

# Nanostukturovaný katalyzátor pro elektrolýzu vody

J. Hanáček\*; J. Vít\*\*; K. Horáčková\*\*\*

Gymnázium Praha 9, Českolipská 373\*; Gymnázium Děčín,  
Komenského náměstí 4\*\*; Gymnázium Ústavní, Ústavní 400\*\*\*

hanacekjaja@gmail.com

## Abstrakt:

Práce představuje metody možného budoucího rozšíření vodíkového hospodářství, jakožto cesty k řešení nestability výkonu solárních a větrných elektráren. Zabývá se snižováním nákladů na výrobu PEM-WE elektrolýzérů metodou magnetronového naprašování. Díky této metodě se množství využitého iridia dá 30-ti násobně snížit.

## 1 Úvod

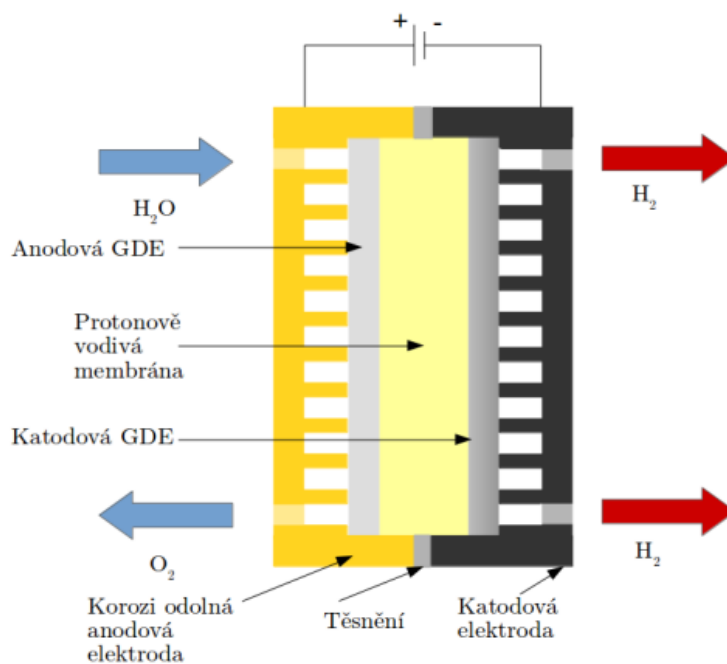
Energetika je zcela klíčovým komponentem pro fungování a rozvoj společnosti. V současné době jsou masově nejužívanějším energetickým zdrojem fosilní paliva. Ta ovšem nejsou vhodným zdrojem, neboť jich je na Zemi omezené množství, a nelze tedy zajistit dlouhodobě udržitelné pokrytí rostoucích potřeb energie. Další nevýhodou je výrazná produkce skleníkových plynů, spojená s jejich využíváním. Vzhledem k současné snaze o redukci emisí zplodin do ovzduší je užívání fosilních paliv neperspektivní i z politického a sociálního hlediska [1].

V posledních letech se klade velký důraz na energii z obnovitelných zdrojů, především z větrných a solárních elektráren. Tyto zdroje mají však podstatný nedostatek – kolísavost výkonu, způsobeného změnami slunečního svitu a větru. Slibným řešením do budoucna se jeví koncept využití vodíku jako energetického vektoru. V čase přebytku výkonu v síti se bude pomocí elektrolýzy z vody vyrábět vodík. Takto vyrobený vodík lze využít jako energetickou surovinu pro opětovné dodání výkonu zpět do sítě v časech nedostatku výkonu v síti. Souhrnně se tento proces nazývá vodíkové hospodářství.

Existuje řada různých typů elektrolýzérů, jako vhodný se jeví elektrolýzér s protonově vodivou membránou (PEM-WE — proton exchange membrane water electrolyzer), a to především díky schopnosti pracovat s velkými hustotami proudu, nízké provozní teplotě a vysoké čistotě vznikajících plynů. Za účelem dosažení maximální účinnosti se pro elektrolýzér s PEM užívají katalyzátory obsahující vzácné kovy, především platinu a iridium [2]. Jelikož se tyto ušlechtilé kovy vyskytují na zemi jen vzácně, je jejich cena velmi vysoká. Proto je žádoucí minimalizovat množství takto použitého materiálu. Jako jedna z vhodných metod se jeví magnetronové naprašování, které umožňuje připravovat definované, velmi tenké vrstvy a dosáhnout tak výrazně menšího obsahu vzácných kovů ve srovnání s chemickými metodami [2].

## 2 Elektrolyzér vody s protonově vodivou membránou

Elektrolyzér s PEM membránou (viz Obrázek 1) se skládá z elektrod, protonově vodivé membrány a z příslušných katalytických vrstev. Voda vstupuje do elektrolyzéru na straně anody, kde se rozkládá na kyslík a vodík. Kyslík odchází v podobě molekul  $O_2$  z reakce. Vodík zbavený elektronu, tedy proton, poté prochází skrze protonově vodivou membránu na katodu, kde probíhá reakce HER (Hydrogen evolution reaction) a vzniká molekulární vodík [1].



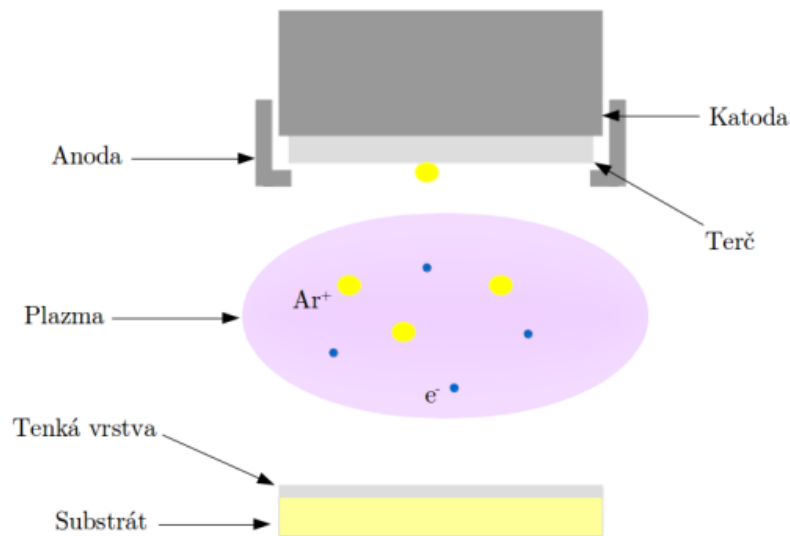
Obrázek 1- Schéma PEM-WE

## 3 Magnetronové naprašování

Standartní PEM membrány mají hladký povrch a katalyzátory jsou na ně nanášeny neefektivním způsobem, čímž dochází k vytvoření tlustší vrstvy, než je potřeba. Rychlost chemické reakce se odvíjí od povrchu, na kterém reakce probíhá. Řešení problému nabízí metoda magnetronového naprašování, která umožňuje zvětšení povrchu membrány leptáním za pomoci  $CeO_2$  a snížením množství použitého katalyzátoru pomocí fyzikální depozice z plynné fáze.

Existuje řada typů magnetronového naprašování, fyzikální princip ovšem zůstává stejný. Uvažme tedy nejjednodušší případ nereaktivního stejnosměrného (DC — Direct current) naprašování v argonu (viz Obrázek 2). Při magnetronovém naprašování je na katodu přivedeno záporné napětí, anoda je uzemněna. Plyn je standardně alespoň částečně ionizován, obsahuje volné elektrony a ionty. Ty jsou následně urychlovány elektrickým polem a směřují ke katodě (ionty) a k anodě (elektrony). S rostoucím napětím se jsou urychlovány více. Při dosažení určité mezní hodnoty mají tolik energie, že jsou schopny ionizovat další atomy, nastává sekundární ionizace [3]. Ionty argonu jsou v elektrickém poli urychlovány ke katodě, kde po dopadu vyražejí shluky atomů terče. Tyto shluky následně dopadají na substrát, vzniká tenká vrstva. V magnetronu jsou dále přítomny silné permanentní magnety, které zakřivují, a tedy i výrazně

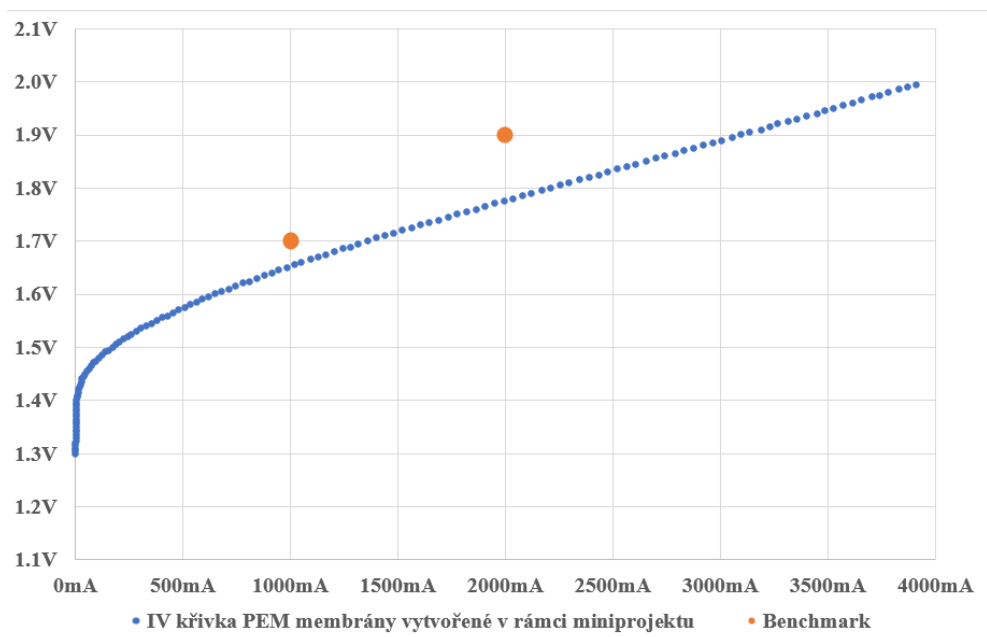
prodlužují dráhy elektronů směřujících k anodě. Elektron letící po delší dráze následně ionizuje větší počet atomů, více iontů bombarduje povrch terče a depozice je rychlejší [4].



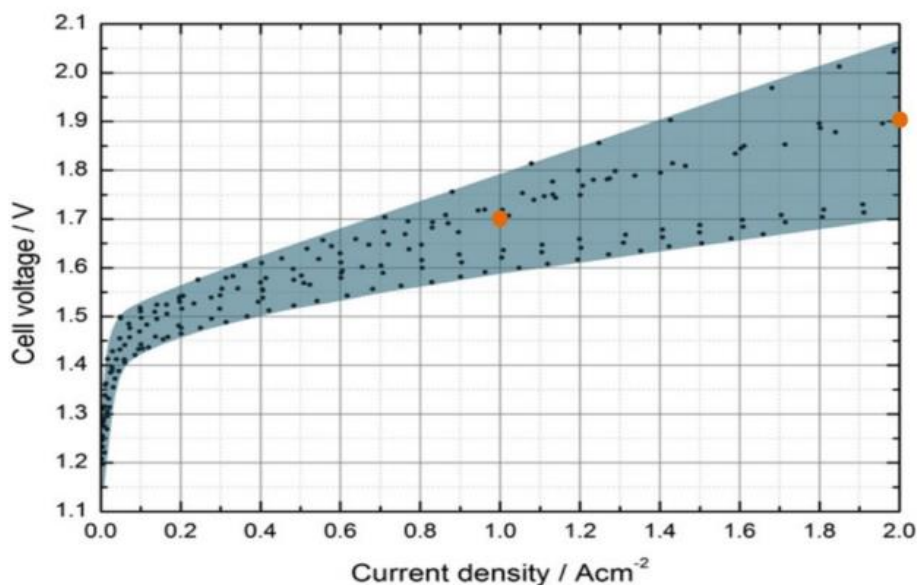
Obrázek 2 - Znáornění procesu magnetronového naprašování

## 4 Výsledky a Diskuze

Množství vyrobeného vodíku je přímo úměrné velikosti proudu. Snahou je tedy docílit největšího proudu za co nejmenšího napětí. To zvyšuje účinnost, jelikož platí vztah  $P=U \cdot I$ . Účinnější membrány proto nebudou mít tak strmou křivku. Na grafu (viz Obrázek 3) je znázorněná IV křivka PEM membrány na jejíž výrobě jsme se v rámci miniprojektu podíleli. Velké body znázorňují průměrné hodnoty pro PEM-WE elektrolyzéry (viz obrázek 4). V porovnání s průměrnými hodnotami je tato membrána efektivnější. Zároveň bylo na výrobu použito 30x méně iridia.



Obrázek 3 - IV křivka membrány na jejíž výrobě jsme se podíleli



Obrázek 4 - Porovnání výkonu několika nedávno zveřejněných IV křivek

## 5 Shrnutí

Ověřili jsme, že za pomoci magnetronového naprašování a leptání je možné vytvořit minimálně stejně efektivní PEM membrána jako za použití standartních metod. Největším úspěchem je snížení množství iridia potřebného k výrobě. Tento výrobní postup je na dobré cestě k velkému rozšíření vodíkového hospodářství.

## Poděkování

Děkuji jménem všech účastníků Peteru Kúšovi a Tomáši Hrbkovi, kteří nás s tímto tématem skutečně do hloubky seznámili. Velmi si vážíme toho, že jsme se mohli částečně podílet na experimentu a vyzkoušet si práci v laboratoři. Dále děkujeme organizátorům Týdne vědy, za umožnění tohoto zážitku.

## Reference

- [1] Carol Olson and Frank Lenzmann. The social and economic consequences of the fossil fuel supply chain. *MRS Energy & Sustainability*, 3:E6, 2016.
- [2] Marcelo Carmo, David L. Fritz, Jürgen Mergel, and Detlef Stolten. A comprehensive review on PEM water electrolysis, 2013
- [3] T. Hrbek, Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzérů vody s protonově vodivou membránou, 2019
- [4] G. Bräuer. Magnetron Sputtering. *Comprehensive Materials Processing*, 4:57–73, 2014.
- [Obrázek 1] T. Hrbek, Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzérů vody s protonově vodivou membránou, 2019
- [Obrázek 2] Tamtéž
- [Obrázek 4] P. Kúš, Thin-film catalysts for proton exchange membrane water electrolyzers and unitized regenerative fuel cells, 2018