

## **SIMULATION OF THE CURRENT DISTRIBUTION OVER THE ELECTRODE SURFACE IN A LEAD-ACID CELL WITH HELP OF THE SOFTWARE ANSYS - STATIC STATE**

**P. Bača\*, P. Křivák\*, P. Král\*, M. Calábek\***

**Summary** *The current distribution over the plate surface in lead-acid cells was determined mathematically by using the equivalent circuit method. The dependence of the internal cell resistance on the current and charge passed was determined by measurements on a laboratory cell. Cell variants were considered differing by the location of tabs serving as current terminals. To make the current distribution nearly uniform, extended current tabs located at opposite ends of the plate electrodes were proposed.*

### **1. Úvod**

Je všeobecně známo, že vlastnosti libovolného elektrochemického zdroje proudu jsou kromě jiného nepříznivě ovlivňovány nerovnoměrnou distribucí proudu po povrchu elektrody. Ta je v důsledku ohmických ztrát obecně tím méně rovnoměrná, čím vyšší je rychlost vybíjení a čím větší elektrody jsou. Výrobci se snaží toto nerovnoměrné proudové zatížení elektrod eliminovat vhodnou konstrukcí kolektorů, přičemž vlastní konstrukce většinou vychází z praxe bez ověření výsledného proudového rozložení. Vhodnost, nebo nevhodnost daného tvaru kolektoru se snaží prokázat tato práce, která na základě matematického modelování (s využitím programu ANSYS) zjišťuje skutečné proudové rozložení po povrchu kolektoru.

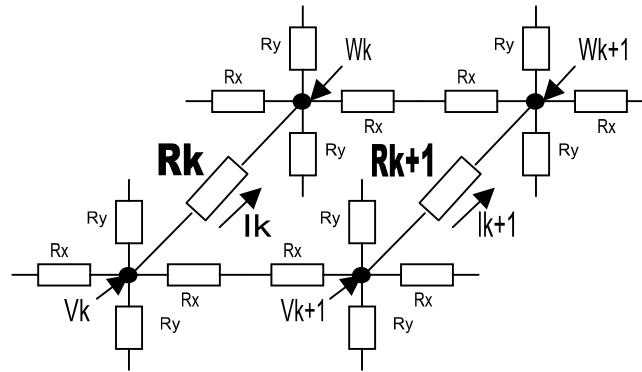
### **2. Výpočtový model.**

Model je tvořen 1D lineárními prvky s odporovou charakteristikou uspořádanými tak, aby vytvořily síť představující aktivní hmotu obklopenou dvěma olověnými mřížkami. Vstupní předpoklady jsou následující:

1. odpor olověné mřížky je v čase neměnný
2. vliv teploty je zanedbatelný
3. neuvažuje se vliv přechodných dějů způsobených prvotním sepnutím obvodu.

---

\* \* Ing. Petr Bača, Ph.D., Ing. Petr Křivák, Ph.D., Ing. Petr Král, Ph.D., Doc. RNDr. Milan Calábek, CSc.: Ústav elektrotechnologie, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno, tel.: 420 541 146 188, fax: +420 541 146 147



Detail uspořádání sítě

Zde  $R_k, R_{k+1}$  je  $k$ -tý a  $k+1$  prvek reprezentující vnitřní odpor elementární části startovacího olověného akumulátoru

$R_x, R_y$  jsou prvky reprezentující vertikální a horizontální odpor mřížky

$V_k, W_k, V_{k+1}, W_{k+1}$  jsou uzlové potenciály

$I_k, I_{k+1}$  jsou proudy tekoucí prvky  $R_k, R_{k+1}$

Rozložení potenciálů v uzlech a velikost jednotlivých proudů tekoucích prvky reprezentující aktivní hmotu lze nalézt pomocí prvního a druhého Kirchhoffova zákona.

$$\sum_j I_j = 0 \quad \text{v uzlu } j$$

$$\sum_m U_m = 0 \quad \text{ve smyčce } m$$

Aplikací obou těchto zákonů na celou síť prvků získáme lineární soustavu rovnic, jejíž vyřešením obdržíme hledané rozložení potenciálů a proudů. Toto řešení je platné pro jeden časový okamžik. Znalostí funkční závislosti odporu aktivní hmoty na čase  $R_k=f(t)$  (přesněji  $R_k=f[i(t),q(t)]$ ), lze nalézt také řešení rozložení potenciálu a proudu v čase. V podstatě se jedná o linearizaci problému, neboť přestože závislost odporu aktivní hmoty na čase je nelineární, tak rozdělením časového intervalu  $t$  na konečný počet subintervalů  $dt$  je tato nelinearita po částech linearizována a vyřešením lineární soustavy rovnic v každém intervalu  $dt$  obdržíme hledané řešení rozložení potenciálů a proudů v časovém intervalu  $t$ .

### 3. Výsledky měření a jejich diskuze

Výsledky matematického modelování rozložení proudu v reálném článku na počátku vybíjení (tj. v okamžiku, kdy přechodné děje způsobené připojením zátěže již odezněly a polarizace elektrody je lineární funkcí proudové hustoty) byly graficky vyhodnoceny v rojrozměrném zobrazení. Bylo vyhodnoceno celkem 6 variant systémů lišících se umístěním proudových

praporců – viz Obr. 1. až 6. Velikost proudu je zde vynášena na svislou osu a jednotlivé ekviproudé hladiny jsou znázorněny rozdílnou intenzitou šedi.

Největší míru nerovnoměrnosti distribuce proudu vykazují varianty s praporci obou elektrod umístěných ve stejném místě ať v rozích (Obr. 1.), nebo uprostřed horního okraje mřížek (Obr. 2.). Tento extrémní případ není v technické praxi z praktických důvodů zpravidla používán, nicméně některé konstrukce mřížek se variantě na Obr. 2. značně blíží.

U startovacích akumulátorů je nejčastěji používána varianta reprezentovaná na Obr. 3., kde jsou praporce umístěny v opačných rozích na horním okraji mřížek. Z hlediska proudového rozložení však tato varianta zdaleka není nejvhodnější. Varianty z Obr. 4. a 5. jsou obdobou variant Obr. 3. a 2. s tím, že praporce jedné mřížky jsou na horní a druhé na spodním okraji. Tyto varianty vykazují výrazně menší nerovnoměrnost distribuce proudu, i když do určité míry komplikují konstrukční řešení akumulátoru.

Nejmenší nerovnoměrnost distribuce proudu byla pozorována u varianty na Obr. 6., kde jsme zadali ekvipotencialní protilehlé okraje obou kolektorů. Za těchto podmínek by nerovnoměrnost měla být nulová a rozložení proudu stejnoměrné po celé elektrodě. Jistá nerovnoměrnost, jež je patrná z grafu, je způsobena silnějšími krajními žebry s výrazně menším odporem v porovnání s odporem jednotlivých žebřů.

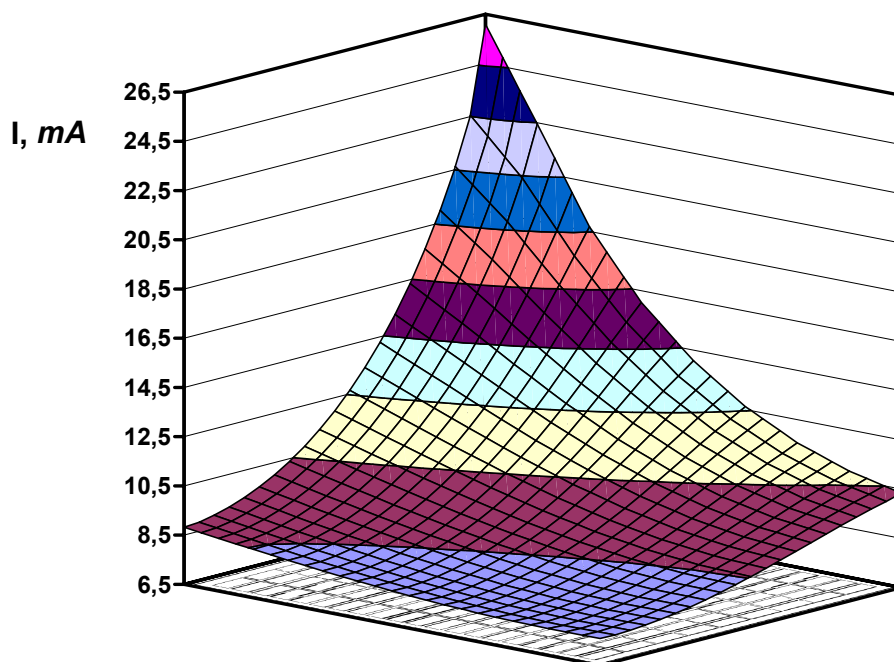
#### **4. Závěr**

Matematická analýza modelových článků potvrdila správnost našich předchozích výsledků založených na elektrických měřeních [1]. Tato metoda umožňuje optimalizovat kolektory olověných akumulátorů bez složitých laboratorních měření a vyhodnocování. Je zřejmé, že při znalosti chování vnitřního odporu akumulátoru v průběhu vybíjení bude možno touto metodou modelovat proudové rozložení po ploše elektrody v celém průběhu vybíjení.

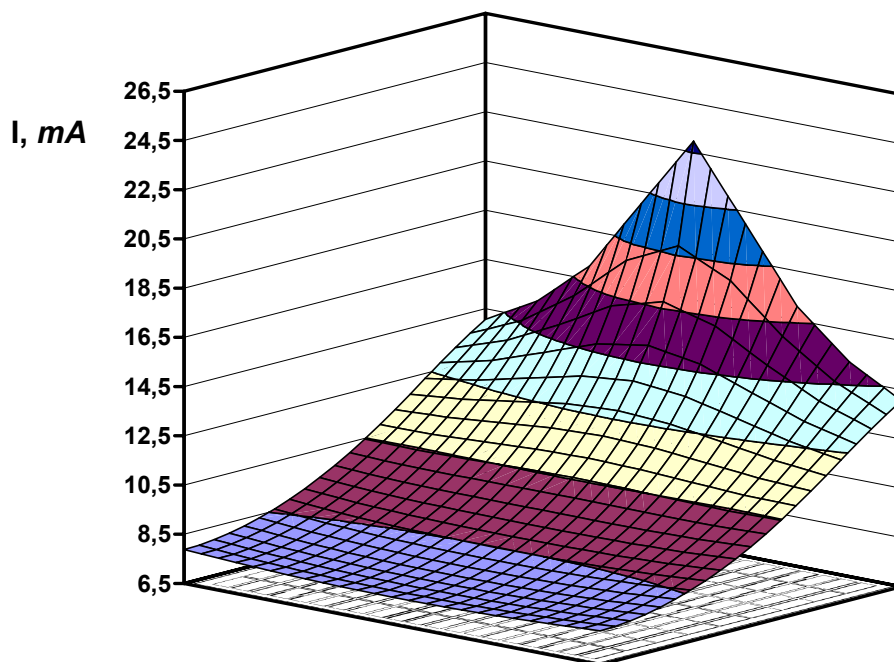
Tato práce byla podporovaná Grantovou agenturou České republiky (102/02/0794)

#### **5. Literatura**

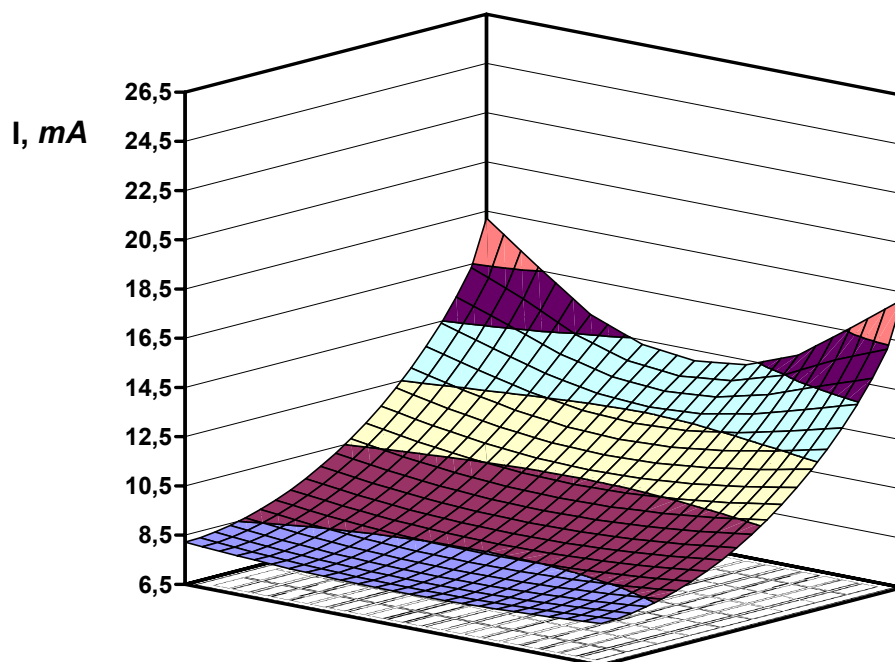
[1] Bača P., Calábek M., Křivák P., 22. chemické zdroje proudu (1999), 48



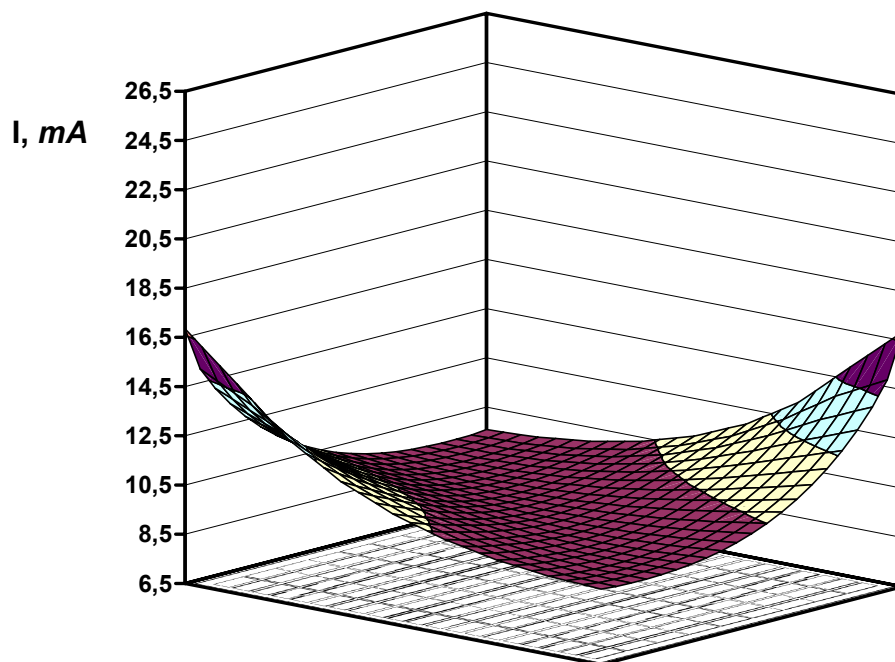
Obr. 1. Rozložení proudu po ploše elektrod, praporce umístěny na kraji horního okraje kolektoru



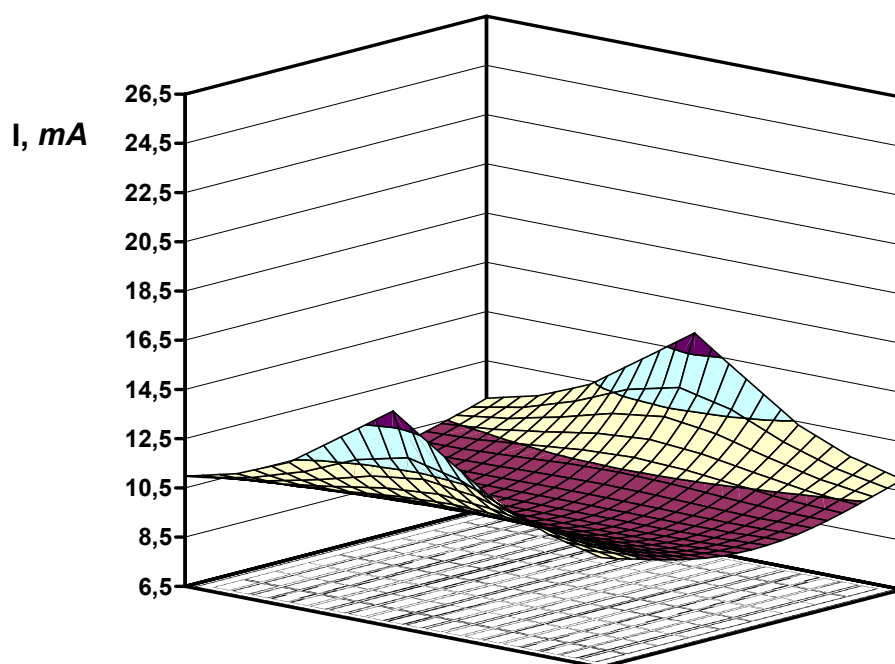
Obr. 2. Rozložení proudu po ploše elektrod, praporce umístěny uprostřed horního okraje kolektoru



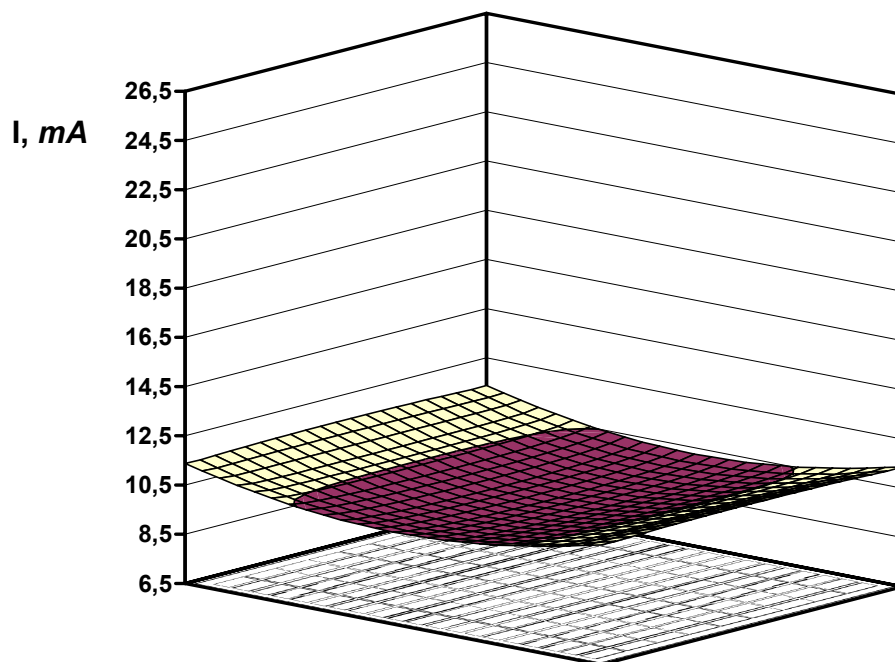
Obr. 3. Rozložení proudu po ploše elektrod, praporce umístěny na protilehlých krajích horního okraje kolektoru



Obr. 4. Rozložení proudu po ploše elektrod, praporce umístěny na protilehlých krajích horního a spodního okraje kolektoru



Obr. 5. Rozložení proudu po ploše elektrod, praporce umístěny uprostřed horního a spodního okraje kolektoru



Obr. 6. Rozložení proudu po ploše elektrod, svislé okraje kolektorů leží na stejné hladině potenciálu.