

VYUŽITÍ VODÍKU K REGULACI VÝKONU OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE

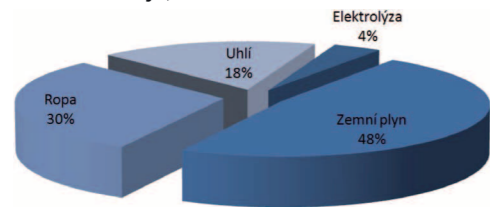
Doucek A.^{1,2}, Janík L.^{1,2}, Tenkrát D.², Dlouhý P.¹

1. Ústav jaderného výzkumu Řež a.s. (dck@ujv.cz)

2. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Vodík může být vyráběn mnoha způsoby z širokého spektra vstupních zdrojů. V celosvětové produkci vodíku dominuje v současné době výroba z fosilních paliv. Denně je na světě vyprodukováno přibližně 1,4 mld. Nm³ (127 tis. tun) vodíku. Obrázek 1 ukazuje zastoupení různých zdrojů využívaných v dnešní době (využívají se zejména tyto technologie: parní reforming zemního plynu, parciální oxidace ropných frakcí a zplyňování uhlí).

Obr. 1 – Rozložení zdrojů, z nichž se v současné době získává vodík



Využívání takto vyrobeného vodíku může pomoci lokálně snížit produkci některých zdraví poškozujících látek, globálně by však vedlo pouze k méně hospodárnému využívání primární energie a s tím souvisejícímu nárůstu produkce oxidu uhličitého. Proto je nezbytné hledat jiné způsoby výroby vodíku.

V budoucnu bude jednou z možností využití dnes vyvíjených jaderných reaktorů čtvrté generace. Vysoká teplota chladiwa na výstupu z reaktoru je postačující pro vysokoteplotní elektrolyzu i některé perspektivní chemické cykly. V současnosti je zájem směřován také do oblasti výroby vodíku z obnovitelných zdrojů. Pomocí nich se získává zejména elektrolyzou vody nebo zplyňováním či pyrolyzou biomasy [1].

Elektrolyza vody

Elektrolyza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem. Proces elektrolyzy může probíhat za normálních teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Tímto způsobem jsou vyrobeny asi 4 % z celkové světové produkce vodíku. Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí 80–92 %. K výhodám elektrolyzy patří možnost použití různých zdrojů vstupní energie a vysoká čistota vodíku. Nevýhodou může být vysoká cena elektrické energie. Konvenční elektrolyza je proto výhodná zejména tam, kde je levná elektřina a dostatek vody. Na celkové účinnosti elektrolytické výroby vodíku se podílí především účinnost výroby elektrické energie, která je pro stávající zdroje 30–40%. Celková účinnost elektrolyzy se pak pohybuje přibližně v rozmezí 25–35%.

Energetické využití vodíku

Vodík je principiálně možno využít dvěma způsoby. Chemickou energii, která je v něm uchována, je možno uvolnit buď jeho spálením ve spalovacím motoru, případně turbíně, nebo využít jeho výjimečných vlastností a přeměnit jej přímo na elektrickou energii v palivových článcích. Ačkoli první z možností je v dnešní době poměrně dobře zvládnutá, druhá nabízí, i přes nutnost překonat některé vývojové překážky, zvýšení účinnosti využití energie až o desítky procent.

Z hlediska oblastí využití připadá v úvahu zejména využití vodíku v dopravě a energetice (regulace zdrojů, záložní zdroje)

Vodíkové spalovací motory

Možnost práce spalovacího motoru na vodík byla zkoušena od 20. let minulého století. Vodík hoří velmi rychle řetězovou rozvětvenou reakční kinetikou. Jeho plamen je v důsledku vysoké výhřev-

nosti stabilní i při velmi chudé směsi, což lze využít pro omezení emisí oxidů dusíku. Nevýhodou spalování vodíku je malá objemová výhřevnost směsi, daná nízkou hustotou vodíku. Zejména použití chudých směsí vyžaduje proto přeplňování a pokud možno vstřík vodíku do válce až během sání, nejlépe ke konci sacího zdvihu. Vývoji spalovacího motoru na vodík se dnes věnují i některé významné evropské a světové automobilky.

Palivové články

Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou. Oproti tepelným strojům s generátorem elektrické energie dosahují palivové články při výrobě elektrické energie vysokých účinností a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost však dosahuje pouze 35–50 %, dle zatížení a typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, nikoliv přes mezistupně (tepelnou a mechanickou), jako je tomu např. u spalovacích motorů.

V současné době je vyvíjeno pět typů palivových článků lišících se především chemickým složením elektrolytu, provozními teplotami a možným palivem. U naprosté většiny palivových článků vystupuje jako oxidační činidlo vzdušný kyslík, výjimku tvoří jen specializované aplikace například v kosmonautice. Nízkoteplotní palivové články využívají jako palivo vodík nebo methanol, vysokoteplotní články mohou zužitkovat například i zemní plyn. Jednotlivé typy článků vzhledem k rozdílným provozním parametrům nacházejí uplatnění ve velmi odlišných aplikacích. Nízkoteplotní palivové články jsou dominantně využívány v mobilních aplikacích k výrobě elektrické energie, vysokoteplotní články naopak převládají v kombinované výrobě tepla a elektrické energie v aplikacích stacionárních.

Palivové články jsou v současnosti technologicky velmi vyspělá a bezpečná zařízení. Jejich komerčnímu rozšíření brání prozatím jejich vysoká cena daná stupněm vývoje, převážně kusovou výrobou a v neposlední řadě cenou použitých materiálů. U nízkoteplotních palivových článků je to především cena fluorovaných membrán a platiny, u vysokoteplotních potom cena materiálů schopných odolat vysokým teplotám a korozivnímu prostředí [2].

Ekonomické hledisko

Principiální výhodou vodíku oproti elektřině je možnost jeho skladování. Při uvažování pokročilejších metod výroby vodíku, jako je například vysokoteplotní elektrolyza, lze (alespoň částečně) využít i tepelnou energii, což má příznivý vliv na celkovou účinnost výroby vodíku.

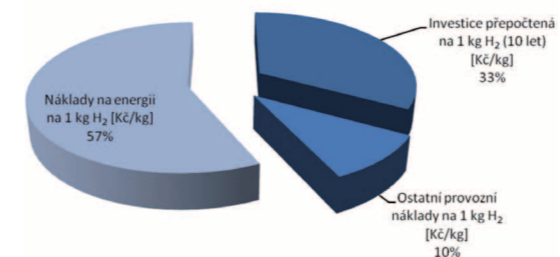
Elektrolyza vody – energetické a investiční náklady

Spotřeba elektrické energie na výrobu 1 m³ H₂ je v dnešní době asi 5,2 kWh, tedy přibližně 57 kWh/kg. Graf na Obr. 2 ukazuje orientační podíl investičních a provozních nákladů ve výrobní ceně vodíku.

Z hlediska využitelné energie je vodík asi 4x hodnotnější než dnes využívaná ropná paliva. Výrobní cena vodíku, která by se v případě elektrolyzy pohybovala okolo 100 Kč za kilogram, je tedy

srovnatelná s asi 25 Kč za litr benzínu. Při současné ceně ropy a stávající daňové politice tedy platí, že využití vodíku pro dopravu je z hlediska provozních nákladů výhodnější než využití dnešních pohonných hmot.

Obr. 2 – Podíl investičních a provozních nákladů ve výrobní ceně vodíku

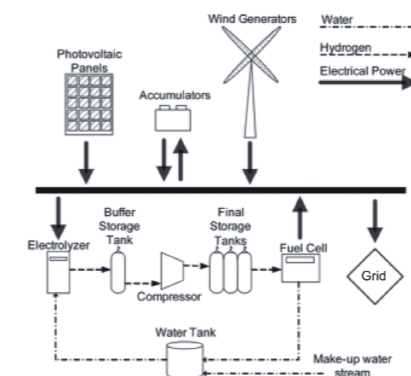


Výroba vodíku pro regulaci obnovitelných zdrojů

Oblast obnovitelných zdrojů patří z pochopitelných důvodů již delší dobu mezi priority jak evropské, tak národní politiky. Jelikož je však výroba elektrické energie pomocí větru nebo fotovoltaických (PV) panelů poznamenána nerovnoměrností zapříčiněnou nestálými přírodními podmínkami, představují tyto zdroje značnou zátěž pro stávající přenosovou a distribuční síť. Dalším negativem je nutnost zálohovat tyto zdroje pomocí zdrojů klasických. Tyto důvody přispívají také ke zvýšení ceny energie pro konečné zákazníky.

Vodíkové technologie mohou sloužit k uskladnění energie vyrobené z obnovitelných zdrojů o nestálém výkonu přímo v místě výroby. Takto získaný vodík lze poté využít dle lokálních podmínek buďto jako palivo pro dopravu nebo pro opětovnou výrobu elektřiny, například ve stacionárních palivových článcích nebo motorech. Jednoduché schéma popisovaného uspořádání ukazuje Obr. 3. [3,4]

Obr. 3 – Schéma integrovaného systému [5]



Elektřina získaná z obnovitelného zdroje je konvertována na vodík pomocí elektrolyzy. V současnosti připadá v úvahu zejména elektrolyza klasická, v blízké budoucnosti lze očekávat výraznější uplatnění elektrolyzy s využitím protonověměnné membrány [6] (obě za běžných teplot). Vodík je následně stlačován kompresorem na tlak až 350 bar a skladován ve vodíkových nádržích [7]. K opětovné transformaci vodíku na elektřinu je možné využít stacionární spalovací motory nebo palivové články. Výběr vhodného zařízení závisí zejména na ekonomických faktorech, na velikosti zařízení, ale také na požadované kvalitě stabilizace obnovitelného zdroje.

Jednou z překážek pro větší rozšíření využití solární energie pro výrobu elektřiny je tedy variabilita zdroje. Pro samostatné energetické systémy (stand-alone power system – SAPS), lze vyrovnání krátkodobých denních výkyvů dosáhnout využitím baterií. Pro dlouhodobější zálohování nebo regulaci větších zdrojů připojených do distribuční sítě je však využití baterií nedostatečné a nabízí se využití vodíku, který je vyráběn pomocí elektrolyzy. V následujícím textu jsou porovnány ekonomické charakteristiky zmíněných přístupů k regulaci:

1. PV/baterie: fotovoltaické moduly s uskladněním elektřiny v bateriích. Tento přístup je zde popsán zejména jako reference.

2. PV/elektrolyza: Druhý přístup využívá elektřinu z PV modulů v kombinaci s elektrolyzérem zajišťujícím výrobu vodíku a kyslíku, zařízení na čištění a kompresi, systém skladování a zařízení na opětovnou výrobu elektřiny z vodíku (motor + generátor, palivový článek).

Pro první případ je účinnost uložení elektřiny do baterií a jejího opětovného získání asi 85%. V závislosti na velikosti zařízení a požadavku na kvalitu zálohování a stabilizace je však nezbytné využít značné množství baterií (např. pro SAPS s průměrným denním výkonem 10 kWh/d [8] je to až asi 250 kWh). Využití takového množství baterií představuje značné investiční náklady. Naproti tomu, využití druhého přístupu – kombinace fotovoltaických panelů a výroby vodíku – se vyznačuje nižší účinností maximálně 50%. Z toho plynou vyšší nároky na zdroj primární energie (PV) avšak investiční náklady jsou téměř nezávislé na množství skladované energie. Využití vodíku se tedy vyplatí zejména tam, kde je potřeba uchovávat značná množství energie po delší dobu.[9]

Závěr

Existuje mnoho cest, jak vyrábět vodík. Preference jedné vyplývá z lokálních podmínek výroby, poptávky a především z investičních a provozních nákladů více než z celkové účinnosti procesu. Konvenční elektrolyza najde pravděpodobně uplatnění v menších lokálních zdrojích vodíku. Elektrická energie z obnovitelných zdrojů může být s výhodou využita právě pro lokální výrobu vodíku, odstraňuje komplikace s regulací energetické přenosové soustavy. Výroba vodíku se tak může stát perspektivní alternativou regulace spotřeby elektrické energie.

Literatura

- [1] Doucek, A.; Prokeš, O.; Tenkrát, D.: Získání vodíku z obnovitelných zdrojů energie. Chemické zvesti, 61 (1) 2007
- [2] Dlouhý P., Janík, L.: Palivové články [Internet], Czech Hydrogen Technology Platform, 2007 April 17 [cited 2010 April 09]. Available from: <http://hytep.cz/?loc=article&id=5>
- [3] Dutton, A.G. et al., 2000. Experience in the design, sizing, economics, and implementation of autonomous wind-powered hydrogen production systems. Int. J. Hydrogen Energy 25, 705–722
- [4] Sherif S., Barbir F., Veziroglu T., 2005. Wind energy and the hydrogen economy—review of the technology. Solar Energy 78, 647–660
- [5] Giannakoudis G. et al.: Optimum design and operation under uncertainty of power systems using renewable energy sources and hydrogen storage, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 35 (2010)
- [6] Millet, P. et al.: PEM water electrolyzers: From electrocatalysis to stack development, International Journal of Hydrogen Energy (2009)
- [7] Šingliar, M. et al.: Možnost uchování energetického potenciálu větra ve vodíku, PRO-ENERGY 3 (2008), 52
- [8] Markvart T, Castañer L (editors). Practical Handbook of Photovoltaics. Oxford: Elsevier; 2003.
- [9] Richards, B.S., Conibeer, G.J.: A comparison of hydrogen storage technologies for solar-powered stand-alone power supplies: A photovoltaic system sizing approach. International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 2712–2718

Abstract

UTILIZATION OF HYDROGEN FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES POWER REGULATION

Summary: The scope of the paper is to describe processes and economy of hydrogen production and utilization and possible future trends. Hydrogen, regarded as perspective fuel of future, should serve as a suitable energy carrier with its unique properties. The aim of the second part is to introduce hydrogen as a tool for regulation of renewable energy sources with special focus on wind energy.

Key words: Hydrogen economy, Photovoltaic, Power regulation, stand-alone power system