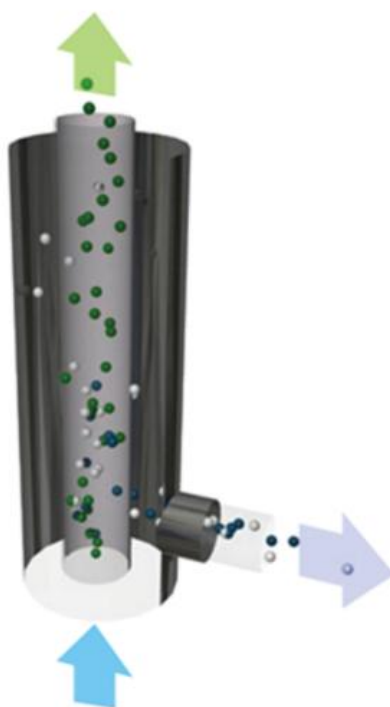


Koncept využití separátoru



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

NÁZEV VÝSLEDKU

Koncept využití separátoru

PROJEKT

Národní centrum vodíkové mobility (TN02000007)

NÁZEV DÍLČÍHO PROJEKTU

Separátor vodíku ADAST R-SPLITTER pro mobilitu

ZPRACOVATEL

Adast Systems, a.s.

Centrum dopravního výzkumu v. v. i.

AUTORSKÝ TÝM

Ing. Jan Fojtů (Adast Systems, a.s.)

Ing. Roman Smutný (Centrum dopravního výzkumu v. v. i.)

Mgr. Ing. Petr Polanský (Centrum dopravního výzkumu v. v. i.)

Obsah

1	Úvod	4
2	Rešerše projektu	4
2.1	Ekonomický model čerpací stanice	4
2.2	Analýza přepravní kapacity distribuční sítě	5
3	Technický návrh řešení separátoru	6
3.1	Funkce a konstrukce separátoru	7
3.2	Technická omezení a provozní podmínky	7
4	Model využití – separace vodíku pro potřeby vodíkové mobility	7
5	Model využití 2 – separace vodíku za účelem ochrany zařízení	9
6	Navržené lokality pro výstavbu vodíkových plnicích stanic	11
7	Výhledové využití separace vodíku v praxi	12
8	Seznam použitých zkratk	13
9	Seznam obrázků	13
10	Zdroje	14

1 Úvod

Projekt Adast R-SPLITTER vznikl na základě identifikované potřeby rozšířit technologické možnosti v oblasti distribuce a využití alternativních plyných paliv, zejména biometanu a vodíku, které představují klíčové prvky přechodu k nízkoemisní a následně bezemisní energetice. Tento přechod je v souladu s cíli Evropské unie, které podporují dekarbonizaci plynárenské infrastruktury a diverzifikaci energetických zdrojů.

Společnost Adast Systems, a.s., jakožto tradiční výrobce technologií pro čerpací stanice a energetickou infrastrukturu, identifikovala prostřednictvím marketingové a technologické analýzy příležitost pro vývoj nové generace zařízení umožňujících efektivní manipulaci, dělení a směšování plyných médií. Projekt R-SPLITTER se zaměřuje na vývoj inovativního zařízení, které umožní modulární a bezpečné řízení toků alternativních plynů v distribučních sítích, s důrazem na kompatibilitu s existující infrastrukturou a vysokou provozní flexibilitu.

Navržené řešení rozvíjí současné možnosti řízení plyných toků v distribučních sítích a otevírá prostor pro jejich flexibilnější a cílenější využití. Zároveň přispívá ke zvýšení bezpečnosti a provozní efektivity celé infrastruktury, zejména s ohledem na očekávané zavádění vodíku a rostoucí podíl biometanu v plynárenské síti. Významným aspektem je také podpora rozvoje trhu s obnovitelnými plyny jak v Evropské unii, tak v České republice. V neposlední řadě projekt přispívá k posílení konkurenceschopnosti českého průmyslu v oblasti energetických technologií, a to díky vlastnímu vývoji a nasazení pokročilých technických řešení.

Projekt je realizován v souladu s prioritami TAČR v oblasti udržitelné energetiky a přispívá k naplňování cílů národní strategie pro vodík a obnovitelné plyny.

2 Rešerše projektu

Rešeršní část projektu se zaměřila na analýzu ekonomických a technických aspektů provozu vodíkových plnicích stanic v kontextu dostupné plynárenské infrastruktury v České republice. Základním předpokladem je, že efektivní provoz vodíkové stanice je podmíněn její lokalizací v blízkosti plynovodní sítě s dostatečnou přepravní kapacitou, která umožňuje přímé nebo nepřímé napojení na zdroje vodíku.

2.1 Ekonomický model čerpací stanice

Součástí rešerše byl návrh ekonomického modelu provozu vodíkové čerpací stanice, včetně výpočtu návratnosti investice. Obrázek 1 uvádí souhrn hlavních výchozích parametrů, jako jsou investiční náklady, provozní výdaje, cena vodíku i předpokládaný bod zvratu.

Z provedené analýzy vyplývá, že pro dosažení ekonomické rentability provozu je zapotřebí minimálně 102 kg prodaného vodíku denně. Tato hodnota představuje spodní hranici denního odběru, při níž je možné pokrýt provozní náklady a dosáhnout kladného hospodářského výsledku.

Čerpací stanice H ₂					
Cena stanice	Odpis zařízení	Množství	Počet	Tankováno	
[Kč]	[let]	[kg/tankování]	[ks/den]	[kg/den]	
50 000 000,00 Kč	10	6	17	102	
Odpis /rok [Kč]	Odpis/den [Kč]	Provozní náklady /kg [Kč]	Nájem místa/měsíc [Kč]	TC/den [Kč]	Tržní cena vodíku [Kč]
5 000 000 Kč	13 699 Kč	30 Kč	15 000 Kč	17 259 Kč	283 Kč
Příjmy včetně DPH [Kč]	Příjmy bez DPH [Kč]	Hospodářský výsledek [Kč/den]	Hospodářský výsledek [Kč/měsíc]	Hospodářský výsledek [Kč/rok]	
28 866 Kč	23 856 Kč	6 598 Kč	197 927 Kč	2 408 112 Kč	

Obrázek 1 Rentabilita investice

2.2 Analýza přepravní kapacity distribuční sítě

Potenciální množství vodíku, které lze teoreticky přepravit plynovodní sítí jednotlivých krajů České republiky, bylo vypočteno na základě roční regionální spotřeby zemního plynu [1] a modelových scénářů přimíchávání vodíku v koncentracích 5–20 %. Tyto scénáře odpovídají očekávanému rozsahu jeho postupného zavádění do distribuční infrastruktury bez nutnosti zásadních technických úprav.

Na základě těchto vstupů byla provedena analýza přepravní kapacity sítě pro alternativní plynná paliva. Výsledkem je orientační odhad maximálních denních objemů vodíku, které lze distribuovat bez nutnosti zásadní přestavby potrubní infrastruktury, jak shrnuje obrázek 3. Tato část řešerše slouží jako klíčový podklad pro výběr lokalit vhodných pro pilotní nasazení technologie R-SPLITTER.

Pro potřeby výpočtu byla použita rovnice uvedená níže, která zohledňuje změnu spalného tepla směsi při různé koncentraci vodíku a umožňuje přepočtení objemu plynu při zachování energetického obsahu. Přepočtený objem je následně převeden na odpovídající hmotnost vodíku (kg/den), jak je uvedeno na obrázku 3.

$$v_N = \frac{Q_S \times v_P}{x \times Q_{NG} + (1 - x) \times Q_{H_2}}$$

Kde:

V_N = nový objem směsi (m³)

Q_S = původní spalné teplo směsi (MJ/m³)

V_P = původní objem směsi (m³)

X = nový podíl zemního plynu (0-1)

Q_{NG} = spalné teplo zemního plynu (MJ/m^3)

Q_{H_2} = spalné teplo vodíku (MJ/m^3)

Z výše uvedené tabulky vyplývá, potenciál v kg/den přepravovaného vodíku.

Kraj	kg/den vodíku			
	5 %	10 %	15 %	20 %
Jihočeský	2 889	5 987	9 317	12 907
Jihomoravský	10 522	21 805	33 935	47 010
Karlovarský	2 328	4 824	7 508	10 401
Královéhradecký	3 438	7 125	11 089	15 362
Liberecký	3 288	6 814	10 604	14 689
Moravskoslezský	9 426	19 534	30 400	42 113
Olomoucký	5 068	10 502	16 344	22 641
Pardubický	3 795	7 865	12 240	16 957
Plzeňský	3 904	8 090	12 590	17 440
Praha	8 657	17 939	27 919	38 676
Středočeský	11 499	23 829	37 084	51 373
Ústecký	12 586	26 083	40 592	56 233
Vysočina	3 305	6 848	10 658	14 764
Zlínský	4 183	8 669	13 491	18 689
ČR	84 887	175 913	273 769	379 253

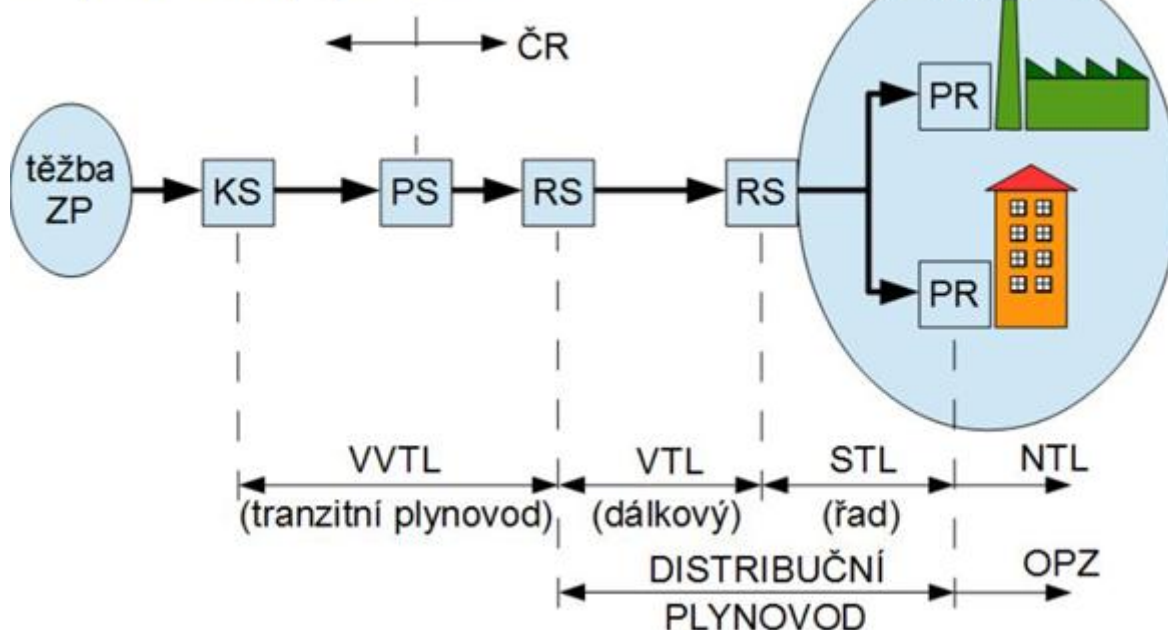
Obrázek 2 Kalkulace potenciálního množství vodíku

3 Technický návrh řešení separátoru

Na základě dostupných informací o typových tlakových úrovních a konfiguraci plynárenské distribuční sítě bylo rozhodnuto, že zařízení pro separaci vodíku bude navrženo pro instalaci na úrovni vysokotlakého (VTL) a středotlakého (STL) plynovodu. Toto rozhodnutí vychází z analýzy technických podmínek jednotlivých částí infrastruktury a možnosti integrace do provozních uzlů bez narušení kontinuity dodávek.

Obrázek 4 znázorňuje schéma uspořádání plynárenské soustavy České republiky a ilustruje umístění zařízení v rámci distribučního řetězce. Vhodnými body instalace jsou především místa, kde lze zajistit odpovídající tlakové poměry a přístup k infrastruktuře bez nutnosti zásadních úprav.

Uspořádání plynovodů



Obrázek 3 Schéma uspořádání plynovodů v ČR

3.1 Funkce a konstrukce separátoru

Zařízení je určeno pro separaci vodíku ze směsného plynu na základě membránového principu. Oddělení probíhá přes membránová síta v několika stupních, přičemž rozhodující roli hraje rozdíl parciálních tlaků mezi složkami. Cílem je získat vodík s dostatečnou čistotou pro další využití (např. jako palivo nebo chemická surovina), zatímco zbytková směs je opětovně vrácena do systému nebo dále upravena.

3.2 Technická omezení a provozní podmínky

Použitelnost zařízení je vázána na teplotní a tlakové parametry dané infrastruktury. Vzhledem k rozdílným fyzikálním vlastnostem vodíku je nutné zohlednit jeho vliv na materiály a provozní stabilitu zařízení. Použité komponenty a konstrukční řešení byly navrženy s ohledem na přítomnost vodíku a jeho potenciál způsobovat degradační jevy, například vodíkové křehnutí. [2]

4 Model využití – separace vodíku pro potřeby vodíkové mobility

Jednou z klíčových možností využití separační technologie je její nasazení za účelem oddělení vodíku ze směsného plynu a jeho následné využití v dopravě, konkrétně pro lokální plnění vodíkových vozidel na plyníčních stanicích. Tento přístup vychází ze záměru podpořit rozvoj vodíkové mobility

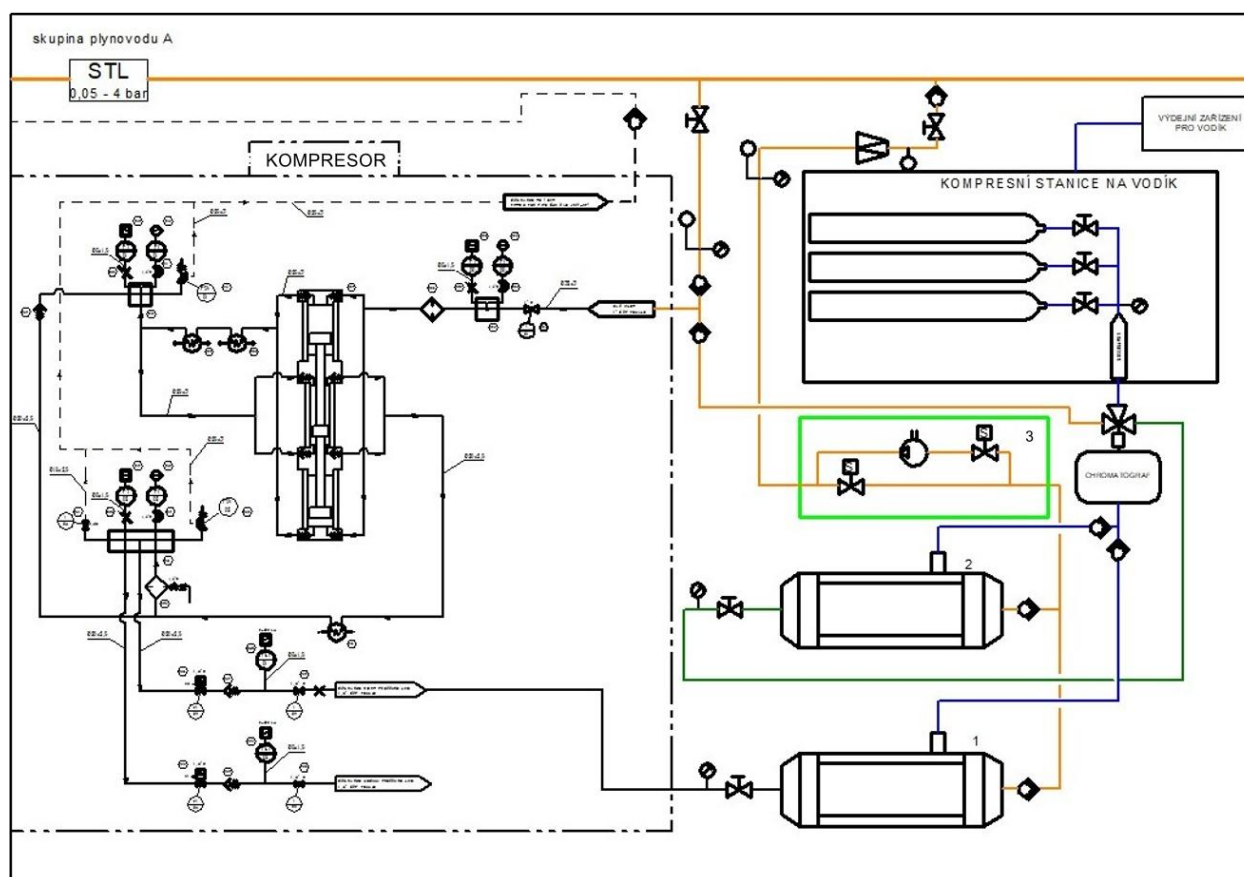
v konkrétních lokalitách, které jsou z hlediska dopravního napojení a očekávané poptávky po vodíku považovány za perspektivní.

Záměr investora nebo provozovatele plyní stanice musí být vždy ověřen z hlediska dopadu na spalné teplo směsi, které se po oddělení vodíku mění. Směs tak již neodpovídá původním parametrům, pod kterými byla nabízena zákazníkovi. Aby byla zachována legislativní i smluvní čistota plynu, je nezbytné provést validaci záměru a jeho technických parametrů. Lokality, kde by dávalo smysl nasazení separační technologie, jsou součástí výstupu TN02000007/5-V5, a je doporučeno s tímto podkladem konzultovat případný podnikatelský záměr.

Pro instalaci separátoru je možné využít jak napojení na vysokotlakou, tak středotlakou část distribuční plynárenské sítě, vždy v závislosti na dostupnosti a technických možnostech konkrétního místa.

Výstup separátoru je primárně uvažován pro mobilitu, která klade vysoké nároky na kvalitu plynu. K naplnění požadavků na bezproblémový provoz palivových článků je nezbytné, aby čistota výsledného vodíku dosahovala alespoň 99,999 %. Technologie separace proto musí být nastavena tak, aby byla schopna dlouhodobě tento parametr garantovat.

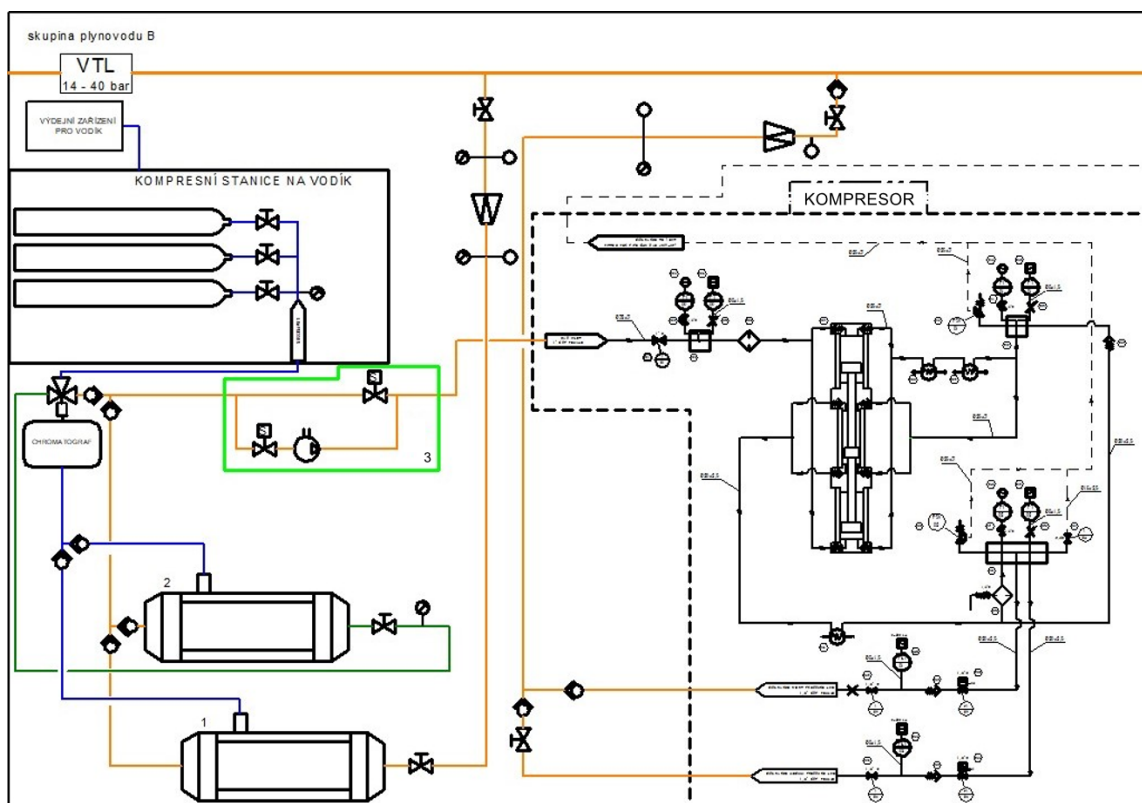
Doplňkově lze oddělený vodík využít i v jiných sektorech – například jako redukční činidlo v průmyslových procesech.



Obrázek 4 Schéma STL zapojení separátoru

Legenda:

- 1 – membránový modul
- 2 – membránový modul
- 3 – jednotka na srovnání tlaku



Obrázek 5 Schéma VTL zapojení separátoru

Legenda:

- 1 – membránový modul
- 2 – membránový modul
- 3 – jednotka na srovnání tlaku

5 Model využití 2 – separace vodíku za účelem ochrany zařízení

Tento model se uvažuje pro místa a instalace, kde přítomnost vodíku ve směsi se zemním plynem může negativně ovlivnit provozní parametry zařízení, případně ohrozit jejich bezpečnost nebo zkrátit jejich životnost v důsledku degračních procesů na materiálech. Typicky se jedná o technologie, které nejsou navrženy pro práci se směsným plynem obsahujícím vodík, a kde jeho přítomnost může vést ke vzniku vodíkové křehkosti, oxidace nebo jiných nechtěných jevů.

Příkladem takových zařízení jsou CNG čerpací stanice nebo chemické a sklářské provozy, kde může vodík působit nežádoucím způsobem buď z hlediska materiálové kompatibility, nebo z pohledu řízení technologických procesů. V těchto případech je separace vodíku nutná nikoliv kvůli jeho využití, ale kvůli ochraně stávající infrastruktury.

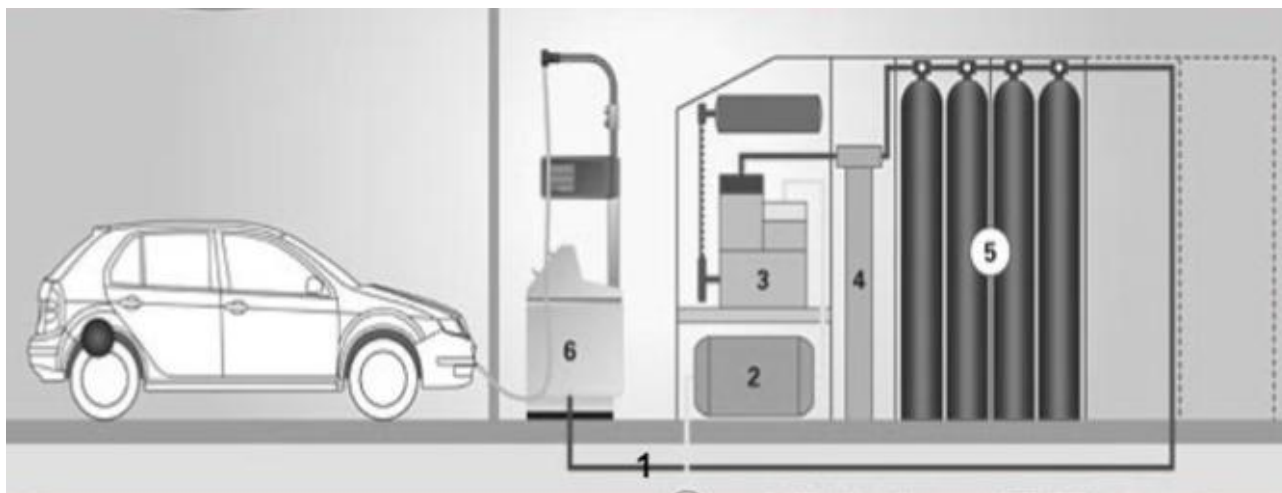
Základní přehled těchto rizikových aplikací je uveden níže.

CNG plnicí stanice

CNG plnicí stanice jsou zařízení určená ke stlačování zemního plynu na tlak 200–250 bar za účelem jeho přečerpání do nádrží vozidel. Tato zařízení obvykle nejsou konstruována pro směsný plyn obsahující vodík. Přítomnost vodíku může vést ke snížení životnosti některých komponent, zejména tlakových částí vyrobených z litiny nebo oceli, které jsou náchylné k vodíkové křehkosti.

Vodíková křehkost se projevuje degradací mechanických vlastností materiálů, ztrátou pevnosti a zvýšeným rizikem poruch, především u tlakových lahví. Ty jsou často navrhovány z ekonomických důvodů jako ocelové a nejsou určeny pro práci s vodíkem. V extrémních případech může dojít k materiálovému selhání a ohrožení bezpečnosti provozu. Z těchto důvodů je v CNG technologiích nezbytné zařadit předřazený separátor vodíku, který zajistí, že do stanice vstupuje pouze čistý zemní plyn bez vodíkové příměsi.

Obrázek 7 ilustruje typické zapojení CNG čerpací stanice, včetně klíčových komponent, které mohou být ovlivněny přítomností vodíku.



Obrázek 6 Schéma CNG stanice [3]

Legenda:

- 1- Plynovod
- 2- Vyrovnávací zásobník
- 3- Kompresor
- 4- Adsorbční modul

5- Zásobník plynu

6- Výdejní stojan

Chemické provozy

V některých chemických technologiích může vodík fungovat jako nežádoucí reaktant nebo katalyzátor, a tím ovlivnit průběh technologických reakcí. Při přítomnosti vodíku může docházet k oxidaci látek nebo ke spuštění reakcí, které nejsou v procesu žádoucí. V extrémních případech může i malý podíl vodíku negativně ovlivnit výslednou kvalitu produktu, výtěžnost nebo stabilitu reakční směsi.

Zejména v procesech, kde se pracuje s látkami citlivými na oxidační prostředí, je vhodné zařadit separátor vodíku ještě před vstupem plynu do technologie. V některých případech může být vodík ze směsi dále využit – například v jiném technologickém kroku nebo jako palivo – v jiných však může být pouze bezpečně odvětrán nebo spotřebován ve spalovacím zařízení.

Výroba skla

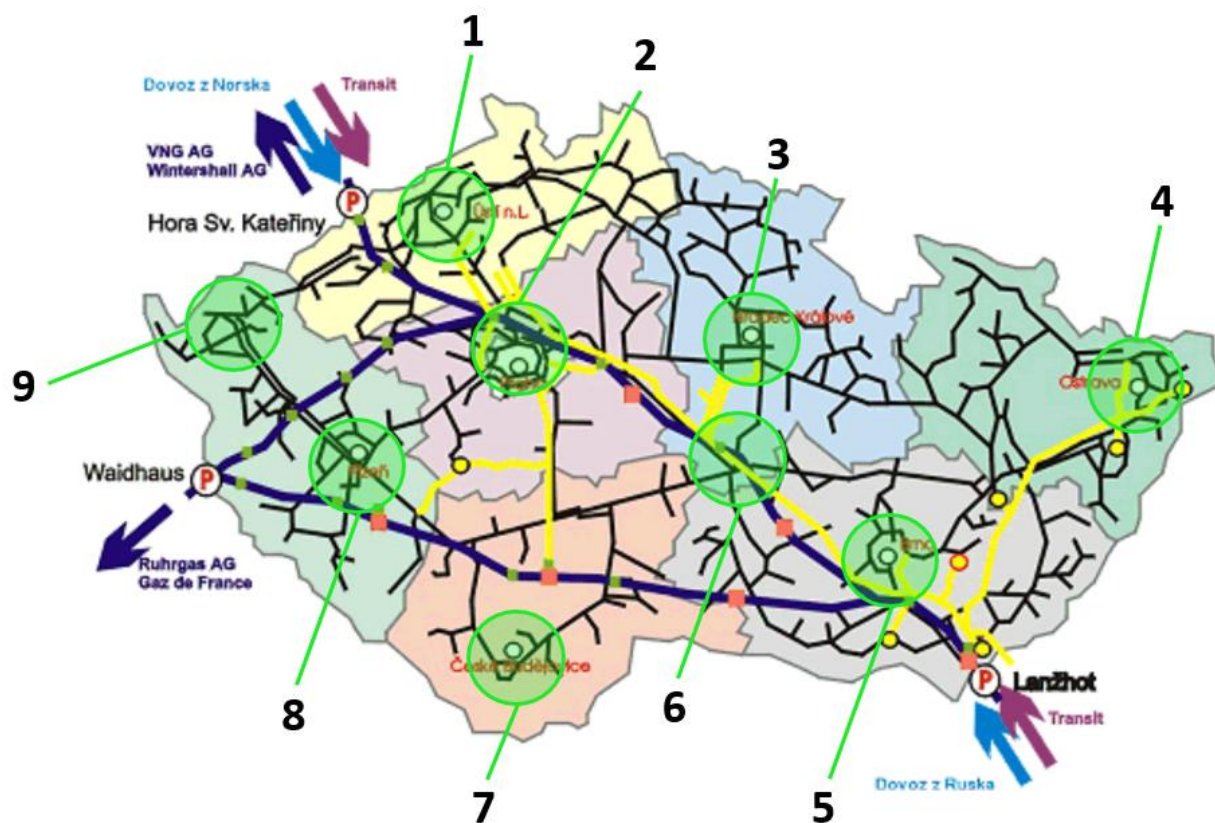
Při výrobě skla může vodík difundovat do materiálu, měnit jeho vlastnosti a ovlivnit výslednou kvalitu produktu. Tento efekt závisí na konkrétním složení skla, teplotním režimu a koncentraci vodíku ve směsi. Přítomnost vodíku může způsobit změny v indexu lomu, optické defekty nebo narušení struktury výrobku.

Také v jiných odvětvích zpracování materiálů může přítomnost vodíku negativně ovlivnit výsledné vlastnosti produktu, a proto je jeho separace důležitá nejen z hlediska bezpečnosti, ale i kvality výroby.

6 Navržené lokality pro výstavbu vodíkových plnicích stanic

V rámci rešerše byly navrženy lokality, které se jeví jako vhodné pro budoucí výstavbu vodíkových plnicích stanic. Výběr vycházel z dopravní návaznosti, dostupnosti infrastruktury a potenciální poptávky po vodíku v konkrétních regionech.

Na obrázku 8 je znázorněn původní návrh rozmístění stanic v devíti strategických bodech, které byly identifikovány s cílem pokrýt hlavní dopravní tahy a vytvořit základní páteřní síť vodíkových plnicích míst. Lokality byly voleny tak, aby umožňovaly nejen regionální pokrytí, ale i napojení na mezinárodní vodíkové koridory (např. směrem na Německo, Rakousko a Slovensko).



Obrázek 7 Prvotní návrh možných instalací VČS

Detailnější analýza výběru lokalit byla následně zpracována v rámci výsledku TN02000007/5-V5. Tento výstup poskytuje komplexní hodnocení potenciálu jednotlivých míst s ohledem na regionální spotřebu zemního plynu, charakter a vytíženost CNG stanic, přepravní kapacitu distribuční sítě, typologii využití separátoru (např. jako plnicí stanice nebo zařízení pro ochranu infrastruktury) a očekávanou koncentraci vodíku ve směsi. Mapový výstup TN02000007/5-V5 tak rozšiřuje původní návrh (obrázek 8) o přesnější lokalizační podklady a kvantifikovaný potenciál využití technologie separace vodíku. Umožňuje zároveň vytipovat místa vhodná pro pilotní nasazení technologie R-SPLITTER na základě jasně definovaných a datově podložených kritérií.

7 Výhledové využití separace vodíku v praxi

Tímto projektem byla zahájena etapa v oblasti separace vodíku a řízení procesu jako takového. Řízení procesu separování plyné frakce otevírá nové možnosti využívání plynovodní sítě.

Původním záměrem projektu bylo zaměření na mobilitu a vytvoření nových podnikatelských možností v oblasti vodíkové mobility. Zejména eliminovat drahé a neefektivní přepravní trailery, jako zdroj pro plnicí stanice.

V průběhu projektu se však jako zásadní ukázaly i další aplikace, zejména ochrana zařízení před přímým vlivem vodíku. To se týká zejména technologií, které nejsou konstrukčně připravené na jeho přítomnost – typicky komponenty CNG čerpacích stanic. V těchto případech by mohl vodík způsobit zrychlenou degradaci materiálu a zkrácení životnosti zařízení. Původní záměr, byl separovat vodík, který by zařízení vyčistilo na mez akceptovatelnou v provozu vozidel s palivovým články. Nyní se ukazuje, že zařízení je možné využít i pro regulaci koncentrace vodíku v plynovodním řadu. Otázkou a výzvou zůstává, jak kvalitní bude vodík na výstupu, když bude základním parametrem řízení koncentrace v plynovodu. A také, kde bude uplatnění pro takový vodík v komerčním prostoru.

Separace tak může najít uplatnění nejen v ochraně technologií, ale i v komerčním využití separovaného vodíku.

8 Seznam použitých zkratk

KS – kompresní stanice
RS – regulační stanice
PS – předávací stanice
VVTL – velmi vysokotlaká plynárenská síť
VTL – vysokotlaká plynárenská síť
STL – středotlaká plynárenská síť
NTL – nízkotlaká plynárenská síť
ZP – zemní plyn
OPZ – odběrné plynové zařízení
PR – plynoměr (regulátor tlaku)
ČR – Česká republika
VČS – vodíková čerpací stanice

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Rentabilita investice.....	5
Obrázek 3 Kalkulace možného množství vodíku	6
Obrázek 4 Schéma uspořádání plynovodů v ČR	7
Obrázek 5 Schéma STL zapojení separátoru 13-21 hod: Nabrat pádla vestičky	8
Obrázek 6 Schéma VTL zapojení separátoru	9
Obrázek 7 Schéma CNG stanice	10
Obrázek 8 Prvotní návrh možných instalací VČS.....	11

10 Zdroje

- [1] ŠMÍD, Michal. *ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU PLYNÁRENSKÉ SOUSTAVY ČESKÉ REPUBLIKY 2023* [online]. B.m.: Energetický regulační úřad. červenec 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/rocni-zprava-o-provozu-plynarenske-soustavy-cr-za-rok-2023>
- [2] MACHALÍNEK, Martin. *Problematika vodíkové křehkosti v materiálu* [online]. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84803/F2-BP-2019-Machalinek-Martin-Problematika%20vodikove%20krehkosti%20v%20materialu.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [3] PROCHÁZKOVÁ, Alice. *Adsorpční sušení zemního plynu za zvýšeného tlaku* [online]. Praha, 2006. Semestrální projekt. Vysoká škola chemicko-technologická. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13175159-Adsorpcni-suseni-zemniho-plynu-za-zvyseneho-tlaku.html>