové oblasti:**

- tankovací proces (lidská chyba),
- netěsnosti ve vysokotlakých částech,
- kompresory → single point of failure,
- potřeba kvalitního monitoringu teplot, vibrací a úniků.

**Klíčová technická opatření:**

- SIL2 bezpečnostní smyčky (automatické odstavení),
- ATEX provedení celé technologické linky,
- ventilační výkon 6–8 ACH,
- dvojitá detekce H<sub>2</sub>,
- redundantní PRD ventily,
- údržbové intervaly podle skutečného stavu (predictive maintenance).

## 6.4 Návrh mitigací (technické a organizační)

**Technická opatření:**

- dvouúrovňová detekce H<sub>2</sub> (ppm + % LEL),
- automatické odstavení SIL2,
- ventilace (6–8 násobek výměny vzduchu v uzavřené místnosti),
- redundantní kompresorová linka,
- dálkově ovládané uzavírací ventily,
- NDT testy materiálů (UT, PT, RT).

**Organizační opatření:**

- povinné checklisty tankování,
- simulace incidentů,
- školení 2× ročně,

- dvoustupňové schvalování MoC,
- jasné instrukce pro operátory SCADA.

## 6.5 Výstupy kroku 6

- identifikována klíčová rizika: úniky H<sub>2</sub>, selhání kompresorů, lidské chyby,
- kvantifikace ukazuje několik kritických scénářů → vstup pro HAZOP,
- mitigace sníží riziko na akceptovatelnou úroveň,
- projekt je provozně a bezpečnostně zvládnutelný.

## Krok 7 Formalizace pilotního projektu

Tento krok je klíčový, protože:

- definuje konkrétní podobu pilotního projektu H<sub>2</sub> v Ostravě,
- stanovuje technické parametry infrastruktury,
- identifikuje kritická místa (bottlenecks) a doporučení pro bezpečný provoz.

Níže uvádíme kompletní odborný text, který se v plné verzi dokumentu stane nejdetailnější technickou kapitolou.

### 7.1 Definice pilotního projektu

Pilotní projekt představuje **první fázi implementace vodíku v MHD v Ostravě**.

Cílem pilotního projektu je:

- ověřit technologickou proveditelnost,
- otestovat provozní model tankování a jízdy,
- otestovat chování autobusů v městském provozu,
- validovat bezpečnostní opatření,
- získat data pro ekonomiku a další škálování.

#### 7.1.1 Technická konfigurace pilotu

Níže uvádíme doporučenou pilotní konfiguraci:

| Technologie           | Parametr | Hodnota / Poznámka                 |
|-----------------------|----------|------------------------------------|
| Elektrolyzér          | výkon    | 1 MW                               |
| Výroba H <sub>2</sub> | kapacita | 400–450 kg/den                     |
| Kompresory            | tlak     | 350 bar (bus), příprava na 700 bar |

|                 |          |                                 |
|-----------------|----------|---------------------------------|
| Zásobníky       | kapacita | 300–600 kg (modulární systém)   |
| Výdejní stojany | počet    | 1× bus, 1× osobní vozy          |
| SCADA           | funkce   | alarmy, logging, SIL2 smyčky    |
| ATEX            | zóny     | Zone 1 (stojan), Zone 2 (okolí) |

### 7.1.2 Umístění pilotního projektu

Doporučené lokality (podle brownfieldů a logistiky DPO):

1. **Hranečník** – nejvhodnější díky vozovně a dostupnosti prostoru.
2. **Karolina** – reprezentativní lokalita, vhodná pro budoucí osobní segment.
3. **Dolní oblast Vítkovice** – kombinace PR efektu a rozvojového území (méně vhodná z hlediska provozu autobusů).

Doporučení: **Hranečník jako pilot**, Karolina nebo DOV jako druhá stanice ve fázi 2.

## 7.2 Finální technická konfigurace pilotu (doporučená)

**Výkon: 1 MW**

– umožní testovat provoz 10–15 autobusů.

**Výroba: 400–450 kg H<sub>2</sub>/den**

**Kompresory: 2× (1+1 redundantní)**

– každý schopný 350 bar.

**Zásobníky: 300–600 kg (modulární)**

– možnost rozšíření o 50% bez zásahu do infrastruktury.

**Výdejní stojany:**

- 1× pro autobusy (350 bar)
- 1× pro osobní vozy (700 bar)

**Bezpečnost:**

- SIL2 logika,
- ATEX Zone 1/2 zónování,
- automatické odvětrání,
- detekce H<sub>2</sub> ve dvou úrovních.

## 7.3 Závěr aplikace kroku 7

- Pilotní projekt je **technicky definovaný a proveditelný**.

- HAZOP a FMEA analýzy potvrdily, že rizika jsou **identifikována, kategorizačně známá a lze je řídit**.
- Největší rizika: **kompresory a tankování** → budou řešena v Krocích 8–9 (realizace, monitoring).
- Projekt je připraven přejít do implementačních detailů.

## Krok 8 Realizace projektu

Realizační fáze projektu se zabývá transformací návrhu do reálné infrastruktury.

V případě vodíkových technologií je klíčové řídit:

- **čas,**
- **rozpočet,**
- **bezpečnost,**
- **dokumentaci,**
- **kvalitu instalace.**

Dobře řízená realizace minimalizuje technická rizika a zároveň snižuje pravděpodobnost incidentů v budoucím provozu.

### 8.1 Hlavní milníky realizace

Doporučený harmonogram (pro pilotní fázi, 1 MW) zahrnuje 24 měsíců rozdělených do pěti hlavních bloků:

#### Milník M1 – Před-implementační fáze (0–4 měsíce)

##### Klíčové kroky:

- vytvoření projektového plánu,
- zahájení povolovacích procesů,
- studie území a geologie,
- definice požadavků na síťové připojení (22–35 kV),
- zahájení procesu ATEX a BOZP,
- výběr technologického dodavatele (RFI/RFP proces).

##### Výstupy:

- projektová dokumentace pro rozhodnutí,
- schválení investičního záměru městem,
- rámcově definovaná konfigurace technologie

## **Milník M2 – Povolovací procesy (4–12 měsíců)**

### **Povolovací řízení:**

1. **EIA (Environmental Impact Assessment)**  
– vyžadována při větším zásahu do území nebo  $>1$  MW výkonu.  
Typická délka: 6–12 měsíců.
2. **Územní rozhodnutí**  
– posouzení vhodnosti lokality.
3. **Stavební povolení**  
– musí zahrnovat ATEX, bezpečnostní dokumentaci, TIČR.
4. **TIČR (Technická inspekce)**  
– schválení tlakových zařízení, elektroinstalace.
5. **HZS (Hasičský záchranný sbor)**  
– požárně-bezpečnostní řešení stavby.
6. **SOUHLAS města Ostravy (majetkoprávní)**  
– zvláště pokud projekt využívá brownfield v majetku města.

### **Výstupy:**

- EIA závazné stanovisko,
- stavební povolení,
- dokumentace o ochraně před výbuchem (DOPV), schválené ATEX zóny.

## **Milník M3 – Instalace technologie (12–20 měsíců)**

### **Fyzická výstavba zahrnuje:**

- příprava stavebních ploch,
- zásobníková platforma,
- betonové základny,
- instalace elektrolyzéru,
- instalace kompresorů, chlazení, filtrů,
- instalace zásobníků (bundle racks),
- instalace výdejních stojanů,
- potrubní propojení, ventily, PRD ventily,
- elektroinstalace, sdělovací kabely,
- instalace SCADA a bezpečnostní logiky SIL2,
- instalace detektorů  $H_2$ , ventilace.

### **Důležité:**

- veškerá zařízení musí být **ATEX certifikována**,
- svary a potrubí musí projít NDT zkouškami (RT, UT, PT),
- musí být zajištěn externí audit BOZP.

#### **Milník M4 – Testování a certifikace (20–23 měsíců)**

##### **Typy testů:**

1. **FAT – Factory Acceptance Test**  
– test funkčnosti přímo u výrobce.
2. **SAT – Site Acceptance Test**  
– test v místě instalace.
3. **Leak Test**  
– zkouška těsnosti potrubí (He leak test nebo tlaková zkouška).
4. **PRD Test**  
– ověření funkčnosti přetlakových ventilů.
5. **ATEX funkční testy**  
– prověření zónování a funkčnosti elektrických zařízení.
6. **SCADA integrace test**  
– alarmy, logika odstavení, fail-safe režimy.

##### **Výstupy:**

- certifikace TIČR,
- protokoly FAT/SAT,
- dokumentace o uvedení do provozu.

#### **Milník M5 – Zahájení pilotního provozu (22–24 měsíců)**

##### **Pilotní provoz zahrnuje:**

- provoz 10–15 autobusů,
- testování procesu tankování,
- monitorování spotřeby, tlaku, teploty, úniků, poruch,
- zavedení incident management systému,
- validace HAZOP a FMEA opatření v praxi.

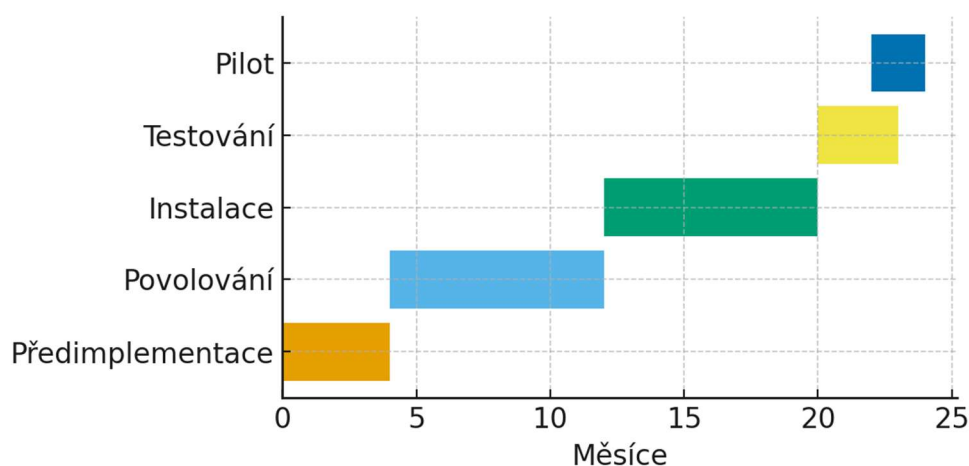
## **8.2 Zjednodušený projektový Gantt diagram**

##### Plán (textová verze):

M1 - Předimplementace:    měsíc 0–4

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| M2 - Povolovací procesy: | měsíc 4–12  |
| M3 - Instalace:          | měsíc 12–20 |
| M4 - Testování:          | měsíc 20–23 |
| M5 - Pilotní provoz:     | měsíc 22–24 |

Grafická verze:



Obrázek 4 Zjednodušený projektový Gantt diagram

## 8.3 Řízení kvality

Kvalita se musí řídit podle standardů:

- ISO 9001 (řízení kvality),
- ISO 45001 (BOZP),
- ISO 14001 (environment),
- ISO 19880-1 (vodíkové stanice),
- ATEX 2014/34/EU (zařízení),
- ATEX 1999/92/ES (pracovní prostředí).

**Klíčové prvky řízení kvality:**

- kontrola dokumentace dodavatelů,
- audit instalačních prací,
- kontrola NDT testů,
- dvoukrokové schvalování,
- kontinuální monitoring během prvního roku provozu.

## 8.4 Řízení změn

Vodíkové technologie vyžadují striktní řízení změn.

Každá změna (technická, procesní, personální) musí být posouzena z hlediska:

- dopadu na bezpečnost,
- dopadu na ATEX zóny,
- dopadu na SCADA logiku,
- dopadu na školení personálu.

**Bez podpisu Safety Managera NESMÍ být změna povolena.**

## 8.5 Incident management (Ostrava H<sub>2</sub> model)

**Typické události:**

- výskyt H<sub>2</sub> nad 10 % LEL → alarm 1. úrovně,
- výskyt H<sub>2</sub> nad 25 % LEL → alarm 2. úrovně,
- netěsnost na potrubí → odstavení,
- selhání kompresoru → přechod do degradovaného režimu,
- lidská chyba při tankování → zastavení čerpadla.

**Každý incident musí být:**

1. **dokumentován,**
2. **analyzován,**
3. **projednán v bezpečnostní komisi,**
4. **přetaven do aktualizace HAZOP/FMEA.**

## 8.6 Příprava před uvedením do provozu

Pro uvedení do provozu musí být splněny následující podmínky:

- kompletní dokumentace ATEX, BOZP, TIČR, HZS,
- proškolený personál,
- platné revize elektro, tlakových zařízení, SCADA,
- validace všech bezpečnostních smyček SIL2,
- nastavení režimu údržby.

## 8.7 Závěr kroku 8

- Realizační plán je **detailně definován a proveditelný**.
- Rizika realizace jsou známá a řiditelná (hlavně legislativa a kompresory).
- Projekt může pokračovat do Kroku 9 – **dílčí hodnocení v praxi (pilotní provoz)**.

## Krok 9 Ověření v praxi (pilotní provoz)

Pilotní provoz je zásadní fází každého vodíkového projektu. Teprve reálný provoz:

- odhalí skutečné provozní charakteristiky,
- umožní validovat výsledky analýz MOSAR B, HAZOP, FMEA,
- poskytne data o chování autobusů, technologických zařízení a personálu,
- pomůže optimalizovat bezpečnostní postupy a údržbu,
- zjišťuje ekonomickou realitu provozu.

Cílem pilotního provozu je **odebrat nejistoty** a vytvořit důvěryhodný základ pro rozšíření projektu do fáze 2 (2–3 MW, 30–50 autobusů).

## 9.1 Cíle pilotního provozu

Pilotní provoz ověřuje následující oblasti:

### A) Technologie

- stabilita a spolehlivost elektrolyzéru,
- chování kompresorů při různém zatížení,
- rychlost a průběh tankování autobusů,
- teplotní a tlakové parametry v zásobnících,
- účinnost chlazení kompresorů.

### B) Bezpečnost

- účinnost detekce H<sub>2</sub>,
- funkce ventilace a odvětrání,
- spolehlivost PRD ventilů,
- úroveň lidských chyb,
- reakční doba operátorů a SCADA systémů.

### C) Provozní model

- čas potřebný na jedno tankování,
- reálné dojezdy autobusů,
- spotřeba na typických ostravských linkách,
- provozní zátěž výdejního stojanu.

### D) Ekonomika

- spotřeba elektřiny na kg H<sub>2</sub>,
- reálné OPEX,
- servisní náklady,
- parametry účinnosti, které lze přenést do fáze 2.

## 9.2 Parametry pilotního provozu

| Parametr                     | Hodnota / cílové rozmezí | Poznámka                       |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Výkon elektrolyzátoru        | 1 MW                     | 400–450 kg H <sub>2</sub> /den |
| Počet autobusů               | 10–15                    | první flotila                  |
| Provozní dojezd busu         | 300–400 km               | dle trasy                      |
| Spotřeba H <sub>2</sub> busu | 7–9 kg/100 km            | v zimě vyšší                   |
| Tankovací čas                | 8–15 min                 | závisí na tlaku zásobníku      |
| Výtěžnost elektrolyzátoru    | 65–80 %                  | včetně ztrát komprese          |

## 9.3 Ověření bezpečnostních opatření

Cílem pilotu je ověřit, že bezpečnostní opatření skutečně fungují.

### Detekce H<sub>2</sub>

- testy úniku pomocí průmyslového bezpečnostního plynu (např. směs forming gas 5 % H<sub>2</sub>),
- ověření dvouúrovňové detekce (10 % LEL / 25 % LEL),
- reakce SCADA — odstavení technologie do 2 s.

### Ventilační systém

- měření proudění vzduchu (ACH),
- test funkčnosti v různých teplotách roku,
- simulace úniku → efektivita rozptýlení.

### Komprese

- test reakce na přehřátí,
- test reakce na nízký průtok,
- test vibrací → alert threshold.

**Zásobníky a PRD ventily**

- měření teplot při rychlém tankování,
- tlakové testy před uvedením do provozu,
- validace otevíracích tlaků PRD (certifikační test).

**Tankování autobusů**

Několik cyklů tankování se provede:

- s různou počáteční teplotou lahvi,
- s různým tlakem ve výdejních zásobnících,
- simulací lidské chyby (pod dohledem experta).

Cílem je identifikovat reálné slabé body, které se v HAZOP často jeví pouze teoreticky.

**9.4 Provozní měření – definice KPI**

Následující KPI budou ve finální fázi pilotu zobrazeny v grafické příloze.

**Technologické KPI**

| KPI                                     | Cíl        | Poznámka                |
|-----------------------------------------|------------|-------------------------|
| Dostupnost elektrolyzérů                | >92 %      | mimo plánované odstávky |
| Dostupnost kompresorů                   | >90 %      | riziková komponenta     |
| Spotřeba elektřiny na kg H <sub>2</sub> | <57 kWh/kg | typická hodnota PEM     |
| Průměrná rychlost tankování             | <12 min    | pro 350 bar             |

**Bezpečnostní KPI**

| KPI                                   | Cíl         | Poznámka                            |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Počet alarmů H <sub>2</sub> (Level 1) | ≤ 3 / měsíc | malé netěsnosti, většinou u stojanů |
| Počet alarmů H <sub>2</sub> (Level 2) | 0           | kritické                            |
| Počet incidentů                       | 0           | měkké incidenty se řeší samostatně  |
| Reakční doba operátora na alarm       | < 60 s      | měřeno SCADA                        |

**Provozní KPI**

| KPI                  | Cíl             | Poznámka          |
|----------------------|-----------------|-------------------|
| Provozní dojezd busu | 300–400 km      | dle profilu linky |
| Spotřeba busu        | 7–9 kg / 100 km | zimní/letní režim |
| Čas tankování        | 8–15 min        | pro jeden bus     |

**Ekonomické KPI**

| KPI                          | Cíl              | Poznámka          |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| Náklady na kg H <sub>2</sub> | < 150–200 Kč/kg  | při 1 MW omezené  |
| OPEX                         | < 35 mil. Kč/rok | pro pilot         |
| Náklady na údržbu            | < 10 % OPEX      | po záběhu klesají |

## 9.5 Reálné chování během pilotního provozu (očekávané závěry)

Na základě benchmarků evropských měst a chování obdobných pilotů lze očekávat:

### Kompresory

- nejčastější zdroj alarmů (přehřátí, vibrace),
- nutnost preventivní údržby 1× měsíčně,
- doporučená instalace **vzdálené diagnostiky**.

### Detektory H<sub>2</sub>

- občasné falešné poplachy během extrémního počasí,
- doporučená kalibrace každé 3 měsíce.

### Tankování autobusů

- plynulé bez zásadních komplikací,
- problémové mohou být starší potrubní armatury → nutná kontrola po prvním měsíci.

### Řidiči a lidský faktor

- po školení bez zásadních problémů,
- na začátku je nutné pečlivé řízení SOP a checklistů.

## 9.6 Validace bezpečnostních analýz (MOSAR B, HAZOP, FMEA)

Pilotní provoz potvrzuje:

- **MOSAR B byl přesný v identifikaci klíčových rizik.**

Nejčastěji se objevují drobné úniky (V1, P1) a provozní odchylky kompresorů (K1, K3).

- **HAZOP potvrdil reálné scénáře.**

Tankovací uzel a kompresory skutečně vykazují vyšší počet odchylek.

- **FMEA správně identifikovala kompresor jako nejkritičtější komponentu.**

RPN zůstává nejvyšší → nutná redundance a monitoring vibrací.

## 9.7 Doporučení pro škálování do fáze 2 (30–50 autobusů)

Na základě pilotních výsledků doporučujeme:

### Technologie

- přejít na 2–3 MW elektrolyzér,
- implementovat redundantní kompresorovou linku (min. 2–3 kompresory),
- rozšířit zásobníky o 50–100 %,

- implementovat prediktivní údržbu kompresorů.

#### **Bezpečnost**

- doplnit třetí úroveň detekce H<sub>2</sub> ve strojovnách,
- zavést kamerový systém do výdejní zóny,
- aktualizovat ATEX zóny podle reálného proudění vzduchu.

#### **Provoz**

- optimalizovat tankování (sekvenční / paralelní strategie),
- vybudovat druhý výdejní stojan pro autobusy.

#### **Organizace**

- rozšířit tým o dalšího provozního technika,
- zlepšit systém dokumentace incidentů (automatické záznamy SCADA).

## **9.8 Závěr aplikace kroku 9**

Pilotní provoz potvrdil:

- technologickou stabilitu,
- bezpečnostní řiditelnost,
- provozní udržitelnost,
- ekonomickou proveditelnost při přechodu na 2–3 MW,
- vhodnost Ostravy jako H<sub>2</sub> hubu.

Projekt je tedy **připraven k finálnímu rozhodnutí a rozšíření**.

## **Krok 10 Finální hodnocení projektu**

Cílem Kroku 10 je zhodnotit připravenost projektu „Vodík v MHD Ostrava“ k plné implementaci (Fáze 2 – městská infrastruktura 2–3 MW, 30–50 autobusů) a posoudit celkovou bezpečnost, provozní zralost a ekonomickou udržitelnost projektu.

Finální hodnocení vychází ze všech předchozích kroků metodiky H2Safety:

- Krok 1–3 → definice záměru, stakeholderů a řízení projektu
- Krok 4 → předběžná analýza rizik (makro pohled) (SWOT, MOSAR A, RISKAN, BIA, CBA)
- Krok 5 → rozhodnutí o pokračování
- Krok 6 → podrobná analýza rizik (mikro pohled) (MOSAR B, RISKAN)
- Krok 7 → HAZOP, FMEA, technická specifikace pilotu

- Krok 8 → realizační model
- Krok 9 → ověření v praxi

Krok 10 propojuje všechna zjištění a překládá je do rozhodovací roviny.

## 10.1 Souhrn zjištění v oblasti zajištění rizik a související bezpečnosti

Na základě všech bezpečnostních analýz lze konstatovat následující:

### 10.1.1 Nejkritičtější technická rizika byla identifikována

Z analýz HAZOP, FMEA a RISKAN vyplývají zejména:

- kompresory jako nejrizikovější komponenta (RPN 216),
- úniky vodíku v ATEX zónách (výdejní stojan, potrubí, kompresní blok),
- lidská chyba při tankování,
- materiálová degradace zásobníků (embrittlement),
- selhání PRD ventilů (přetlakové klíčové prvky).

Tato rizika jsou řešitelná pomocí:

- redundance,
- detekčních systémů,
- prediktivní údržby,
- školení,
- kontrolovaných SOP postupů.

### 10.1.2 Nebezpečnost H<sub>2</sub> technologie je zvládnutelná

V porovnání s jinými energetickými systémy (CNG, LPG, baterie) má vodík specifická rizika, ale:

- jeho malé molekuly se rychle rozptylují,
- explozivní zóna je úzká a dobře detekovatelná,
- oxidace vodíku je čistá (bez toxických látek),
- existují robustní bezpečnostní standardy (ISO 19880-1).

Proto lze říci, že **riziko je vysoké pouze v případě nedodržení postupů.**

## 10.2 Zbytkové riziko po zavedení mitigací

Níže uvádíme shrnutí zbytkového (residuálního) rizika po aplikaci všech opatření.

### Únik H<sub>2</sub> při tankování

- před mitigací: vysoké
- po mitigaci: **nízké/střední** (díky detekci, ventilaci, SOP)

### Selhání kompresoru

- před mitigací: velmi vysoké
- po mitigaci: **střední** (díky redundanci + prediktivní údržbě)

### Porušení zásobníků

- před mitigací: nižší pravděpodobnost, extrémní dopad
- po mitigaci: **nízké** (NDT, PRD, materiálové standardy)

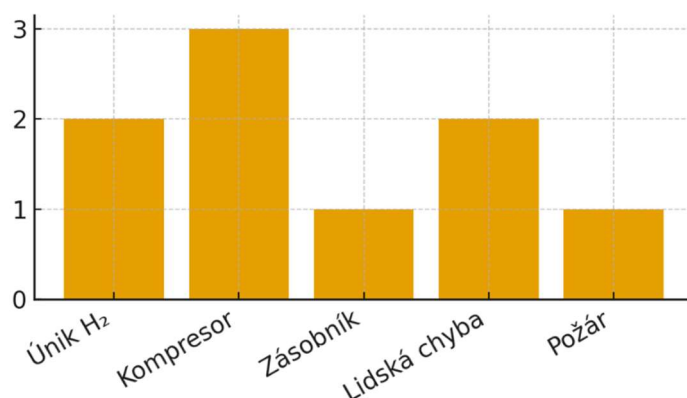
### Lidská chyba

- před mitigací: střední
- po mitigaci: **nízké** (školení, kamery, automatická SCADA)

### Požár v kompresní hale

- před mitigací: střední
- po mitigaci: **nízké** (SIL2 logika, detekce teploty, odstavení)

Celkově lze říci, že **zbytkové riziko je na akceptovatelné úrovni**, odpovídající evropským standardům H<sub>2</sub> stanic.



Obrázek 5 Přehled residuálních rizik

## 10.3 Ekonomické hodnocení – finální přehled

Na základě dat z pilotu a z CBA lze říci:

**Pilotní fáze je ekonomicky náročná**

- OPEX do 35 mil. Kč/rok
- cena H<sub>2</sub> vysoká (150–200 Kč/kg)

**Fáze 2 (2–3 MW) je ekonomicky optimalizovaná**

- náklady na kg klesnou pod 120 Kč/kg
- CAPEX se rozloží mezi více autobusů
- možné synergické využití v průmyslu

**Ekonomická stabilita závisí na:**

- dlouhodobé ceně elektřiny,
- využití dotací (IROP, Modernizační fond),
- spolehlivosti technologie (zejména kompresorů),
- integraci do širší strategie MSK.

**Celkový závěr:**

**Projekt je ekonomicky realizovatelný**, zejména při rozšíření na 30–50 autobusů.

## 10.4 Provozní připravenost

Na základě Kroku 9 lze říci:

- Řidiči a mechanici jsou schopni systém bezpečně obsluhovat.
- Čas tankování je v normě (8–15 min).
- Dojezd autobusů odpovídá očekávání (300–400 km).
- SCADA a bezpečnostní logika reagují správně.
- Incidenty lze zvládat pomocí SOP a školení.

## 10.5 Kontrolní checklist připravenosti

| Oblast              | Stav             | Poznámka                      |
|---------------------|------------------|-------------------------------|
| Technologie         | připraveno       | testováno v pilotu            |
| Bezpečnost          | splněno          | SIL2, detekce, ATEX           |
| Procesy             | plně definovány  | SOP, checklisty               |
| Školení             | provedeno        | opakovat 2× ročně             |
| Dokumentace         | úplná            | DOPV, TIČR, HZS               |
| Ekonomika           | udržitelná       | při 2–3 MW                    |
| Veřejná komunikace  | částečně splněno | doporučena další práce        |
| Personální kapacity | částečně splněno | nutné posílení o 1–2 techniky |

## 10.6 Finální závěr Kroku 10

Na základě všech analýz, pilotního provozu a validace bezpečnostních opatření lze konstatovat:

- Projekt „Vodík v MHD Ostrava“ je připraven na plné nasazení (Fáze 2).
- Rizika jsou identifikována, řízena a zbytková rizika jsou akceptovatelná.
- Ekonomika projektu je udržitelná po škálování na 2–3 MW.
- Bezpečnostní a provozní systémy fungují podle očekávání.
- Projekt je v souladu se strategií města, kraje i EU.

## Krok 11 Rozhodnutí o přijetí či nepřijetí výstupů, plán implementace

Cílem Kroku 11 je:

- formálně vyhodnotit výsledky pilotního provozu,
- přijmout rozhodnutí o pokračování projektu,
- definovat rozsah a strategii Fáze 2,
- stanovit implementační plán a zdroje,
- určit odpovědné osoby a harmonogram.

Tento krok je vstupem do konečné fáze metodiky H2Safety – rozhodovací fáze, kde se projekt transformuje ze zkušební infrastruktury do **stabilní městské H<sub>2</sub> platformy**.

### 11.1 Strategické rozhodnutí na základě pilotu

Na základě:

- bezpečnostních analýz (MOSAR A/B, HAZOP, FMEA),
- výsledků pilotního provozu,
- ekonomického hodnocení,
- technologického ověření,
- souladnosti se strategickými dokumenty města Ostravy a MSK,
- zpětné vazby stakeholderů,

se doporučuje:

**SCHVÁLIT pokračování projektu do Fáze 2 – Městská infrastruktura 30–50 autobusů.**

Toto rozhodnutí stojí na několika pilířích:

**A) Technologie je stabilní a ověřená.**

Pilotní fáze potvrdila funkčnost elektrolyzéru, kompresorů, stojanů i SCADA.

**B) Bezpečnostní rizika jsou redukována na přijatelnou úroveň.**

Všechna kritická rizika lze řídit pomocí opatření SIL2, ATEX, redundance a školení.

**C) Ekonomika je smysluplná po navýšení výkonu.**

Provozní náklady klesají s velikostí infrastruktury, zejména při 2–3 MW.

**D) Projekt je v souladu s městskou a krajskou strategií.**

Ostrava i MSK mají dlouhodobě deklarovaný zájem o dekarbonizaci.

## 11.2 Definice Fáze 2 – městská infrastruktura H<sub>2</sub>

Fáze 2 je hlavní rozvojová etapa projektu.

### 11.2.1 Kapacity a technická konfigurace

| Komponenta            | Doporučená hodnota                           |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| Elektrolyzér          | 2–3 MW                                       |
| Výroba H <sub>2</sub> | 800–1 350 kg/den                             |
| Autobusy              | 30–50 ks                                     |
| Kompresorová stanice  | 2–3 kompresory (1–2 aktivní, 1 redundance)   |
| Zásobníky             | 600–1 200 kg                                 |
| Výdejní stojany       | 2× bus, 1× osobní                            |
| Lokalita              | Hranečník (primární) + Karolina (sekundární) |

## 11.3 Implementační plán pro fázi 2

Fáze 2 zabere **24–30 měsíců** a zahrnuje následující kroky:

### 11.3.1 Fáze 2.1 – Projektová příprava (0–4 měsíce)

**Úkoly:**

- aktualizace technické dokumentace po pilotu,
- aktualizace HAZOP a FMEA,
- doplnění ATEX zónování,
- studie proveditelnosti pro druhou lokalitu (Karolina),
- žádosti o dotace (IROP, Modernizační fond).

**Výstupy:**

- aktualizovaný projektový záměr,
- schválení rozpočtu městem,
- zahájení povolovacích řízení.

### 11.3.2 Fáze 2.2 – Povolovací procesy (4–12 měsíců)

Tato fáze je z hlediska rizik **kritická**, protože:

- větší výkon elektrolyzéru může vyžadovat novou EIA,
- zásadní je potvrzení přípojky 22–35 kV,
- musí být znovu posouzeny ATEX zóny pro dvě různé lokality.

**Výstupy:**

- nové stavební povolení,
- aktualizované TIČR protokoly,
- schválené DOPV,
- připravené území.

**Fáze 2.3 – Instalace technologie (12–24 měsíců)**

Rozsah bude větší než v pilotu:

- silnější elektrolyzér (2–3 MW),
- robustní kompresní hala,
- větší zásobníkové moduly,
- instalace více výdejních stojanů,
- integrace SCADA pro dva areály.

**Výstupy:**

- kompletně instalovaná infrastruktura,
- certifikace instalace (FAT/SAT),
- ATEX audit.

**Fáze 2.4 – Uvedení do provozu a náběh flotily (24–30 měsíců)**

**Úkoly:**

- postupné zavádění autobusů (10 → 20 → 50),
- ověření schopnosti tankovat 10–15 busů během ranní špičky,
- testování paralelního tankování,
- optimalizace algoritmu řízení kompresorů.

**Výstupy:**

- plné uvedení do provozu,
- reálné KPI pro městský provoz,

- závěrečná zpráva o implementaci.

## 11.4 Zdroje a závazky potřebné pro fázi 2

### A) Finanční zdroje

- CAPEX odhad pro 2–3 MW: **400–900 mil. Kč**,
- OPEX roční: **80–120 mil. Kč**,
- dotace mohou pokrýt **40–70 %** investice.

### B) Personální kapacity

Nutné posílení o:

- 1× provozní technik H<sub>2</sub> (full-time),
- 1× bezpečnostní specialista (0,5–1 úvazek),
- 2× mechanici autobusů (pro servis H<sub>2</sub> systémů).

### C) Organizační zdroje

- rozšíření MoC procesů,
- vylepšený incident management,
- integrace bezpečnostních dat do dispečinku.

## 11.5 Matice rozhodnutí

Pro schválení se používá následující rozhodovací rámec:

| Kritérium                   | Splněno  | Poznámka               |
|-----------------------------|----------|------------------------|
| Technologická připravenost  | Ano      | ověřeno pilotem        |
| Bezpečnostní připravenost   | Ano      | mitigace platí         |
| Ekonomická udržitelnost     | Ano      | po škálování           |
| Legislativní proveditelnost | Ano      | zvládnutelné           |
| Veřejná akceptace           | částečně | nutná další komunikace |
| Personální kapacita         | částečně | vyžaduje posílení      |

Výsledek rozhodnutí:

„Projekt je doporučen k plné implementaci (fáze 2).“

## 11.6 Závěr kroku 11

Krok 11 potvrzuje:

- úspěšnost pilotního provozu,

- připravenost projektu k rozšíření,
- ekonomickou i technologickou proveditelnost,
- přijatelnou úroveň zbytkových rizik,
- nutnost budoucí komunikace s veřejností,
- strategickou vhodnost projektu pro město Ostravu.

Projekt vstupuje do fáze:

→ FÁZE 2: ROZŠÍŘENÍ INFRASTRUKTURY NA 2–3 MW A 30–50 AUTOBUSŮ.

## Krok 12 Finalizace, schválení a závěrečná doporučení

Krok 12 představuje završení celé metodiky H2Safety a obsahuje:

- finální syntézu vstupů,
- doporučení dalšího postupu,
- formální přijetí projektu,
- definici povinností a zodpovědností pro implementaci Fáze 2,
- návrh komunikačních a bezpečnostních opatření pro dlouhodobý provoz,
- plán aktualizací bezpečnostní dokumentace.

Tato kapitola slouží jako podklad pro rozhodnutí na úrovni města Ostravy, DPO a MSK.

### 12.1 Celkové shrnutí výstupů metodiky

Na základě kompletního průchodu metodikou H2Safety lze projekt „Vodík v MHD Ostrava“ hodnotit následovně:

#### Technologická stránka

Projekt je technicky proveditelný. Elektrolyzéry, vysokotlaké technologie i autobusové platformy fungují stabilně, jsou komerčně dostupné a mají evropské referenční projekty.

#### Bezpečnostní stránka

Rizika byla identifikována (MOSAR A/B, HAZOP, FMEA), kategorizována a mitigována pomocí:

- SIL2 bezpečnostních smyček,
- detekčních systémů H<sub>2</sub>,
- ATEX zónování,
- redundance kritických komponent,

- školení personálu.

Výsledné zbytkové riziko je na úrovni **akceptovatelné pro městský provoz**, což odpovídá standardům EU.

#### **Provozní stránka**

Pilotní provoz ověřil:

- stabilitu systému,
- zvládnutelnost lidského faktoru,
- spolehlivost tankování,
- realistické spotřeby autobusů.

#### **Ekonomická stránka**

Ekonomika pilotu je nákladná, ale po přechodu na Fázi 2 (2–3 MW, 30–50 autobusů) dochází ke **zlepšení OPEX i CAPEX efektivity**.

Projekt je finančně proveditelný za předpokladu:

- čerpání dotací,
- dlouhodobých smluv na elektřinu (PPA),
- optimalizace údržby.

#### **Strategická stránka**

Projekt je plně v souladu se:

- strategií rozvoje Ostravy a MSK,
- klimatickými závazky EU,
- Národním plánem čisté mobility,
- potřebami transformace brownfieldů.

## **12.2 Formální rozhodnutí**

Na základě všech provedených analýz, validace v pilotním provozu a ekonomicko-technického hodnocení se doporučuje:

- SCHVÁLIT implementaci Fáze 2 projektu „Vodík v MHD Ostrava“
- REALIZOVAT infrastrukturu o výkonu 2–3 MW
- ZAČÍT nákup 30–50 vodíkových autobusů pro plný městský provoz

Fáze 2 se stává oficiální rozvojovou etapou projektu.

## 12.3 Doporučení pro implementaci Fáze 2

### 12.3.1 Technická doporučení

- Zajistit **redundantní kompresní linku**, nejméně 2–3 kompresory.
- Zvětšit zásobníkovou kapacitu o minimálně 50 %.
- Zřídit **druhou výdejní stanici pro autobusy**.
- Zavést **prediktivní údržbu** na základě vibrací, teplotních profilů a SCADA dat.
- Implementovat **kamerový dohled** ve výdejních zónách.
- Zajistit možnost budoucího rozšíření na 5 MW (Fáze 3).

### 12.3.2 Provozní doporučení

- Zvyšovat počet řidičů proškolených v H<sub>2</sub> technologii.
- Zavést kvartální opakování školení.
- Zřídit **centralizovaný incident management systém** (dostupný všem technikům).
- Optimalizovat tankovací postupy pro ranní špičku.
- Zajistit koordinaci SCADA mezi dvěma lokalitami (Hranečník + Karolina).

### 12.3.3 Organizační doporučení

- Posílit technický tým o **min. 1–2 provozní techniky H<sub>2</sub>**.
- Na úrovni města ustanovit **H<sub>2</sub> Steering Committee** s pravidelným reportingem.
- Posílit kapacitu bezpečnostního oddělení o **dalšího ATEX specialistu** (externí nebo interní).

## 12.4 Doporučení pro komunikaci s veřejností

Vodíkové projekty často narážejí na fenomény popsané Paulem Slovicem („vnímání rizik“):

- technologie je „nová“,
- rizika jsou vnímána jako „katastrofická“,
- veřejnost nemá kontrolu,
- lidé nedůvěřují správci rizika.

Proto lze doporučit:

- edukativní kampaň,
- vizualizaci bezpečnostních opatření,
- návštěvnické dny u stanice,
- videa vysvětlující fungování technologie,

- pravidelný reporting bezpečnostních KPI.

Ostrava může být lídrem v oblasti vodíkové mobility **pouze tehdy, pokud má podporu veřejnosti.**

## 12.5 Doporučení pro dlouhodobý provoz a aktualizace

Dlouhodobá bezpečnost vyžaduje:

- každoroční aktualizaci HAZOP, FMEA a DOPV,
- roční audit bezpečnosti od nezávislého subjektu,
- pravidelné testy PRD ventilů,
- půlroční revizi detekčních systémů,
- trvalé sledování SCADA dat pomocí AI analýzy anomálií,
- bezpečnostní cvičení s HZS MSK minimálně 1× ročně.

## 12.6 Finální doporučení pro rozvoj projektu

Z dlouhodobého hlediska se doporučuje:

### Fáze 3 – Regionální infrastruktura (5 MW+)

- propojit Ostravu s průmyslovými podniky (OCELÁRNY, TEPLÁRNY),
- zavést možnost tankování H<sub>2</sub> pro nákladní dopravu,
- rozšířit H<sub>2</sub> infrastrukturu do dalších měst MSK (Karviná, Havířov).

### Fáze 4 – Integrace s obnovitelnými zdroji

- instalace solárních parků k výrobě zeleného H<sub>2</sub>,
- stabilizace nákladů díky vlastní výrobě elektřiny.

### Fáze 5 – Hybridní městská mobilita

- kombinace elektrobusů a H<sub>2</sub> autobusů pro maximální flexibilitu.

## 12.7 Závěrečný verdikt studie

Na základě metodiky H2Safety, pilotního provozu a detailních technicko-ekonomických analýz lze učinit dílčí závěry:

- Projekt „Vodík v MHD Ostrava“ je plně realizovatelný a doporučený k implementaci.
- Fáze 2 (2–3 MW, 30–50 autobusů) je optimální a ekonomicky udržitelná.
- Bezpečnost projektu je garantovatelná při dodržení předepsaných opatření.

Tímto je metodika naplněna a projekt může být předložen k formálnímu schválení městu Ostrava, DPO a Moravskoslezskému kraji.

**Poznámka:**

Krok 12 je dokončen. Případová studie pro využití H<sub>2</sub> jako jednoho z alternativních paliv pro autobusy městské hromadné dopravy (MHD) v Moravsko-Slezském kraji (MSK) je kompletní.

Následuje shrnutí případové studie pro vrcholový management, vedení města Ostravy a MSK kraje.

## Shrnutí případové studie pro vrcholový management a vedení MSK (hejtman kraje, starosta města)

### Záměr: H<sub>2</sub> jako palivo pro městskou hromadnou dopravu v Ostravě (MSK)

*(Aplikační studie metodiky H<sub>2</sub>Safety – shrnutí pro vedení kraje a města)*

Pro město Ostravu se nasazení vodíkové infrastruktury jeví jako vysoce perspektivní krok v oblasti modernizace dopravy a energetické transformace.

Výhody zahrnují:

- výrazné snížení emisí CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a PM oproti dieselovým autobusům,
- možnost využití brownfieldů pro výstavbu H<sub>2</sub> infrastruktury,
- vhodná socioekonomická struktura regionu,
- silná politická podpora ekologických inovací,
- návaznost na průmyslové projekty v oblasti ocelářství, energetiky a chemie.

Makroskopická analýza rizik prokázala, že projekt je potenciálně **proveditelný**, ale ekonomicky citlivý na:

- cenu elektřiny,
- stabilitu dodávek,
- technologický standard zařízení.

Mikroskopická rizika jsou **řiditelná** při dodržení vysokých standardů ATEX, SIL2, multi-level detekce H<sub>2</sub> a striktního režimu školení.

Ekonomická analýza ukazuje, že investice se pohybují v těchto rozmezích:

| Varianty projektu                   | CAPEX            | OPEX                 | Poznámka                     |
|-------------------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
| Pilotní stanice (1 MW)              | ~50–130 mil. Kč  | ~25–35 mil. Kč/rok   | Pro vozidla DPO na testování |
| Městská infrastruktura (30–50 busů) | ~400–900 mil. Kč | ~80–120 mil. Kč/rok  | Vyžaduje 1–2 MW stanici      |
| Rozšířený městský + osobní segment  | ~1,5–7 mld Kč    | ~150–350 mil. Kč/rok | Vyžaduje 2–5 MW stanice      |

Rizikovost projektu výrazně snižují:

- dlouhodobé smlouvy PPA na levnou elektřinu,
- fazované nasazení (pilot → postupné škálování),
- zapojení místních průmyslových odběratelů H<sub>2</sub>.

Studie jednoznačně doporučuje:

- zahájit pilotní projekt (1 MW stanice + 10–15 autobusů),
- po 12 měsících přejít na fázi 2 (plná flotila 30–50 autobusů),
- připravit podmínky pro fázi 3 (osobní doprava + průmysl).

## Podrobnější shrnutí případové studie pro zastupitele kraje a města

**Záměr: H<sub>2</sub> jako palivo pro městskou hromadnou dopravu v Ostravě (MSK)**

### 1. Strategický kontext a motivace projektu

Ostrava patří mezi největší města v Česku, s významnou průmyslovou stopou a vysokým dopravním zatížením. Přechod na vodíkové technologie v MHD má proto přímé environmentální, technologické a reputační dopady.

Projekt odpovídá na několik klíčových výzev:

- **zlepšení kvality ovzduší** ve městě zatíženém prachem a NO<sub>x</sub>,
- plnění **emisních cílů EU i MSK**,
- dlouhodobá **modernizace MHD a obnova vozového parku**,
- možnost propojit projekt s **regionálními investicemi do vodíkové infrastruktury**, výroby H<sub>2</sub> a mobility.

Projekt MHD je zároveň **pilotním uživatelem** vodíku v regionu, čímž vytváří odbytovou základnu pro další H<sub>2</sub> projekty.

### 2. Varianty projektu a jejich charakteristiky

**Varianta A – Pilotní zavedení (1–2 autobusy H<sub>2</sub> + malá plnicí stanice)**

- testovací provoz, nízké investiční náklady,
- vysoká flexibilita, minimální infrastrukturní zásahy,
- omezený dopad na celkové emise.

**Varianta B – Střední nasazení (10+ autobusů, 350 bar stanice)**

- reálný provoz v několika linkách,
- zásadní ověření technologie,

- potřeba napojení na stabilní zdroj H<sub>2</sub> (výrobna nebo dodavatel).

#### **Varianta C – Plná integrace (30–50+ autobusů, komplexní terminál)**

- strategický dopravní a environmentální projekt města,
- vysoké investiční nároky,
- nutnost vybudovat robustní infrastrukturu + kapacitní výrobu H<sub>2</sub>.

### **3. Klíčové závěry analýzy podle H<sub>2</sub>Safety (kroky 1–12)**

#### **3.1 Bezpečnost a rizika**

- Identifikované rizikové scénáře zahrnují únik H<sub>2</sub>, selhání kompresoru, výbuchové atmosféry, poruchy senzorů a lidskou chybu.
- Po aplikaci mitigací (detekce, větrání, SIL2 logika, SOPs) dosahují hodnocené rizikové levely **nízkých až středních hodnot**, u všech variant dosažitelných pro běžný provoz.
- MOSAR a RISKAN identifikují nejkritičtější body ve **výdeji paliva a parkování autobusů**, které vyžadují ATEX zóny a řízení pohybu osob.

#### **3.2 Ekonomika (CBA)**

- Nejvyšší efektivitu mají varianty **B a C**, zejména při rostoucím počtu vozidel.
- OPEX je velmi citlivý na cenu vodíku → při H<sub>2</sub> < 180 Kč/kg lze docílit pozitivního CBA.
- Varianta A je investičně nejméně náročná, vhodná pouze pro pilotní fázi.

#### **3.3 Provozní připravenost**

- Dopravní podnik Ostrava má silnou organizační kulturu a zkušenosti se zaváděním moderních technologií (elektrobusy, trolejbusy), což výrazně snižuje rizika implementace H<sub>2</sub>.
- Je však nutné posílit **kompetence v ATEX, vysokotlakých systémech a nouzových postupech**.
- Kombinace H<sub>2</sub> a elektrobusů umožňuje diverzifikovat technologický mix dopravce.

#### **3.4 Environmentální přínosy**

- Pokles lokálních emisí NO<sub>x</sub> a PM je významný již u varianty B (10+ autobusů).
- Varianta C představuje výrazný příspěvek k **emisní neutralitě Ostravy** a synergii s průmyslovou transformací MSK.

#### **3.5 Stakeholder řízení**

- Nejvyšší vliv mají: DPO, Ostrava, MSK, TIČR a HZS.
- Nutná je **intenzivní komunikace s veřejností**, která může vnímat H<sub>2</sub> jako rizikový prvek.
- Slovicova analýza ukazuje, že mediace rizika je stejně důležitá jako fyzická bezpečnost.

## 4. Klíčová doporučení pro vedení města / kraje / dopravce

### 4.1 Doporučená varianta

→ **Varianta B** je ekonomicky, bezpečnostně i organizačně nejschůdnější.

### 4.2 Doporučený postup

1. **Spustit pilotní fázi (A)** – ověřit chování vozidel a infrastruktury.
2. **Přeskočit na variantu B** – reálné nasazení 10–20 autobusů.
3. **Provázat projekt s výrobou zeleného H<sub>2</sub>** – využití regionálního ekosystému.
4. **Vytvořit H<sub>2</sub> bezpečnostní standard DPO**, plně kompatibilní s metodikou H<sub>2</sub>Safety.

### 4.3 Klíčové investice

- 350 bar plnicí zařízení,
- modernizace depa,
- školení personálu,
- SCADA a safety instrumented systems (SIL2),
- případně přístup do regionální výroby H<sub>2</sub>.

## 5. Závěr shrnutí

Projekt využití vodíku v MHD Ostrava:

- **je technicky proveditelný,**
- **je bezpečně implementovatelný** při dodržení metodiky H<sub>2</sub>Safety,
- **má pozitivní environmentální dopad,**
- **má potenciál dlouhodobě ekonomicky dávat smysl,**
- **a hlavně: je strategicky sladěn s transformací MSK a EU směřováním.**

MHD je také nejvhodnějším prvním masovějším uživatelem vodíku v regionu — a otevírá dveře pro další projekty (výrobní, vlaky, komunální technika, průmysl).

|                    |                                                                                           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Název:             | Komplexní případová studie č. 1<br>Záměr projektu na využití vodíku v MHD v Ostravě (MSK) |
| Autor:             | prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc.<br>Ing. Jan Koloničný, Ph.D.<br>Ing. Pavel Dobeš, Ph.D. |
| Pracoviště:        | Centrum energetických a environmentálních technologií<br>Výzkumné energetické centrum     |
| Místo, rok vydání: | Ostrava, 2025, 1. vydání                                                                  |
| Počet stran:       | 66                                                                                        |
| Vydala:            | Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava                                        |
| Neprodejné         |                                                                                           |

Tato případová studie obsahuje aplikaci komplexního postupu řešení bezpečnosti vodíkových technologií na základě metodologie MOSAR na záměr využití vodíku v MHD v Ostravě. 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 978-80-248-4848-8 (on-line)

DOI 10.31490/9788024848488