

MOŽNOSTI CHARAKTERIZACE UHLÍKOVÝCH PASTOVÝCH ELEKTROD

TOMÁŠ MIKYSEK*, MATĚJ STOČES, IVAN ŠVANCARA a KAREL VYTRÁS

Katedra analytické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Studentská 573, 532 10 Pardubice
 tomas.mikysek@upce.cz

Došlo 2.3.14, přijato 5.4.14.

Klíčová slova: uhlíková pastová elektroda, charakterizace, cyklická voltametrie, odpor

Obsah

1. Úvod – historický přehled
2. Proč charakterizovat uhlíkové pastové elektrody?
3. Testování nemodifikovaných pastových elektrod
4. Mikrostruktura uhlíkových past
5. Charakterizace pomocí měření ohmického odporu
6. Modelové systémy pro elektrochemickou charakterizaci CPE
7. Nové materiály – uhlíkové nanotrubičky a iontové kapaliny
8. Závěr

1. Úvod – Historický přehled

První zmínka o uhlíkových pastových elektrodách (CPE, z angl. carbon paste electrode) byla publikována R. N. Adamsem roku 1958, i když původní záměr byl poněkud odlišný. Adams se pokoušel vyrobit kapající uhlíkovou elektrodu, avšak místo ní vznikl nový typ pevné elektrody na bázi uhlíkové pasty¹. O mnoho let později byl jeho původní záměr realizován v Japonsku². První práce týkající se charakterizace uhlíkových pastových elektrod opět pocházejí z Adamsovy výzkumné skupiny a jsou zaměřeny na využitelnost těchto elektrod ve voltametii, a to jak v katodické, tak anodické oblasti. Zároveň byly popsány i první pokusy o optimalizaci složení uhlíkové pasty. Tyto elektrody se skládaly z několika typů spektroskopického grafitového prášku a jako pojiva byly použity kapalné uhlovodíky. Ještě jedno prvenství je třeba této skupině

připsat, a to, že jako první interpretovali souvislosti mezi elektrochemickým chováním CPE a vlastnostmi použitého pojiva a uhlíku^{3,4}. Složením se poté zabývali i další, mezi prvními i Farsang⁵. Jeho studie zahrnovala optimalizaci složení uhlíkové pasty z pohledu chemického složení pojiva, kde byly sledovány vlastnosti elektrod připravených ze silikonových olejů o různé molekulové hmotnosti. Srovnání uhlíkových pastových elektrod s jinými typy elektrod na bázi uhlíku pak nabízí práce Moniena a spol.⁶. Studii sedmi různých pastových elektrod popisuje Lindquist (a to z pohledu použití různých pastových kapalin) a věnuje se jak popisu fyzikálně-chemických, tak i elektrochemických vlastností (vliv elektrolytu na anodický rozsah, testování v systému Fe(II)/Fe(III) a chinon/hydrochinon)⁷. Jeho testování bylo většinou založeno na metodách navržených pro voltametrickou charakterizaci pevných elektrod. Na složení uhlíkové pasty je zaměřena další práce, tentokrát opět z Adamsovy skupiny, zkoumající vliv pojiva a použitého uhlíku na rychlost přenosu náboje⁸, na ni následně navázali ve své studii Urbaniczky a Lundström⁹. V tomto výčtu by bylo možné dále pokračovat, i když v současné době se většina článků věnuje charakterizaci (ve větší míře) jen pokud se jedná o charakterizaci nového typu elektrod. Kromě původních článků existuje samozřejmě celá řada přehledových prací^{10–12} a nově i knih^{13,14}.

2. Proč charakterizovat uhlíkové pastové elektrody?

Toto je nejčastější otázka, nabízející se při práci s uhlíkovými pastovými elektrodami. Naráží na jejich „nevýhodu“ v praktické analýze, jelikož práce s nimi vyžaduje jistou míru experimentálních zkušeností. To samozřejmě platí i pro jiné typy pevných elektrod¹⁵, ale CPEs jsou jistou výjimkou v porovnání s komerčně dostupnými pevnými elektrodami, pro které je postačující základní elektrochemická charakterizace. Naproti tomu každá uhlíková pasta je svým způsobem jedinečná a její vlastnosti se mohou lišit kus od kusu – nehledě na to, zda je pasta připravena vlastními silami v laboratoři nebo zakoupena jako již hotový produkt^{14,16}. Výběr složek uhlíkové pasty, jejich kvalita a poměr ve směsi, stejně jako druh zpracování a optimální homogenizace, určují výsledné chování CPEs. Dlouholeté zkušenosti ukázaly, že i příprava již hotové elektrody k měření může hrát významnou roli. Elektrochemické vlastnosti různých typů CPEs mohou být sice před-

* Tomáš Mikysek je laureátem ceny firmy Metrohm za nejlepší publikaci mladého elektroanalytického chemika v roce 2012.

povězeny, nicméně je vhodné provést detailnější charakterizaci v podobě testovacích měření^{14,17}.

Testovací postupy se skládají z experimentů popisujících základní fyzikálně-chemické a elektrochemické vlastnosti uhlíkových past. Navíc zvolené testovací procedury

mohou odhalit specifické chování daného typu CPEs (cit.⁸). Do jisté míry mohou být testovací měření podobná nebo identická s těmi, které se používají běžně pro testování jiných typů elektrod (např. voltametrická měření potenciálového rozsahu a zbytkových proudů, charakteristika



Schéma 1. Návod k testování nemodifikovaných elektrod

elektrodového povrchu pomocí reakční kinetiky, reprodukovatelnost, aj.)^{15,17,18}. Důvodem a cílem charakterizace je také nalézt vhodnou elektrodu (např. ze série připravených), a na základě výsledků určit její možné využití. Charakterizace mnohdy zahrnuje a vyžaduje testovací kroky, které nejsou u ostatních elektrod (především komerčně dostupných – např. elektroda ze skelného uhlíku) běžné nebo nezbytně nutné. Více k této problematice je uvedeno v následující kapitole.

3. Testování nemodifikovaných pastových elektrod

Směsi obsahující dvě komponenty – uhlíkový prášek a pojivo – jsou běžně označovány jako nemodifikované uhlíkové pasty. Jako uhlík se většinou používají spektroskopické grafitové prášky a podobné materiály¹⁹, o kterých bude pojednáno později. Pojivem (pastovou kapalinou) je ve většině případů lipofilní organická kapalina (např. silikonový či parafinový olej, aj.). Schéma 1 na obrázku naznačuje, v jednotlivých krocích cestu, kterou se lze ubírat při testování uhlíkových past. Toto schéma je strukturováno obecně a lze jej uplatnit na jakoukoliv elektrochemickou techniku, nicméně je koncipováno hlavně pro zapojení nemodifikovaných CPEs ve voltametrické. Zároveň je také kombinací již dříve doporučených procedur^{3,4,7,8} a může být dále podle potřeby modifikováno zařazením dalších a pokročilejších studií.

4. Mikrostruktura uhlíkových past

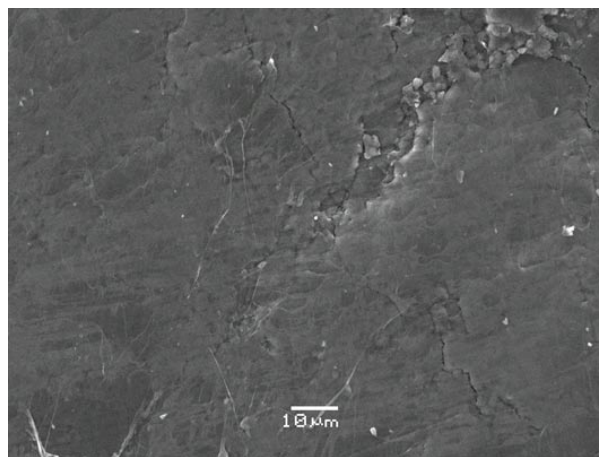
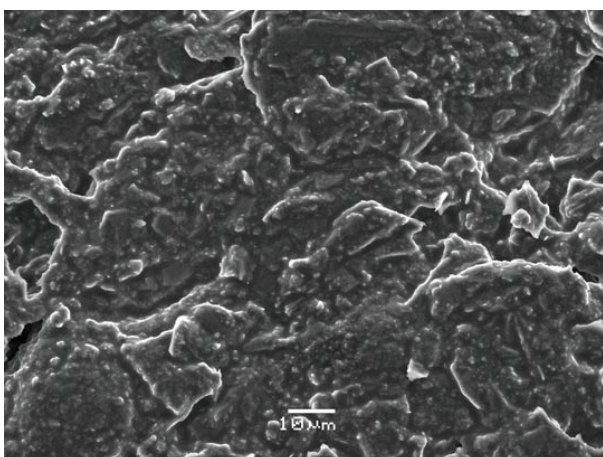
Uhlíkové pasty jsou heterogenním materiálem vykazujícím, díky přítomnosti kapalného pojiva, výjimečné vlastnosti. K popisu struktury uhlíkových past bylo použito hned několik technik, avšak překvapivě první z nich nebyly na základě mikroskopických experimentů, ale na základe

dě měření kapacity²⁰, rozsahu polarizace⁸ nebo elektrochemiluminiscence²¹. Nicméně nejrozsáhlejší studie byly provedeny pomocí moderních mikroskopických technik jako jsou: skenovací tunelová mikroskopie (STM)²², optická mikroskopie (OM)²³, skenovací elektronová mikroskopie (SEM)¹¹ občas kombinovaná s rentgenovou analýzou²⁴. Poslední dobou se staly populárními především obrázky ze SEM, jako nedílná součást nejen elektrochemické charakterizace nových typů uhlíkových past. Pro ilustraci je na obr. 1 uveden snímek SEM klasické pasty s parafinovým olejem a pasty s nanotrubičkami a stejným pojivem. Obzvláště užitečné využití SEM je při charakterizaci struktury vyloučených palladiových²⁵, rtuťových²³, zlatých a bismutových filmů²⁶ na elektrodovém povrchu. Kromě výše uvedených technik se také používá ve stále větší míře elektrochemické impedanční spektroskopie (EIS).

5. Charakterizace pomocí měření ohmického odporu

Běžně používané uhlíkové pastové elektrody mají velmi nízký ohmický odpor, obvykle v jednotkách, max. desítkách ohmů^{13,14,27–29}.

S rostoucím množstvím pojiva dochází k nárůstu odporu⁸, tento fakt nebyl, až donedávna, v případě CPE detailně zkoumán a vysvětlen. Pokud vyneseme závislost experimentálně získaných hodnot odporu na poměru uhlík/pojivo, zjistíme, že nedochází pouze ke zvýšení odporu se vzrůstajícím množstvím pojiva, ale pozorujeme závislost ve tvaru „hokejky“ se dvěma lineárními částmi. První část se týká oblastí, kde obsah uhlíku v pastě je výrazně vyšší než obsah pojiva (tzv. „suchá pasta“^{8,14,20}) a odpor dosahuje nízkých a vesměs konstantních hodnot. S nárůstem obsahu pojiva nad kritickou hodnotu dochází k prudkému nárůstu ohmického odporu pasty, což se projeví na výše zmíněné křivce a můžeme pozorovat jistý zlom. Tento



Obr. 1. Obrázky ze SEM – uhlíková pasta s uhlíkem RW-B a parafinovým olejem (vlevo) a uhlíková pasta s SWCNTs s parafinovým olejem (vpravo)

charakteristický tvar byl pozorován během studia past o různém složení.

Vysvětlení tohoto chování nabízí model nejtěsnějšího uspořádání kulových částic, převzatý z krystalografie. Podle této teorie zaujímá část prostoru, vyplněná částicemi, teoreticky 52–74 % objemu, samozřejmě v závislosti na typu uspořádání (Fm3m, P63/mmc, Im3m a Pm3m)¹³. Lze však namítnout, že ne všechny typy uhlíku mají kulové částice, jako je tomu v případě prášku ze skelného uhlíku, ale i nepravidelné částice se řídí tímto principem nejtěsnějšího uspořádání a zlom je tedy pouze pozorován při jiném poměru uhlíku a pojiva.

Pokud uhlíkové částice, obsažené ve směsi uhlíkové pasty, převažují výrazněji nad množstvím pojiva, jsou tyto částice v maximálním možném kontaktu, čímž je zajištěna vodivost této směsi. Pastová kapalina pak vyplňuje prostor mezi uhlíkovými částicemi a výsledná vodivost je konstantní až do bodu zlomu (viz obr. 2a).

S dalším nárůstem obsahu pojiva se uhlíkové částice dostávají z nejtěsnějšího uspořádání a začínají „plavat“ v pastové kapalině a jejich kontakt není tedy plně zajištěn, přičemž s výrazně vyšším podílem pojiva je kontakt částic

vesměs náhodný. Tento model koresponduje s tzv. perkolací teorií³⁰.

V našich studiích^{31–34} byly zkoumány různé běžné typy obou komponent uhlíkových past a nově i materiály, výrazněji promlouvající do oblasti uhlíkových past, kterými jsou uhlíkové nanotrubičky a iontové kapaliny. Opět byla pozornost upřena ke sledování závislosti ohmického odporu na poměru komponent uhlíkové pasty, u kterých byly brány v potaz i jejich fyzikálně-chemické vlastnosti. Mimo jiné je v těchto studiích diskutována i otázka homogenity a stability, jejich uchování a míra stárnutí.

Spolehlivost výše popsaného modelu charakterizace byla ověřena a konfrontována s elektrochemickou charakterizací pomocí cyklické voltametrie převážně v modelovém systému Fe(II)/Fe(III) reprezentujícím jednoelektronový reverzibilní děj. Rozdíl potenciálu katodického a anodického píku ΔE v závislosti na složení vykazuje stejnou závislost tvaru hokejky (obr. 2b), jako tomu bylo v případě měření odporu v závislosti na složení.

6. Modelové systémy pro elektrochemickou charakterizaci CPE

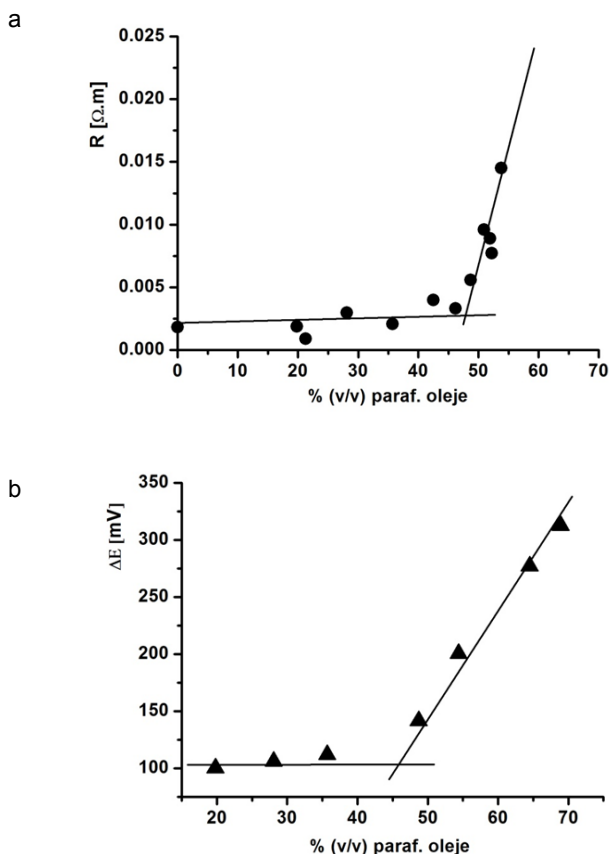
Vhodnou a často používanou metodou pro studium elektrochemických reakcí na elektrodovém povrchu je cyklická voltametrie (CV). Ideální pro elektrochemickou charakterizaci je použití modelových systémů o známém mechanismu průběhu elektrodové reakce. Jedná se jak o redox systémy organického i anorganického typu, zde je několik příkladů:

Fe(II)/Fe(III). Tento redox pár reprezentuje klasický reverzibilní systém. Může být použito 1M KCl jako základního elektrolytu a přibližně 1mM $K_4[Fe(CN)_6]$ (cit.^{3,7,18}). Rozdíl potenciálu katodického a anodického píku tohoto systému je teoreticky 59 mV. Prakticky je tato hodnota obvykle vyšší a v případě uhlíkových past, vlivem vyšší hodnoty odporu přenosu náboje, dosahuje i hodnot přes 100 mV. Toto chování je často ovlivněno množstvím pastové kapaliny^{8,29}.

Ag⁺/Ag⁰. Studie v tomto systému doporučovali Farsang⁵ i Monien⁶ a poskytuje podobné informace popsané v předchozím odstavci. Cyklická voltametrie tohoto redox páru se obvykle provádí v prostředí dusičnanu nebo acátového pufru. Některá měření se stříbrnými ionty jsou docela užitečná pro testování CPEs při použití anodické stripping voltametrie³⁵.

Chinon/hydrochinon (Q/H₂Q). Tento redox pár je klasifikován jako „kvazi-reverzibilní“ systém, jehož kinetika závisí na typu použité elektrody. U CPEs tento systém obvykle vykazuje ireverzibilní chování^{7,15}. Cyklická voltametrie se provádí v pufrovaných roztocích o pH 2 až 10 při doporučené koncentraci 0,1 mM.

Použití modelových systémů při studiu elektrochemických vlastností CPEs je vhodné doplnit o srovnávací měření za použití některých zavedených pevných elektrod, jako jsou platinová, zlatá nebo elektroda ze skelného uhlí-



Obr. 2. Ukázky závislosti a) měrného odporu uhlíkové pasty (CR-5 s parafinovým olejem) na množství použitého pojiva; b) rozdílu potenciálů na množství použitého pojiva

ku^{6,36,37}. Testované elektrody je možné popsat i pomocí navržených indexů, kde naměřená hodnota je buď vztahována na teoretickou, nebo na hodnotu naměřenou pomocí tradičních elektrod³⁴.

7. Nové materiály – uhlíkové nanotrubičky a iontové kapaliny

Charakterizace je stále aktuálním tématem, jelikož se stále objevují nové uhlíkové materiály spolu s novými typy pojiv, které tvoří hlavní složky pastové směsi. Prvním významným krokem vpřed bylo využití uhlíkových nanotrubiček v elektrochemii a elektroanalýze s uhlíkovými pastovými elektrodami. Uhlíkové nanotrubičky (CNTs)³⁸ přinesly nové možnosti a v případě CNTPEs (z angl. carbon nanotubes paste electrodes) nahradily tradiční grafit³⁹. Později byly uhlíkové nanotrubičky využity spíše jako modifikátor CPEs (cit.⁴⁰).

První práce věnovaná tomuto tématu je ze skupiny Palleschiho⁴¹, následovaly ji i další přínosné příspěvky od skupin Rivase⁴² a Wanga⁴³, kteří se spíše zabývali využitím uhlíkových nanotrubiček v elektroanalýze a charakterizaci nových typů (bio)senzorů. Co se týče samotné charakterizace, významný je především odborný článek F. Valentini⁴⁴, která se věnuje: *i*) čistotě uhlíkových nanotrubiček, *ii*) optimálnímu složení uhlíkové pasty a *iii*) elektrochemické reaktivitě směrem k aplikacím v oblasti biosenzorů. Další práce srovnává pastové elektrody z uhlíkových nanotrubiček s ostatními elektrodovými materiály, jako jsou skelný uhlík a platina, jde jak o základní srovnání významných fyzikálně-chemických parametrů, tak i o srovnání elektrochemických vlastností v různých redox systémech (např. hexakynoželezitan, ferrocenmonokarboxylová kyselina, dopamin)⁴⁵. Uhlíkové nanotrubičky se uplatňují nejen v elektrochemii, ale i v jiných oblastech chemických věd, to dokládá přehledová práce Arbena Merkcioho⁴⁶.

V posledních deseti letech se staly populárními iontové kapaliny RTILs (z angl. room-temperature ionic liquids) a díky jejich vlastnostem došlo i na jejich využití v oblasti uhlíkových pastových elektrod^{47–49}. Použitím iontových kapalin jako pojiva CPE se ve svých pracích zabývali Liu⁴⁸ a Safavi⁵⁰ a stejně jako v případě uhlíkových nanotrubiček vznikly dva typy nových uhlíkových pastových elektrod, *(i)* CILEs (carbon ionic liquid electrodes); *(ii)* IL-CPEs (“ionic liquid-modified carbon paste electrodes”)⁴¹, přičemž ve druhém případě bývá iontová kapalina použita jako další složka a slouží jako speciální modifikátor. U všech výše uvedených typů nových CPEs byla provedena nezbytná základní charakterizace, jelikož iontové kapaliny významně mění vlastnosti elektrodového materiálu (např. změny vodivosti, elektrokatalytické jevy, velikost nabíjecího proudu, aj.)^{50–52}.

8. Závěr

Mnoho uživatelů připravuje uhlíkové pastové elektrody buď intuitivně, nebo podle doporučených a zavedených postupů a doufají, že jejich pastové směsi budou mít srovnatelné fyzikálně-chemické a elektrochemické vlastnosti. Obzvláště ti, kteří se setkávají s CPEs poprvé, na tyto zavedené postupy spoléhají a často je aplikují i na zcela nové komponenty pastové směsi. Jak vyplývá z výše uvedeného textu, je doporučeno a víceméně nutné provést u každé nové pasty alespoň základní charakterizaci. Charakterizace využívající měření ohmického odporu nejenže jsou prvním vodítkem a představou o chování příslušné pasty, ale představují i jednoduchý nástroj k takové první studii. Lze namítat, že tyto experimenty mohou být časově náročné, ale zcela jistě přinesou své ovoce, jelikož se získá základní informace o vhodném složení pastové směsi. Zároveň se tak vyhneme zdoluhavému hledání optimálního složení pasty požadovaných vlastností během elektroanalytických experimentů.

Tato práce vznikla za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky projektu CZ.1.07/2.3.00/30.0021 „Posílení excelentních týmů výzkumu a vývoje na Univerzitě Pardubice“.

LITERATURA

- Adams R. N.: *Anal. Chem.* 30, 1576 (1958).
- Tatsumi H., Shiba M.: *Electrochem. Commun.* 20, 160 (2012).
- Olson C., Adams R. N.: *Anal. Chim. Acta* 22, 582 (1960).
- Olson C., Adams R. N.: *Anal. Chim. Acta* 29, 358 (1963).
- Farsang G.: *Acta Chim. Hung.* 45, 163 (1965).
- Monien H., Specker H., Zinke K.: *Fresenius' J. Anal. Chem.* 225, 342 (1967).
- Lindquist J.: *J. Electroanal. Chem.* 52, 37 (1974).
- Rice M. E., Galus Z., Adams R. N.: *J. Electroanal. Chem.* 143, 89 (1983).
- Urbaniczky C., Lundström K.: *J. Electroanal. Chem.* 176, 169 (1984).
- Švancara I., Vytřas K., Kalcher K., Walcarus A., Wang J.: *Electroanalysis* 21, 7 (2009).
- Švancara I., Hvizdalová M., Vytřas K., Kalcher K., Novotný R.: *Electroanalysis* 8, 61 (1996).
- Kalcher K., Kauffmann J. M., Wang J., Švancara I., Vytřas K., Neuhold C., Yang Z.: *Electroanalysis* 7, 5 (1995).
- Švancara I., Mikysek T., Stočes M., J. L., v knize: *Graphite: Properties, Occurrences and Uses*, str. 163. Nova Science Publishers, New York 2013.
- Švancara I., Kalcher K., Walcarus A., Vytřas K.: *Electroanalysis with Carbon Paste Electrodes*. CRC Press, Boca Raton 2012.

15. Adams R. N.: *Electrochemistry at Solid Electrodes*. Marcel Dekker, New York 1969.
16. Švancara I., Vytřas K., Renger F., Smyth M. R.: Sb. Ved. Pr., Vys. Sk. Chemickotechnol. Pardubice 56, 21 (1992).
17. Švancara I., Vytřas K.: Chem. Listy 88, 138 (1994).
18. Hvizdalová M.: *Diplomová práce*, Univerzita Pardubice, Pardubice 1994.
19. Kalcher K., Švancara I., Metelka R., Vytřas K., v knize: *Encyclopedia of Sensors* (Grimes C. A., Dickey E. C., Pishko M. V., ed.), str. 283. American Scientific Publishers, New York 2006.
20. Adams R. N.: Rev. Polarog. (Kyoto) 11, 71 (1963).
21. Engstrom R. C., Johnson K. W., Desjarlais S.: Anal. Chem. 59, 670 (1987).
22. Wang J., Martinez T., Yaniv D. R., McCormick L.: J. Electroanal. Chem. 286, 265 (1990).
23. Metelka R., Vytřas K., Bobrowski A.: J. Solid State Electrochem. 4, 348 (2000).
24. Harak D. W., Mottola H. A.: Langmuir 11, 1605 (1995).
25. Lubert K.-H., Guttman M., Beyer L., Kalcher K.: Electrochem. Commun. 3, 102 (2001).
26. Švancara I., Baldrianová L., Tesařová E., Vlček M., Vytřas K., Kalcher K., ed.), Sv. 2, str. 35. University Press Centre, Pardubice 2007.
27. Zima J., Barek J., Muck A.: Rev. Chim. (Bucharest) 55, 657 (2005).
28. Švancara I., Schachl K.: Chem. Listy 93, 490 (1999).
29. Kauffmann J. M., Prete M. P., Vire J. C., Patriarce G. J.: Z. Anal. Chem. 321, 172 (1985).
30. Grimmet G.: *Percolation*. Springer, Berlin 1999.
31. Mikysek T., Stočes M., Švancara I., Ludvík J.: RSC Advances 2, 3684 (2012).
32. Mikysek T., Stočes M., Jovanovski V., Sopha H., Švancara I., Ludvík J., v knize: *Sensing in Electroanalysis* (Kalcher K., Metelka R., Švancara I., Vytřas K., ed.), Sv. 6, str. 157. University Press Centre, Pardubice 2011.
33. Mikysek T., Stočes M., Švancara I., Ludvík J., v knize: *Sensing in Electroanalysis* (Vytřas K., Kalcher K., Švancara I., ed.), Sv. 5, str. 69. University Press Centre, Pardubice 2010.
34. Mikysek T., Švancara I., Kalcher K., Bartoš M., Vytřas K., Ludvík J.: Anal. Chem. 81, 6327 (2009).
35. Švancara I., Kalcher K., Diewald W., Vytřas K.: Electroanalysis 8, 336 (1996).
36. Švancara I., Pravda M., Hvizdalová M., Vytřas K., Kalcher K.: Electroanalysis 6, 663 (1994).
37. Galus Z., Adams R. N.: J. Phys. Chem. 67, 866 (1963).
38. Iijima S.: Nature 354, 56 (1991).
39. Rubianes M. D., Rivas G. A.: Electrochem. Commun. 5, 689 (2003).
40. Wang J.: Electroanalysis 17, 7 (2005).
41. Švancara I., Walcarius A., Kalcher K., Vytřas K.: Cent. Eur. J. Chem. 7, 598 (2009).
42. Rivas G. A., Rubianes M. D., Pedano M. L., Ferreyra N. F., Luque G. L., Rodríguez M. C., Miscoria S. A.: Electroanalysis 19, 823 (2007).
43. Lawrence N. S., Deo R. P., Wang J.: Talanta 63, 443 (2004).
44. Valentini F., Amine A., Orlanducci S., Terranova M. L., Palleschi G.: Anal. Chem. 75, 5413 (2003).
45. Antiochia R., Lavagnini I., Magno F., Valentini F., Palleschi G.: Electroanalysis 16, 1451 (2004).
46. Merkoçi A.: Microchim. Acta 152, 157 (2006).
47. Tiyapiboonchaiya C., Pringle J. M., MacFarlane D. R., Forsyth M., Sun J.: Macromol. Chem. Phys. 204, 2147 (2003).
48. Liu H., He P., Li Z., Sun C., Shi L., Liu Y., Zhu G., Li J.: Electrochem. Commun. 7, 1357 (2005).
49. Rozniecka E., Shul G., Sirieix-Plenet J., Gaillon L., Opallo M.: Electrochem. Commun. 7, 299 (2005).
50. Maleki N., Safavi A., Tajabadi F.: Anal. Chem. 78, 3820 (2006).
51. Liu H., He P., Li Z., Liu Y., Li J., Zheng L.: Electrochem. Solid-State Lett. 8, J17 (2005).
52. Shul G., Murphy M. A., Wilcox G. D., Marken F., Opallo M.: J. Solid State Electrochem. 9, 874 (2005).

T. Mikysek, M. Stočes, I. Švancara, and K. Vytřas
(Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice): **Potentials in Characterisation of Carbon Paste Electrode**

The review offers an overview of potential characterisation methods for carbon paste electrodes. It may also serve as a guide for further research of their applications.