

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Aleš Fořt

Několik poznámek o dosavadním vývoji palivových článků

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 5 (1960), No. 6, 697--700

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138258>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

ného media, nebude  $s_i$  funkcí souřadnic  $x_\alpha$ . Za těchto podmínek rovnice kontinuity (23) po vynásobení  $m_i$  poskytuje:  $\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}}_i = 0$ . Podle toho  $-\frac{2}{s_i} \nabla p_i \bar{\mathbf{u}}_i = -\frac{2}{s_i} \bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla p_i = -\frac{2}{s_i} \sum_\alpha \bar{u}_{i\alpha} \frac{\partial p_i}{\partial x_\alpha} = -\frac{2}{s_i} (\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) p_i$ . Pro rovnici (61) pak dostáváme  $(\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}}_i^2 = -2(\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \varphi_0 - \frac{2}{s_i} (\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) p_i$ . Po menší úpravě pak  $(\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \frac{\bar{\mathbf{u}}_i^2}{2} + (\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \varphi_0 + (\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \frac{p_i}{s_i} = 0$ , čili  $(\bar{\mathbf{u}}_i \cdot \nabla) \left\{ \frac{\bar{\mathbf{u}}_i^2}{2} + \varphi_0 + \frac{p_i}{s_i} \right\} = 0 \Rightarrow \Rightarrow \frac{\bar{\mathbf{u}}_i^2}{2} + \varphi_0 + \frac{p_i}{s_i} = \text{konst.}$  (62)

Rovnice (62) je Bernoulliho rovnicí pro nestlačitelné kapaliny. Je to tedy další ze základních rovnic hydrodynamiky, na kterou lze jednu z rovnic plazmatu převést. (Jelikož zemské gravitační pole lze při uvedeném zkoumání považovat za homogenní, je  $\varphi_0 = gh$ , kde  $h$  je výška nad zemským povrchem.)

Z Liouvillova teorému, jako základního zákona zachování rozdělovací funkce — hustoty pravděpodobnosti — ve fázovém prostoru, plynou všechny další fundamentální rovnice fyziky plazmatu. Z nich je možné dojít při určitých zjednodušeních k rovnicím hydrodynamiky. Kinetická rovnice je nadřazena rovnici kontinuity, rovnici pro hybnost atd. Tyto rovnice jsou pak obecnější než hydrodynamické zákonitosti. Pro řešení poměrů v laboratorním plazmatu se uvedených rovnic velmi často používá.

#### Literatura

- [1] N. N. Bogoljubov, *Problemy dynamičeskoj teorii v statističeskoj fizike*, OGIZ, Moskva-Lenin. grad 1946.
- [2] L. Landau, E. Lifšic, *Statističeskaja fizika*, GITTL, Moskva-Leningrad 1951.
- [3] S. Chapman, T. G. Cowling, *The mathematical theory of non-uniform gases*, Cambridge 1953.
- [4] V. L. Granovskij, *Električeskij tok v gaze I.*, GITTL, Moskva-Leningrad 1952.
- [5] J. Kracík, *Úvod do teorie plazmatu I.*, učeb. text., SNTL, Praha 1960.
- [6] Kleczek J., *Pokroky matem., fys., astron.* V (1960), 293, č. 3.
- [7] Hruška A., *Pokroky matem., fys., astron.* V (1960), 308, č. 3.
- [8] Kracík J., *Sborník prací elektrotechn. fak. ČVUT — 1960, (v tisku).*

## NĚKOLIK POZNÁMEK O DOSAVADNÍM VÝVOJI PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

A. FOŘT

*Katedra obecné fyziky matematicko-fyzikální fakulty KU\**

V dosavadní praxi bylo nutné nejenom počítat s omezenou účinností tepelných zařízení, podléhajících termodynamickým zákonům přeměny tepla na mechanickou energii, ale bylo nutno tuto mechanickou energii přeměnit v elektrickou přidavným zařízením. V poslední době se proto vyvinula snaha obejít omezení a hledat možnost účinné a přímé přeměny tepla v elektrickou energii.

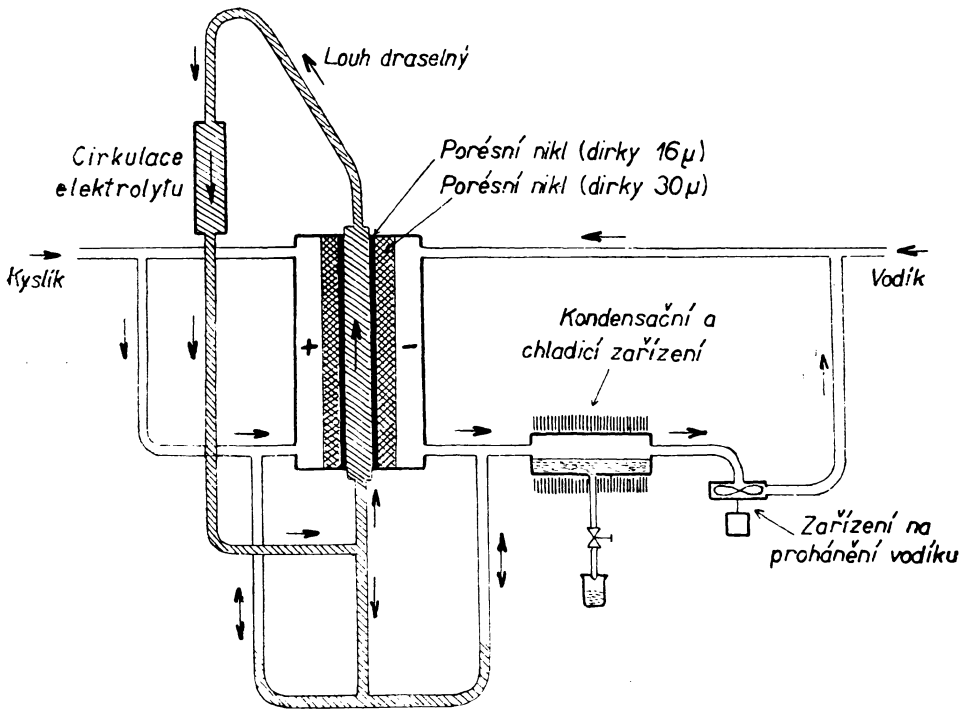
\*) Podle *Nature* 186/1960/589.

Na základě dlouholetého výzkumu byl sestaven palivový článek, který lze definovat jako elektrochemický článek, v kterém volná energie spalování příslušného paliva se mění přímo v elektrickou energii. Nejvýhodnější se ukázalo použít plynného paliva a jako oxidační látky se používá buď kyslík nebo vzduch. Přesné dělení palivových článků je obtížné, ale je možno je rozdělit podle pracovních teplot na tři druhy:

1. články pracující za atmosférického tlaku při teplotě asi do 100°C,
2. články pracující při teplotách kolem 200°C,
3. články pracující při teplotách kolem 550°C a výše.

Pro každý druh článku jsou specifické určité parametry, jako na příklad palivo, materiál elektrod, velikost elektrod, druh elektrolytu a pod.

Články pracující při nízkých teplotách potřebují obvykle velký vnitřní povrch elektrod, pokud se žádá dosažení velkých proudových hustot. To znamená, že desky článku musí být vyrobeny z porézních materiálů jako je uhlík nebo porézní kovy. Uhlík je pro své porézní vlastnosti vhodnou látkou a desky velikosti 200 m<sup>2</sup>/g jsou dosažitelné. Aktivita elektrod je často zvýšena impregnací katalyticky aktivními materiály. U nízkoteplotních článků se používá jako elektrolytu silného vodního roztoku alkalické látky, na příklad hydroxydu draselného, který je dobře vodivý. Výzkumné práce byly též prováděny s elektrolytem ve formě membrány z iontových měničů. Tento druh článku prozatím vykazuje



Obr. 1.

vysoký vnitřní odpor a jeho výkon je tedy celkově malý; na druhé straně však při použití kyselého elektrolytu je možno použít vzduchu obsahující CO<sub>2</sub>, přičemž není třeba brát v úvahu karbonisaci elektrolytu. Nejlepších výsledků u nízkoteplotních článků bylo dosaženo, jak se dá předpokládat, s čistým vodíkem a kyslíkem.

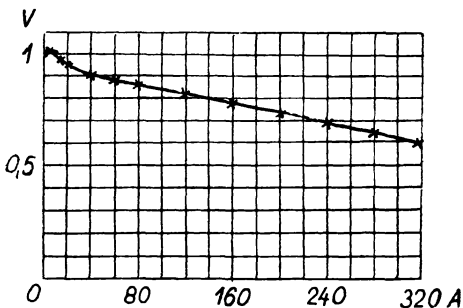
Články, které pracují při vysokých teplotách, používají jako elektrolytu směsi tavených solí, obvykle uhličitanů, které jsou často obsaženy v porézní mřížce ze sinterovaného kysličníku hořečnatého. Elektrody potom mohou být z kovu nebo kysličníku kovu a musí být v těsném spojení s porézní mřížkou. Tento druh článku pracuje v rozmezí asi

500—800°C při atmosférickém tlaku. Při vyšších teplotách nastává ovšem nebezpečí koroze. Velká výhoda vysokoteplotních článků spočívá v tom, že jako plynného paliva se dá použít průmyslových plynů nebo vzduchu, což je velká ekonomická výhoda skutečných palivových článků.

U středně teplotních článků jsou reaktivními plyny obvykle vodík a kyslík. Teoretická účinnost při atmosférické teplotě a tlaku je asi 83%, praktická asi 55% při 200°C a tlaku asi 15 kg/cm<sup>2</sup>. Elektrody z porézního niklu jsou asi 1,6 mm silné nebo méně a jako elektrolytu se používá silný roztok hydroxydu draselného.

Na obr. 1 je uvedeno schéma takového palivového článku. Elektrody mají porézní otvory velikosti 30  $\mu$  na straně plynu a mají tenkou vrstvu s mnohem menšími porézními otvory (asi 16  $\mu$ ) na straně kapaliny.

V článku je nastaven malý přetlak tak, aby kapalina byla vytlačena z větších porézních děr na straně plynu, ale plyn nemůže probublávat skrz malé porézní otvory na straně kapaliny, neboť mu brání její povrchové napětí. Vnitřek 30  $\mu$  porézních děr představuje pro plyn velký povrch pro absorpci plynu. Z uvedeného uspořádání vyplývá, že při kovových porézních elektrodách tohoto druhu je hustota proudu omezena vlivem velkého vnitřního povrchu velkých porézních děr a elektroda se strany plynu je v podstatě suchá, což je jedna z podmínek dobrého výkonu. Kyslíkové elektrody jsou nejdříve impregnovány směsí dusičnanů niklu a lithia; potom jsou usušeny a vypékány na vzduchu při asi 700°C. Tímto procesem se utvoří na povrchu vodivý kyslíčkový povlak, který chrání článek před korozí. Kyslíkové elektrody upraveny tímto způsobem vydrží 1500 hodinový provoz v článku při 200°C se snížením ve výkonu asi jenom o 4%. Elektrody, 25 cm v průměru, které se doposud používaly, nejsou samonosné, takže jsou nanášeny na niklové nebo poniklované ocelové desky, které jsou opatřeny velkým počtem děr, takže plyn může jimi bez odporu procházet. Obr. 2 ukazuje optimální charakteristiku doposud sestaveného článku s uvedenými velikostmi elektrod. Z obrázku je vidět, že proudy 320 amp. byly dosaženy tímto článkem. Baterie má podélné otvory pro doplňování obou plynů a elektrolytu každému článku. Největší baterie doposud sestavená má 40 článků a dává při 32 V 100 amp. nebo při 24 V 240 amp.



Obr. 2.

Je třeba si všimnout výhod a nevýhod palivových článků. Výhody palivových článků by byly nesporné, pokud by bylo možno použít uhlí a vzduchu, jakožto paliva. Přímé použití těchto dvou paliv není možné a tak se zkoumá možnost využití přírodního plynu jakožto paliva s ohledem na jeho možnou dodávku přes dlouhé vzdálenosti.

Tlakové články jsou pravděpodobně ekonomicky neúnosné, protože cena kompresních zařízení značně snižuje účinný provoz. Ze stejného důvodu je použití kyslíku jako reaktivního paliva nevhodné pro velké výkonové baterie. Zdá se, že dnešního stavu věci, že nejvýhodnější kombinace bude v použití vysokoteplotních baterií s elektrolytem z tavených solí. Je třeba ovšem poznamenat, že baterie vyrábí a tedy pro jiné použití než např. pro stejnosměrné motory je třeba použít měničů.

Velká diskuse se točí kolem článku vodík-kyslík. U tohoto typu článku je určitá kontraverze z hlediska praktické aplikace. Problémy představující nevýhody tohoto článku spočívají v obtížnosti výroby, dodávky a skladování vodíku; kyslík je ovšem také dražší než vzduch, který je zdarma. Obecně se uznává, že H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> článek je principiálně zařízení na „skladování“ elektrické energie spíše než skutečný palivový článek s průmyslovým palivem a může být použit pro železniční a silniční trakci. To znamená, že oba plyny budou vyvíjeny elektrolyticky vody v samostatných aparaturách. Tím dosavadní elektro-rozvodný systém umožní výrobu paliva lokálně. Sestavená baterie dává potom stejnosměrný proud pro trakci. Z hlediska ekonomické elektrolysy byly prováděny výzkumy s tlakovými elektrolytami, takže cena ztlačeného vodíku a kyslíku by se podstatně snížila. Dále je studována možnost reversibility článku, což se zatím plně nepodařilo; bylo by to výhodné speciálně pro vozidla, která musí často zastavovat a rozjíždět. Transport plynů je zatím z ekonomického hlediska omezen na tlakové nádoby, což z hlediska objemu a váhy je nevhodné i když je možno přepravovat plyny v kapalném stavu, je výroba kapalného vodíku pořád drahá.

Trakce pomocí palivových článků ovšem představuje obrovskou výhodu v tichosti a bezvibračním chodu elektromotoru, odstranění výparů, větší krouticí moment než u spalovacího motoru, odstranění spojky a převodovky.

Jednou z hlavních aplikací může být ve „skladování“ elektrické energie při výrobě elektrického proudu pomocí jaderných elektráren. Je dobře známo, že hlavní náklady této výroby spočívají na základní investiční výstavbě a málo se ušetří tím, že se zavře reaktor při nižší zátěži. Předpokládá se tedy, že elektrická energie (mimo špičky) se věnuje na elektrolýsu a generované plyny se použijí pro baterie pro pohon železničních a silničních vozidel.

Praktické aplikace palivových článků představují obrovské možnosti pokud budou překonány ekonomické obtíže doposud nevyřešené. Hlavní směr bádání se soustředil na články používající buď přírodního plynu nebo kapalných uhlovodíků nebo vzduchu, neboť jde vesměs o paliva levná. Konkrétní praktické demonstrace již byly provedeny např. v roce 1958, kdy baterie  $H_2-O_2$  o výkonu 1 kW byla použita k napájení radaru, kde její hlavní přednost byl tichý chod. V roce 1959 byla použita vysokotlaká čtyřicetičlávková baterie  $H_2-O_2$  na pohon cirkulární pily, dále dodávala energii obloukovému sváření a současně poháněla sklápěcí zařízení. Maximální výkon byl asi 6 kW. Další praktická aplikace je z konce minulého roku, kdy byl předveden traktor poháněný 1,008 sériově zapojenými palivovými články pracujícími při nízké teplotě. Výkon byl 15 kW.

První aplikace byly tedy již provedeny a nyní zbývá pokračovat ve směru vývoje tohoto pohonného zařízení budoucnosti.

## MĚŘENÍ DIELEKTRICKÉ KONSTANTY V PÁSMU CENTIMETROVÝCH A DECIMETROVÝCH VLN

ROMAN BAKULE, *MFF KU*

### I. Úvod

Měření dielektrické konstanty materiálů na velmi vysokých kmitočtech má široké uplatnění v různých oborech fyziky. Ve vysokofrekvenční technice samé je třeba znát elektrické vlastnosti látky, jež určují vedle mechanických vlastností její použití při stavbě částí vysokofrekvenčních obvodů (dielektrické antény, kotoučové transformátory, izolátory apod.). Měřičů dielektrik používáme též často ve fyzice pevných látek. Znalost komplexní dielektrické konstanty, její závislost na frekvenci nám dává nové poznatky o měřené látce a jejich vnitřních parametrech. Zajímavá je metoda navržená v [4], která umožňuje průběžnou kontrolu čistoty polovodiče při výrobě transistorů a diod. Ve fyzice plazmatu umožňuje měření komplexní dielektrické konstanty určení koncentrace a srážkové frekvence elektronů. Toto jsou ovšem jenom některé zřejmě vybrané možnosti použití. Bylo již vyvinuto mnoho vysokofrekvenčních metod měření dielektrické konstanty a ztrátového úhlu. Vhodnost určité metody je závislá jednak na velikosti dielektrické konstanty a činiteli dielektrických ztrát, jednak na velikosti a tvaru vzorku a skupenství látky. Výběr někdy ovlivňuje i dosažitelnost potřebných součástí vysokofrekvenčního obvodu.

Metody měření dělíme obvykle podle toho, umístíme-li vzorek do dutinového rezonátoru či vlnovodu, nebo měříme-li ve volném prostoru. Fyzikální podstata všech metod je stejná; vlastnosti dielektrika ovlivňují rychlost šíření (a tím i délku vlny) a velikost ztrát výkonu elektromagnetické vlny.

Dříve než přejdeme k popisu jednotlivých metod měření, všimneme si zápisu dielektrické konstanty. Dielektrická konstanta  $\epsilon$  je obecně komplexní veličinou a je určena v soustavě MKSM výrazem

$$\epsilon = \epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon' - i \frac{2\sigma}{f}, \quad (\text{I-1})$$