



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

ÚSTAV CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ
LABORATOŘ AKUMULACE ENERGIE

FUNKČNÍ VZOREK

***CELA PRO MĚŘENÍ PŘÍČNÉHO ODPORU
VODIVÝCH PLOŠNÝCH VZORKŮ***

Autoři:

*Ing. Jiří Vrána
Bc. Martin Pecha
Ing. Jan Dundálek
Ing. Petr Mazúr, Ph.D.
Ing. Jaromír Pocedič, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Juraj Kosek*

Číslo výsledku:

LES-2016-02

Odpovědný pracovník:

Ing. Jiří Vrána

Vedoucí laboratoře:

doc. Dr. Ing. Juraj Kosek

Vedoucí ústavu:

prof. Ing. Michal Příbyl, Ph.D.

PRAHA, ČERVENEC 2016

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: CI

Uplatněn: ANO

Poznámka:

Název výsledku česky:

Laboratorní zařízení pro měření odporu vodivých plošných vzorků

Název výsledku anglicky:

Laboratory device for measurement of conductive flat samples

Abstrakt k výsledku česky:

Prezentovaný funkční vzorek skládající se z cely a ohmmetru umožňující charakterizaci příčného odporu vodivých plošných vzorků vyrobených z kovů či jejich slitiny a grafitu a jeho kompozitů s vhodným pojivem. Cella je konstruována na kruhové vzorky o průměru až 53 mm a tloušťce až 10 mm, přičemž měřicí prostor cely je kryt skleněným válcem. Určení odporu probíhá na základě sledování poklesu elektrického napětí na vzorku pomocí měřicích elektrod při průchodu konstantního proudu vzorkem z budících elektrod. Cella může být umístěna na váhu a pomocí závitu může být nastaven přesně definovaný přítlak. Cella může být rovněž umístěna i se vzorkem do pneumatického lisu, který umožňuje dosažení přítlaků o mnoho řádů vyšších.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The functional specimen represents laboratory apparatus allowing a characterization of a through-plane resistance of highly conductive flat samples. Materials suitable for the resistance characterization are usually metals, alloys, graphite and its composites with appropriate binders. The cell is designed to measure samples with a diameter of up to 53 mm and with a thickness of up to 10 mm and a measuring space of the cell is covered by glass cylinder. The resistance is determined from a voltage drop between sense electrodes while a constant electric current is passing through the sample between working electrodes. The cell allows measurement at defined pressure when it is placed on scales with a pressure screw or on a pneumatic press which allows reaching of higher pressures.

Klíčová slova česky:

příčný odpor, čtyřelektrodové měření odporu, vodivost

Klíčová slova anglicky:

through-plane resistance, four-electrode resistance measurement, conductivity

Vlastník výsledku: *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*

IČ vlastníka výsledku: 60461373

Stát: *Česká republika*

Lokalizace: *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze,
Ústav chemického inženýrství, Laboratoř
akumulace energie*

Licence: *ne*

Licenční poplatek: *ne*

Ekonomické parametry: *Cela umožňuje rychlé a dostatečné testování
problematicky stanovitelného příčného odporu
plošných vzorků vodivých materiálů a může být
použita při vývoji nebo inovaci takových
materiálů.*

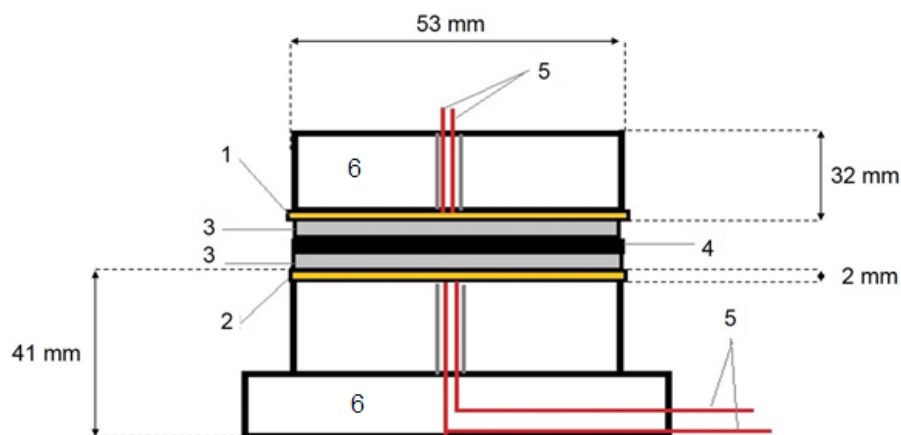
Technické parametry: *Cela umožňuje měření kruhových vzorků o
maximálním průměru 53 mm a maximální tloušťce
10 mm.*

Kategorie nákladů: *výše nákladů ≤ 5 mil.*

Popis funkčního vzorku

Moderní ploché vodivé materiály, které jsou v současnosti vyvíjeny, nalézají celou řadu použití. Často se jedná o materiály, které mohou mít využití v elektrochemických reaktorech, kde slouží jednak jako elektrody a zároveň jako oddělovače jednotlivých elektrochemických článků. Příkladem těchto reaktorů jsou deskové elektrolyzéry, palivové články nebo průtočné baterie. Společnou vlastností materiálů používaných pro oddělení elektrochemických článků těchto reaktorů je dostatečně vysoká elektrická vodivost. Odpor těchto materiálů totiž z technologického hlediska zásadně ovlivňuje účinnost takových systémů.

Ověřování vodivosti (resp. odporu) vzorků z takových materiálů vyžaduje jednoduchou univerzální a robustní metodu. Důležitou podmínkou je rovněž reprodukovatelnost měření a dostatečná přesnost.

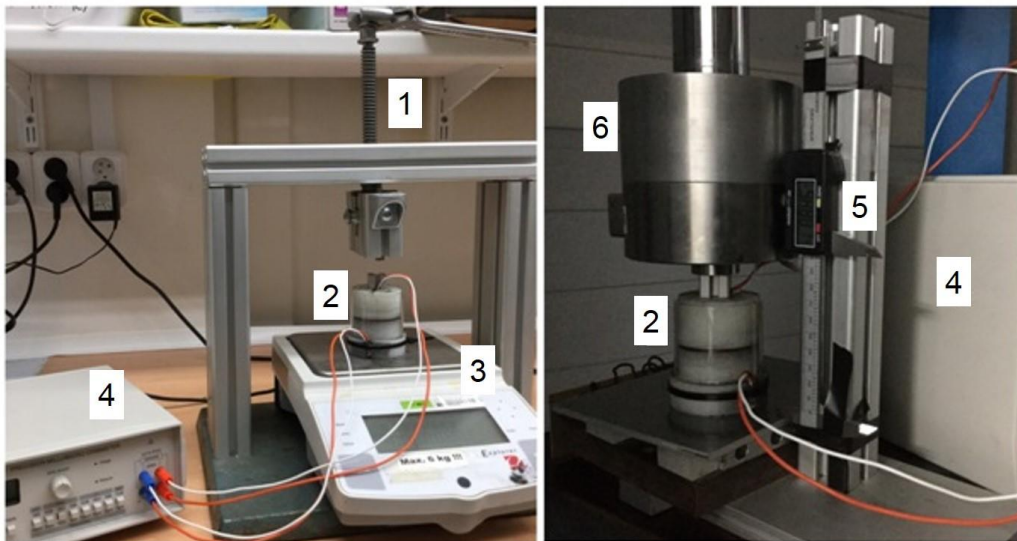


Obrázek 1: Schéma konstruované cely (1 a 2 – měděné elektrody, 3 – kompenzační vrstva, 4 – vzorek, 5 – elektrody vedoucí k ohmmetru, 6 – konstrukční části cely).

Zkonstruovaná cela je zobrazena na Obrázku 1. Samotná cela se skládá z několika částí. Bílé části spolu s převlečeným skleněným válcem tvoří základ mechanické konstrukce. Bílé podpurné části jsou frézovány z polyvinylidenfluoridu, který je dostatečně nevodivým materiálem, aby nevnášel systematickou chybu do měření odporu. Spodní část konstrukce funguje jako statická podložka, která v drážce drží převlečný skleněný válec, vrchní část konstrukce je pak pohyblivá. V konstrukčních částech jsou otvory umožňující přivedení vodičů elektrod. Jako elektrody fungují měděné plechy (tloušťka 2 mm, průměr 5,3 cm). Ve středu měděných elektrod je pak napájený vodič měřící a budící elektrody. Mezi elektrody je vkládán měřený vzorek, volitelnou součástí je pak úprava povrchu elektrod kompenzační vrstvou z vysoce vodivého materiálu, který umožňuje tlumit nerovnosti na povrchu vzorku nebo mikroskopické nerovnosti na povrchu měděné elektrody a zároveň snížit přechodový odpor elektroda-vzorek.

Použití měděných elektrod určuje spodní limit vodivosti měřených materiálů. Měděný plech má měrný odpor $1.7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$. Plech je kontaktován vodičem pájeným spojem o průměru 3 mm. Pro zachování přesnosti měření je nutné, aby elektrické pole uvnitř vzorku bylo homogenní, proto musí být měrný odpor vzorku minimálně řádu $10^{-6} \Omega \text{ m}$. Při splnění této podmínky může být odpor měděných elektrod zanedbán a elektrické pole vytvářené ve vzorku je prakticky homogenní.

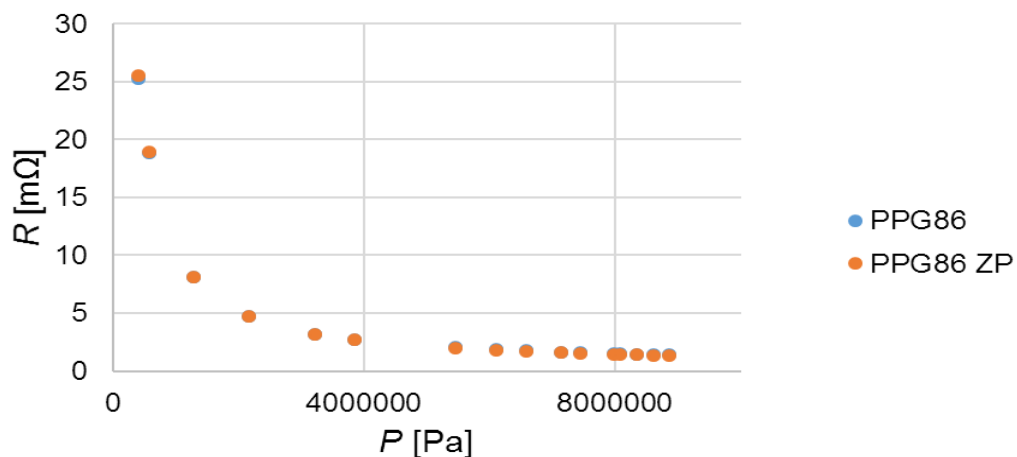
Konstrukce cely umožňuje i měření za zvýšených tlaků. Cela může být umístěna na pneumatický lis (Obrázek 2 vpravo), který umožňuje měřit při přítlaku až 89 MPa, pro jemnější měření při nižších přítlacích byla z hliníkových profilů zkonstruována konstrukce s přítlačným šroubem (Obrázek 2 vlevo). Přesný přítlak je kontrolován pomocí digitální váhy. Rozsah tlaků této aparatury je 0 – 22 kPa.



Obrázek 2: Aparatura pro měření příčného odporu při nižších (vlevo) a vyšších (vpravo) přítlačích (1 – kompresní šroub s trapézovým závitem, 2 – měřící cela, 3 – digitální váha, 4 – ohmmetr, 5 – měření průhybu lisu, 6 – hlava pneumatického lisu)

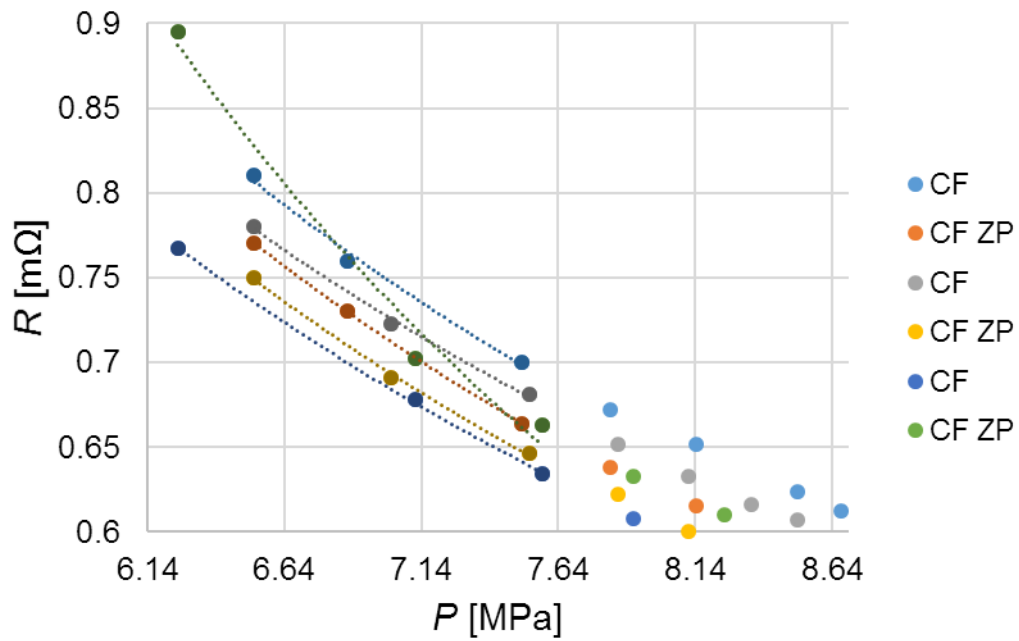
Použití zařízení

Aparatura byla testována pomocí standardního vzorku bipolární desky Eisenhuth PPG86, jejíž výrobcem uváděná rezistivita je $550 \mu\Omega \text{ m}^{-2}$. Průběh závislosti odporu vzorku PPG86 včetně kompenzační vrstvy z uhlíkové plsti na tlaku je uveden v Obrázku 3.



Obrázek 3: Výsledky měření dvou vzorků vodivého uhlíkového kompozitu PPG 86 umístěné v aparatuře, přechodový odpor byl tlumen kompenzační vrstvou.

Z výsledků je patrné, že při nižších přítlačích se zásadně na odporu podílí přechodové odpory a nedostatečně přitlačená kompenzační vrstva. Reprodukovatelnost měření vzorků včetně kompenzační vrstvy byla podrobněji studována. Bylo proměřeno šest vzorků etalonu s novými kompenzačními vrstvami z uhlíkové plsti. Výsledky kalibračních měření jsou uvedeny v Obrázku 4. Z výsledků je patrné, že měření je poměrně reprodukovatelné, nicméně může být ovlivněno nehomogenitami ve strukturách vzorků.



Obrázek 4: Testovací měření několika vzorků uhlíkového kompozitu PPG 86.

Vlastnosti zařízení

Aktivní plocha	22 cm ²
Průměr měřeného kruhového vzorku	53 mm
Minimální tloušťka měřeného vzorku	1 mm
Maximální tloušťka měřeného vzorku	10 mm
Minimální rezistivita měřeného vzorku	10 ⁻⁶ Ω m