

PARAMETRY A POTENCIÁL REVITALIZACE NEVYUŽÍVANÝCH PRŮMYSLOVÝCH PLOCH (BROWNFIELDŮ) PRO VÝROBU VODÍKU

PETR POLÍVKA a MARTIN ŠILHAN

Centrum výzkumu Řež s.r.o., Hlavní 130, 250 68 Husinec-Řež, Česká republika
petr.polivka@cvrez.cz

Došlo 8.3.23, přijato 18.6.23

Článek charakterizuje existující nevyužívané průmyslové plochy, tzv. brownfieldy, z hlediska jejich aplikovatelnosti pro výrobu vodíku, se zaměřením na elektrolytickou výrobu vodíku. Článek také odhaduje budoucí plochy brownfieldů pro zajištění výroby vodíku v ČR.

Klíčová slova: brownfield, vodík, elektrolyza, obnovitelné zdroje energie

Obsah

1. Úvod
2. Charakterizace brownfieldů
 - 2.1. Dopravní konektivita brownfieldů
 - 2.2. Síťová vybavenost a datová konektivita brownfieldů
 - 2.2.1. Distribuční síť elektrické energie
 - 2.2.2. Vytápění
 - 2.2.3. Chlazení
 - 2.2.4. Vodovod
 - 2.2.5. Kanalizace
 - 2.2.6. Datová konektivita
 - 2.2.7. Zdroj elektřiny
3. Databáze brownfieldů v ČR
4. Potřebná plocha brownfieldů v ČR
5. Závěr

1. Úvod

Výroba nízkoemisního vodíku a rozvoj vodíkových technologií jsou klíčové pro snižování emisí skleníkových plynů v energetice, průmyslu a dopravě. Předkládaná publikace je zaměřena na charakterizaci průmyslových ploch, tzv. brownfieldů a na návrh kritérií pro výběr vhodné lokality pro výrobu vodíku, především technologií elektrolyzy vody. Elektrolytická výroba vodíku je nenáročná z hlediska požadavků na vybavenost lokality. Ve spojení s nízkoemisním zdrojem energie, jako je fotovoltaická elektrárna (FVE), produkuje elektrolyza nízkoemisní vodík.

Podle Vodíkové strategie České republiky¹ se očekává budoucí značný význam a rozvoj elektrolytické výroby vodíku jako záměna za fosilní paliva. Této technologii je zde věnována zvýšená pozornost pro možnosti využití potenciálu stávajících brownfieldů.

2. Charakterizace brownfieldů

Brownfieldy je možné definovat jako nemovitosti, které jsou morálně zastaralé a již se nevyužívají, jsou zanedbané anebo mohou být (chemicky, biologicky, popř. radiačně) kontaminovány. Nemovitost může tvořit samotný pozemek, objekt, areál, soubor průmyslových areálů či zemědělská území. Brownfield obvykle vzniká jako pozůstatek průmyslové, zemědělské, rezidenční, vojenské či jiné aktivity a bývá v nedostatečně využívaném stavu nebo odstaven a zakonzervován. Potom nelze brownfield vhodně a efektivně využívat. K opětovnému používání brownfieldu je nutná jeho regenerace či revitalizace, jejímž cílem je odpovědné zacházení s půdním fondem, zabránění znehodnocování kvalitní zemědělské půdy a naopak vdechnutí nového života starým průmyslovým areálům. Základní parametry pro využitelnost brownfieldu představují dostupnost a konektivita místa.

2.1. Dopravní konektivita brownfieldů

Brownfieldy jsou obvykle dobře dostupné pro silniční dopravu, někdy mají také formálně nebo plně funkční železniční vlečku, popřípadě přístav. Prostor brownfieldů lze využít buď pro výrobu vodíku jako paliva, pro plnění vodíku do vozidel nebo pro oba případy současně. Dopravní konektivita je jedním ze zásadních aspektů, pokud nebude vytvářen samostatný „ostrovni“ výrobní systém, který představuje výrobu a spotřebu vodíku v jednom místě. Zároveň je lokalizačním faktorem také blízkost dalších významných přepravních tras, aby byl zajištěn odbyt vodíku pro dopravu.

Podle Vodíkové strategie České republiky¹ se očekává, že velmi významná část vodíku bude spotřebována nákladní dopravou. Z tohoto důvodu je pro brownfield klíčové umístění poblíž frekventované silnice, ideálně

u dálnice nebo silnice I. třídy, frekventované silnice II. třídy nebo u městských aglomerací. Výroba vodíku přímo v místě brownfieldu výrazně snižuje vzdálenost pro přepravu vodíku a s ní spojené finanční náklady, emise přepravy a uhlíkovou stopu.

Pro využití plochy brownfieldu pro transport vodíku je vhodná existence železniční vlečky. Při její přítomnosti existuje možnost využití pro plnění vodíkových vlakových souprav nebo posunovacích lokomotiv, pokud se v blízkosti nachází neelektrifikovaná trať. Pro import nízkoemisního vodíku z oblasti Severního moře lze v ČR teoreticky uvažovat o lodní dopravě po splavných úsecích Labe a o využití nepoužívaných ploch v přístavech na této trase.

2.2. Síťová vybavenost a datová konektivita brownfieldů

2.2.1. Distribuční síť elektrické energie

Přístup ke zdroji elektřiny má zásadní význam pro využitelnost brownfieldu. Elektřina může pocházet z lokálního zdroje, např. FVE nebo z distribuční sítě elektrické energie.

V případě elektrolytické výroby vodíku z vody se předpokládá, že největší podíl spotřeby elektrické energie (tj. elektřina pro elektrolyzu) nebude pocházet z distribuční sítě, ale z lokálního nízkoemisního zdroje, jako je např. FVE, bioplynová stanice, vodní, popřípadě větrná elektrárna nebo geotermální energie. Zároveň se předpokládá, že dodávky elektřiny z obnovitelného zdroje elektřiny (OZE) mohou mít přerušovaný provoz, a proto nedojde k plnému odpojení brownfieldu od distribuční elektrické sítě pro zachování stability dodávek pro regulační a pomocné prvky, které je z mnoha důvodů výhodné provozovat kontinuálně a pro které postačuje zlomkové množství elektrické energie oproti elektrolytickému procesu. Výhodou zde nastíněného uspořádání je prakticky úplná absence poplatků za distribuci elektrické energie při výrobě vodíku a zároveň kontinuální dodávka nezbytného množství elektrické energie pro regulační a pomocné prvky. Úplného oddělení od distribuční sítě (ostrovní systém) lze dosáhnout instalací dostatečně dimenzované akumulace elektřiny, která však investičními náklady vysoce přesahuje kombinaci elektřiny z OZE pro elektrolyzu doplněnou o elektřinu z distribuční sítě pro regulační prvky.

V případě lokálních OZE je také možné uvažovat o nadvýrobě elektrické energie. Prodej přebytků elektrické energie z OZE do distribuční sítě je obvykle usnadněn, pokud je brownfield vybaven vlastním transformátorem, který obvykle pracuje na napěťové hladině 22/0,4 kV. Připojení pomocí vlastního transformátoru nemá vliv na výkupní cenu elektrické energie, ale obvykle usnadní připojení do distribuční sítě – na napěťové hladině 22 kV existuje větší variabilita pro přípojná místa než na hladině 400 V, navíc je možné transformátor (22/0,4 kV) na tržní bázi pronajmout dalším subjektům a využít tak energetické synergie. V případě velkých přebytků elektrické energie a blízkosti sítě vyšší napěťové hladiny (110 kV) je možné uvažovat i o využití transformátoru (110/22 kV). To je ale

již značně nákladné zařízení, pro které je nutné nalézt odpovídající využití. Vždy je nutné zjistit lokální podmínky a možnost umístění lokálního nízkoemisního zdroje, který vyžaduje mimo jiné soulad s územním plánem obce, souhlas dotčené obce, souhlas distributora elektrické energie apod.

2.2.2. Vytápění

Výroba vodíku elektrolyzou je endotermický proces. Pro nízkoteplotní elektrolyzu je vytápění poměrně nevýznamný faktor celkové bilance. Důležité je, aby voda v elektrolyzátoru nezmrzla, tj. aby byl elektrolyzátor uchovávan v teplotách nad bodem mrazu. K podobnému nežádoucímu provoznímu stavu může dojít v zimním období, kdy na FVE napadne vrstva sněhu a elektrárna přestane dodávat elektřinu. Pak je nutné elektrolyzéry vyhřívat nebo odstavit. Pro vysokoteplotní elektrolyzu představuje klíčový zdroj tepelné energie vodní pára, která může být i nízkopotenciálová s využitelnou teplotou² od 150 °C.

2.2.3. Chlazení

Proces nízkoteplotní elektrolyzy vyžaduje chlazení aktivních komponent, které se ohřívají v důsledku ohmických (rezistence vodičů) a faradayovských ztrát (přepětí). Spotřeba vody v chladicím okruhu pro elektrolyzátor o výkonu 1 MWe je typicky 200 t/h pro rozdíl teplot mezi chladnou a ohřátou vodou 15 °C, úměrně menší spotřeba chladicí vody je pak nutná při větším rozdílu teplot. Elektrolyzéry menších výkonů lze obvykle uchládit volným prouděním okolního vzduchu. U vysokoteplotní elektrolyzy bez ohledu na velikost jednotky není nutné chlazení, protože obsahuje dostatečně dimenzované součásti s velkou teplosměnnou plochou, které se uchladí vysokým teplotním gradientem a prouděním okolního vzduchu.

2.2.4. Vodovod

Pro elektrolyzu je nutný zdroj pitné vody, z které se další úpravou (typicky procesem reverzní osmózy) odstraní rozpuštěné soli a vyrobí kvalitní odsolená voda. Potřebné stechiometrické množství demineralizované (DEMI) vody se pohybuje okolo 9 kg/kg H₂. Pro výrobu DEMI vody reverzní osmózou (tj. membránovou separací) pitné vody je pak celková spotřeba pitné vody cca 60 kg/kg H₂, v závislosti na tvrdosti vstupní vody. Technologie není energeticky náročná, využívá tlak vody z rozvodu. Očekává se, že v budoucnu bude měrná spotřeba pitné vody pro výrobu vodíku klesat spolu s tím, jak poroste účinnost membránových separačních technologií. Některá brownfieldová místa, obvykle větší areály, mají historicky vybudované vlastní vodní studně, případně technologii pro úpravu vody. Dostupnost pitné vody z vodovodního řádu je však v ČR obvykle dobrá. V brownfieldech situovaných ve velkých areálech lze také využít šedou nebo technologickou vodu, které mohou snížit náklady na výrobu vodíku. Náklady³ na čištění vody jsou při elektrolytické výrobě poměrně nízké v porovnání s celkovými provozními náklady.

2.2.5. Kanalizace

Z procesu výroby DEMI vody vystupují zasolené odpadní vody v množství 50 kg/kg H₂, kromě vyššího zasolení jde o poměrně čistou vodu. Pokud není dostupná kanalizace, je možné vodu dále použít. Podle našeho názoru je tuto vodu možné v určité míře využít pro vsakování do zemědělské půdy nebo pro umělé závlahy (skleníky, venkovní zelenina). Výhodou je, že výroba fotovoltaické elektrárny obvykle koreluje s potřebou zavlažování. Průmyslové brownfieldy byly dále často napojeny na čistírnu odpadních vod, která může parametry vypouštěné vody dále upravit.

2.2.6. Datová konektivita

Pro měření, regulaci a řízení ovládacích systémů je vhodná datová konektivita. Díky širokému rozšíření se v současné době předpokládá velmi dobrý přístup k telekomunikacím (mobilní telefony) a informačním sítím (internet, WiFi) na 97 % území ČR. Výjimkou jsou obvykle zastíněná místa, rokle a odlehlé lesní porosty v horských oblastech.

2.2.7. Zdroj elektřiny

Jako zdroj elektrické energie pro elektrolýzu lze využít elektřinu z distribuční sítě, která z hlediska skladby zdrojů a také emisí skleníkových plynů odpovídá energetickému mixu České republiky. Předpokládáme, že takové řešení je dočasné do doby, než se plně rozvine bezemisní výroba vodíku nebo bude významně podpořena výstavba nových jednotek, vyrábějících bezemisní vodík, který někdy bývá označován jako zelený vodík.

Značnou výhodou může být také umístění nízkoemisního zdroje (např. FVE) v bezprostředním sousedství brownfieldu a přímé propojení obou míst, tj. buď přímo polohou nebo vodičem (metalická konektivita). Výhoda takového konceptu je, že brownfield pak může být velmi malý, využívaný pouze pro výrobu a zpracování vodíku. Realizace nové FVE je po legislativní stránce jednodušší než renovace brownfieldu, který zahrnuje získání mnoha různých povolení pro vybudování chemického provozu. FVE není považována za brownfield a v principu může také být součástí konceptu agrifotovoltaiky, tj. kombinované produkce elektrické energie a zemědělské produkce, například na zemědělské půdě horší bonity anebo v trvalých kulturách (např. vinice, sady). Tento koncept bude pravděpodobně v ČR podporován podobně jako v zemích EU. Očekává se, že v budoucnu budou možné instalace panelů FVE na zemědělskou půdu s nízkou bonitou nebo ve spojení s určitým využitím zemědělské půdy, kde jsou panely FVE nikoli zátěží nýbrž přínosem.

3. Databáze brownfieldů v ČR

V ČR existuje přehledná národní databáze, kterou spravuje organizace Czechinvest. Je určena pro investory a komerční firmy, které plánují rozšiřování průmyslové činnosti. V databázi Czechinvest lze vyhledávat podle

krajů, okresů, typu lokality a konkrétního místa a dalších technických parametrů. Podrobně charakterizuje jednotlivé lokality a jejich velikost, vybavení a možné připojovací uzly. Odkaz na přehlednou databázi brownfieldů lze nalézt na <http://www.brownfieldy.eu/>.

Uvedená databáze neobsahuje všechny brownfieldy v ČR. Existuje řada brownfieldů obvykle v blízkosti větších areálů, které dosud nejsou zařazeny do seznamu, avšak svým charakterem splňují kritéria brownfieldu. Jejich majitelé je obvykle nechtějí uvolnit převážně ze strategických důvodů, naopak pro ně hledají, a to ať již aktivně či pasivně, další využití. Další potenciální plochy představují nevyužívané části současných komerčně aktivních areálů. Plocha potenciálních brownfieldů tak může být větší. Podle staršího odhadu Czechinvestu existuje v ČR cca 38 000 ha brownfieldů⁴.

4. Potřebná plocha brownfieldů v ČR

Vodíková strategie České republiky¹ uvádí, že na základě odhadů se očekává roční spotřeba 1728 tis. tun nízkoemisního vodíku v roce 2050. Na výrobu tohoto množství vodíku elektrolýzou vody bude potřeba 95 TWh elektrické energie. Další možností je dovést toto množství nízkoemisního vodíku pomocí plynárenské soustavy ze zahraničí. Lze očekávat kombinaci obou způsobů, kdy část bude vyrobena v ČR a část dovezena. Podle současné prognózy scénářů spotřeby vodíku po odvětvích většinu takto produkovaného vodíku spotřebuje nákladní doprava (49 % roční spotřeby vodíku v ČR), kde dominantní budou nákladní automobily a tahače. Dalšími obory spotřeby jsou hutnictví železa (21 %), chemický průmysl (9 %), průmysl (bez hutnictví a chemického průmyslu) (9 %), výroba elektřiny a tepla (9 %) a domácnosti (5 %).

Pro přibližný odhad využití výměr brownfieldů předpokládáme, že:

- veškerý uvedený vodík bude vyráběn na brownfieldech z FVE a elektrolýzou,
- veškerý uvedený vodík bude vyroben pomocí elektřiny z FVE,
- ČR bude právě soběstačná ve výrobě vodíku (tj. výroba vodíku v ČR nebude ani deficitní ani přebytečná),
- 1 ha FVE znamená instalovaný špičkový výkon 1 MWe a výrobu 1,1 GWh/rok.

Z našich odhadů vychází, že pro výrobu 95 TWh (tj. 95 000 GWh) elektrické energie, tj. pro zajištění výroby vodíku v areálech brownfieldů, bude v roce 2050 nutná výměra 86 400 ha. Další plocha (odhadem dalších 30 %) je nutná pro zpracování a transport vodíku. Celkem předpokládáme potřebnou plochu brownfieldů cca 120–150 tis. ha, tj. 1200–1500 km². Tuto hodnotu ploch lze považovat za maximální a zahrnuje také plochy FVE. Jak bylo zmíněno dříve, aktuálně je v ČR dostupných cca 38 tis. ha brownfieldů. Lze tak předpokládat nutnost, že významné plochy FVE budou umístěny na jiných plochách (např. střechách, stěnách budov, plotech apod.).

Při využití technologie nízkoteplotní elektrolýzy pro hypotetickou výrobu 95 TWh elektrické energie, kde se uvažuje plocha⁵ pro technologii včetně příslušenství 60 m²/MW. Zde bude nutná celková plocha 570 ha a pro vhodně (tj. trojnásobně) předdimenzované FVE bude nutná rozloha 3 × 95 tis. ha.

V EU panuje obecná shoda, že pro nastartování vodíkových technologií je vhodné začít vyrábět jakýkoli snadno dostupný vodík. A v dalším období se očekává zaměření na nízkoemisní výrobu. Při využití technologie parního reformingu zemního plynu pro hypotetickou výrobu 95 TWh elektrické energie se uvažuje plocha pro technologii včetně příslušenství srovnatelná s technologií nízkoteplotní elektrolýzy. Zde bude nutná celková plocha dle kvalifikovaného odhadu do 1000 ha. Navíc proces reformingu zahráté páry, ve spojení s ukládáním nebo využitím vznikajícího oxidu uhličitého, může produkovat nízkoemisní vodík.

Otázkou zůstává budoucí legislativní podpora a požadavky na výrobu nízkoemisního nebo zeleného vodíku a s tím spojené požadavky na prostor výroby a skladování. Další otázkou je využití ploch brownfieldů resp. počet elektrolytických výrob umístěných na jedné lokalitě.

5. Závěr

V ČR je připravováno několik projektů na výrobu, transport a distribuci (plnicí stanice) nízkoemisního vodíku. Obecně se uvažuje silné rozšíření technologií do roku 2050. Ale již nyní je trend vyhledávat umístění pro nové technologie. Brownfieldy představují významný prostor. Velikou předností bude možnost využití ostatních ploch nebo pozemků s nízkou bonitou (např. vhodné na zatravnění) pro instalaci fotovoltaických elektráren v blízké vzdálenosti od elektrolyzérů. U brownfieldů se předpokládá naopak velmi dobrá dopravní dostupnost pro nákladní i osobní automobilovou dopravu. Další alternativou jsou železniční a lodní doprava. V blízké budoucnosti se v EU očekává významný rozvoj vodíkových technologií, jako je elektrolytická výroba vodíku z vody a jeho distribuce pro dopravu a následně také pro průmysl. Výroba a využívání nízkoemisního vodíku tak představuje vysoký potenciál k rozvoji bezemisních zdrojů energie. V databázi Czechinvestu je uveden aktuální přehled nevyužitých brownfieldů. Dále však existuje řada dalších ploch nebo málo využívaných brownfieldů např. jako součástí průmyslových areálů, u výrobních objektů, skladovacích ploch, bývalých zemědělských staveb, střech, plochy u čerpacích benzino-

vých stanic apod., které majitelé veřejně neuvádí a které mají velký potenciál pro výrobu vodíku. Brownfieldy je možné využít, ale bude nutné je doplnit ještě o další plochy, které jsou nyní součástí aktivních výrobních areálů, ostatních ploch apod. Pokud bychom uvažovali, že veškerá nízkoemisní elektrická energie 95 TWh bude spotřebována na výrobu vodíku, pak hypotetická potřebná plocha pro elektrolýzu bude 570 až 1000 ha a pro FVE rozloha 3 × 95 tis. ha. Ideálním řešením se jeví umístění FVE na málo bonitním poli a elektrolýzy na přilehlém menším brownfieldu.

LITERATURA

1. *Vodíková strategie České republiky*, verze, Ministerstvo průmyslu a obchodu, https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07_2.pdf, staženo 7. 3. 2023.
2. [https://www.sunfire.de/files/sunfire/images/content/Sunfire.de%20\(neu\)/Sunfire-Factsheet-HyLink-SOEC-20210303.pdf](https://www.sunfire.de/files/sunfire/images/content/Sunfire.de%20(neu)/Sunfire-Factsheet-HyLink-SOEC-20210303.pdf), staženo 7. 3. 2023.
3. Tocháčková A., Laciok A., Šilhan M.: *Chem. Listy 115*, 623 (2021).
4. <https://www.ceskovdatech.cz/clanek/59-zeme-brownfieldu-v-cesku-je-temer-500-lokalit-pripravenych-pro-investory/>, staženo 7. 3. 2023.
5. IRENA (2020), *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5 °C Climate Goal*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf, staženo 7. 3. 2023.

P. Polívka and M. Šilhan, (Research Centre Řež, Czech Republic): Parameters and Potential of Revitalization of Unused Industrial Areas (Brownfields) for Hydrogen Production

The article characterizes existing unused industrial areas, the so-called brownfields, in terms of their usability for hydrogen production, with a focus on electrolytic hydrogen production. The paper also estimates future brownfield areas to ensure hydrogen production.

Keywords: brownfield, hydrogen, electrolysis, renewable energy