

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

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

Summary: *The current distribution over the plate surface in lead-acid cells in the course of discharge 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. Three cell variants were considered differing by the location of tabs serving as current terminals. The results are presented in the form of 3-D diagrams at various states of discharge. To make the current distribution nearly uniform, extended current tabs located at opposite ends of the plate electrodes were proposed.*

1. Úvod

Předchozí příspěvek [1] byl věnován distribuci proudu po povrchu elektrod oloveného akumulátoru pro různé varianty vstupních proudových praporců krátce po začátku vybíjení. Užitá metoda založená na matematickém výpočtu na ekvivalentním elektrickém obvodu (obr. 1) mohla být s úspěchem aplikována pro případ, kdy elektrody jsou vybíjeny konstantním proudem, způsobujícím v průběhu vybíjení změny ve vnitřním odporu článků. Vlastní výpočty byly uskutečněny pomocí programu ANSYS.

2. Výpočtový model

Změna vnitřních odporů R_{v_k} mezi jednotlivými základními elementy elektrod je v průběhu vybíjení funkcí procházejícího proudu I a prošlého náboje Q . Přesný průběh změn vnitřního odporu v průběhu vybíjení byl zjišťován na pokusném laboratorním článku pro různé vybíjecí proudy. Hodnoty vnitřního odporu R_{v_k} jednotlivých elementů článku zahrnující odpor elektrolytu, kontaktní odpor mezi mřížkou a aktivní hmotou, odpor aktivní hmoty a polarizační odpor byly proloženy náhradní matematickou exponenciální funkcí pomocí metody nejmenších čtverců:

$$R_{v_k} = 0.32 + 4.2 \cdot Q + 2.6 \times 10^{-5} \exp(730 \cdot Q + 100 \cdot I - 14) \quad (1)$$

* Ing. Petr Křivák, Ph.D., Ing. Petr Bača, 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

U pozitivní elektrody vodivost aktivní hmoty přispívá k vodivosti mřížky jen minimálně. Avšak u negativní elektrody je vodivost aktivní elektrody srovnatelná s vodivostí mřížky a proto je nutno ji brát při výpočtech v úvahu.

V předchozí práci [2] bylo zjištěno, že vodivost negativní aktivní hmoty klesá v průběhu vybíjení prakticky lineárně. Závislost odporů jednotlivých elementů aktivní hmoty na prošlém náboji Q může být vyjádřena následujícími přibližnými rovnicemi:

$$R_x = 0.5/(376.67 - 1142.9 \cdot Q) \quad (2)$$

$$R_y = 0.5/(1530 - 10286 \cdot Q) \quad (3)$$

Po aplikaci 1. a 2. Kirchhoffova zákona na uzly a smyčky pro celý ekvivalentní elektrický obvod dostaneme systém lineárních rovnic, jejichž řešení nám dává hledanou distribuci potenciálů a proudů. Abychom vzali v úvahu změny odporů s časem, výpočty byly provedeny v následujících krocích:

1. krok: $i = 1$, $t_1 = 1$ s, $\Delta t_1 = 1$ s. Počáteční hodnota $R_1 = 0.32 \Omega$ je stejná pro všechny elementy reprezentující vnitřní odpor R_{v_k} a je vypočítána distribuce potenciálů v uzlech ekvivalentního obvodu. Potenciály uzlů k -tého elementu V_k^1 and W_k^1 jsou užity pro výpočet příslušného napětí a proudu:

$$U_k^1 = V_k^1 - W_k^1, \quad I_k^1 = U_k^1 / R_k^1 \quad (4)$$

Náboj prošlý k -tým elementem je spočítán z proudu jako

$$Q_k^1 = I_k^1 \times \Delta t_1 \quad (5)$$

2. krok: $i = 2$, $t_2 = 30$ s, $\Delta t_2 = t_2 - t_1$. Vnitřní odpor odpovídající k -tému elementu je spočítán z rov. (1). Poté je opět propočítána distribuce jednotlivých potenciálů a z nich vypočítána odpovídající hodnoty napětí a proudů podobně jako v 1. kroku. Náboj prošlý k -tým elementem je pak spočítán jako

$$Q_k^2 = Q_k^1 + I_k^2 \times \Delta t_2 \quad (6)$$

Výpočet podle 2. kroku probíhá opakovaně až do hodnoty $t_n = 12000$ s (100 % vybití článku).

Interval $\Delta T = 30$ s je vhodný jelikož chyba v linearizaci je zanedbatelná. Vyšší hodnoty ΔT způsobují růst chyby linearizace, nižší hodnoty vedou ke značnému prodloužení času výpočtu.

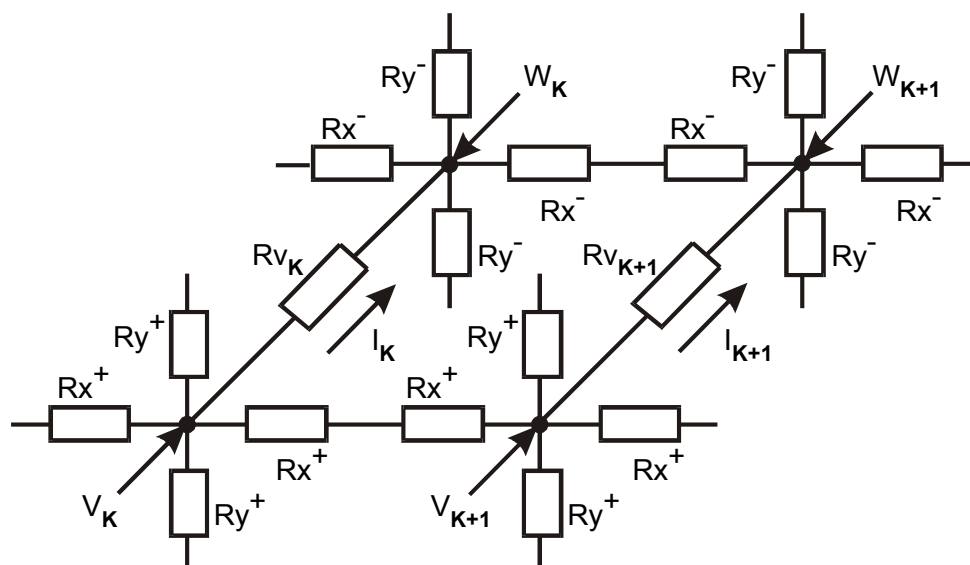
3. Výsledky a jejich diskuze

Výsledky výpočtů distribuce proudu po povrchu elektrod jsou prezentovány ve formě 3-D grafů na obr. 2 – 7 pro hodnoty Q odpovídající 0, 40, 60, 80, 90, and 100% vybití. To odpovídá vybíjecím časům 0, 80, 120, 160, 180, a 200 minut, vybíjecí proud $I = 2$ A a vybíjecí kapacita $C = 6.66$ Ah.

Jak je možno vidět na obr. 2 - 7, na počátku vybíjení jsou nejvíce vytěžovány oblasti nejbližší proudovým praporcům (lokální proud je maximální zejména poblíž proudového praporce kladné elektrody - viz. obr. 4 - 7). Tento poznatek je nejvíce zřejmý na obr. 2 a 3, kde jsou proudové praporce u sebe. Proto tyto oblasti dosáhnou vybitého stavu nejrychleji a v souvislosti s vybíjením se zde nejvíce zvyšuje vnitřní odpor. Protože vybíjecí proud zůstává konstantní, pokles proudu v těchto oblastech způsobený nárůstem odporu vede k vzrůstu proudu v dalších oblastech elektrody, původně méně proudově zatížených. To vede v průběhu

vybíjení k postupnému vytěžování všech oblastí elektrody. I přes efekt postupného vyrovnávání distribuce proudu v průběhu vybíjení, na konci vybíjení nevypadá situace pro většinu konfigurací proudových praporců uspokojivě (viz. obr. 2 – 6). Nejlepší konfigurací se zdá být poslední (s planparalelními ekvipotenciálními proudovými praporci umístěnými na protějších koncích obou elektrod) odpovídající obr. 7. Zde zůstává distribuce proudu po povrchu elektrod v celém průběhu vybíjení dostatečně vyrovnaná.

Tato práce byla sponzorována Grantovou Agenturou České Republiky (Grant č. 102/02/0794).

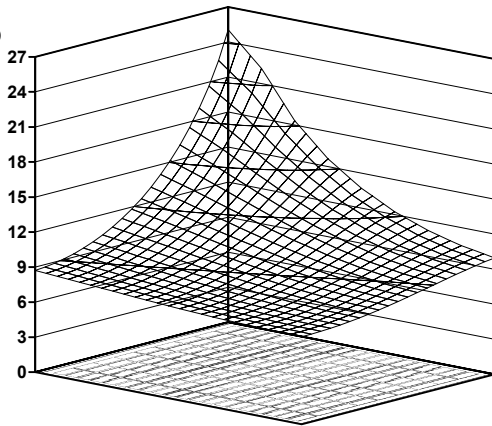


Obr. 1. Část ekvivalentního elektrického obvodu užitého pro výpočet distribuce proudu po povrchu elektrod. R_{v_k} je odpor mezi 2 odpovídajícími elementy obou elektrod. Mřížka kladné elektrody: $R_x^+ = 1.6125 \text{ m}\Omega$, $R_y^+ = 0.5375 \text{ m}\Omega$; Mřížka záporné elektrody (se zápornou aktivní hmotou v nabitém stavu): $R_x^- = 1.327 \text{ m}\Omega$, $R_y^- = 0.327 \text{ m}\Omega$; mřížka: $R_{x0} = 0.5375 \text{ m}\Omega$, $R_{y0} = 0.3583 \text{ m}\Omega$.

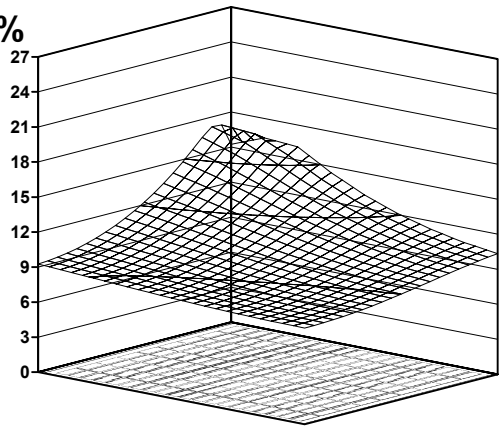
4. Literatura

- [1] P. Křivák, P. Bača, P. Král, M. Calábek, Simulation of the current distribution over the electrode surface in a lead-acid cell with help of the software ansys - dynamic state, Inženýrská mechanika 2003, #233
 [2] Bača P., Calábek M., Křivák P., 22. chemické zdroje proudu (1999), 48

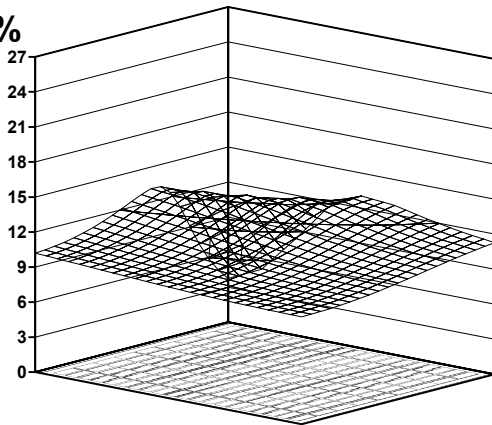
Q = 0 %
I, mA



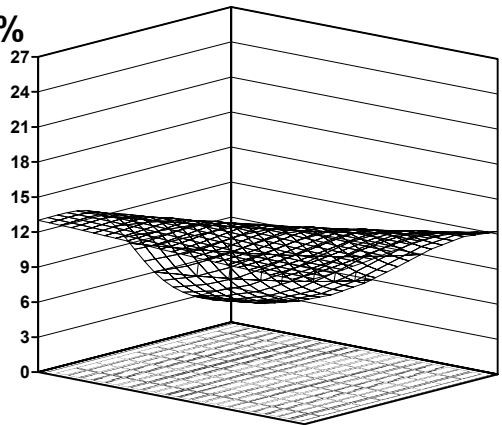
Q = 40 %
I, mA



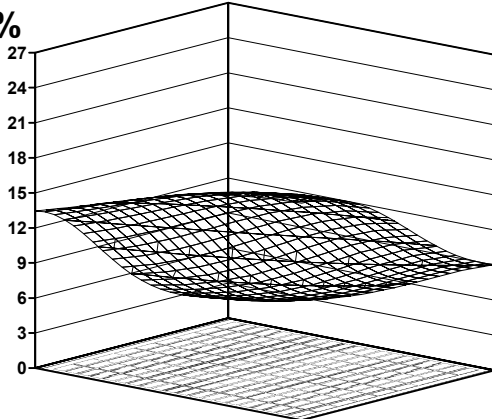
Q = 60 %
I, mA



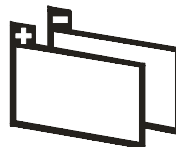
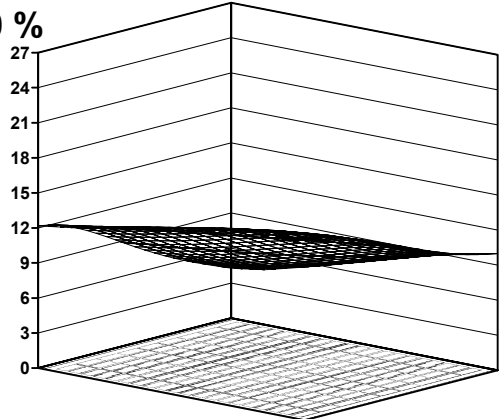
Q = 80 %
I, mA



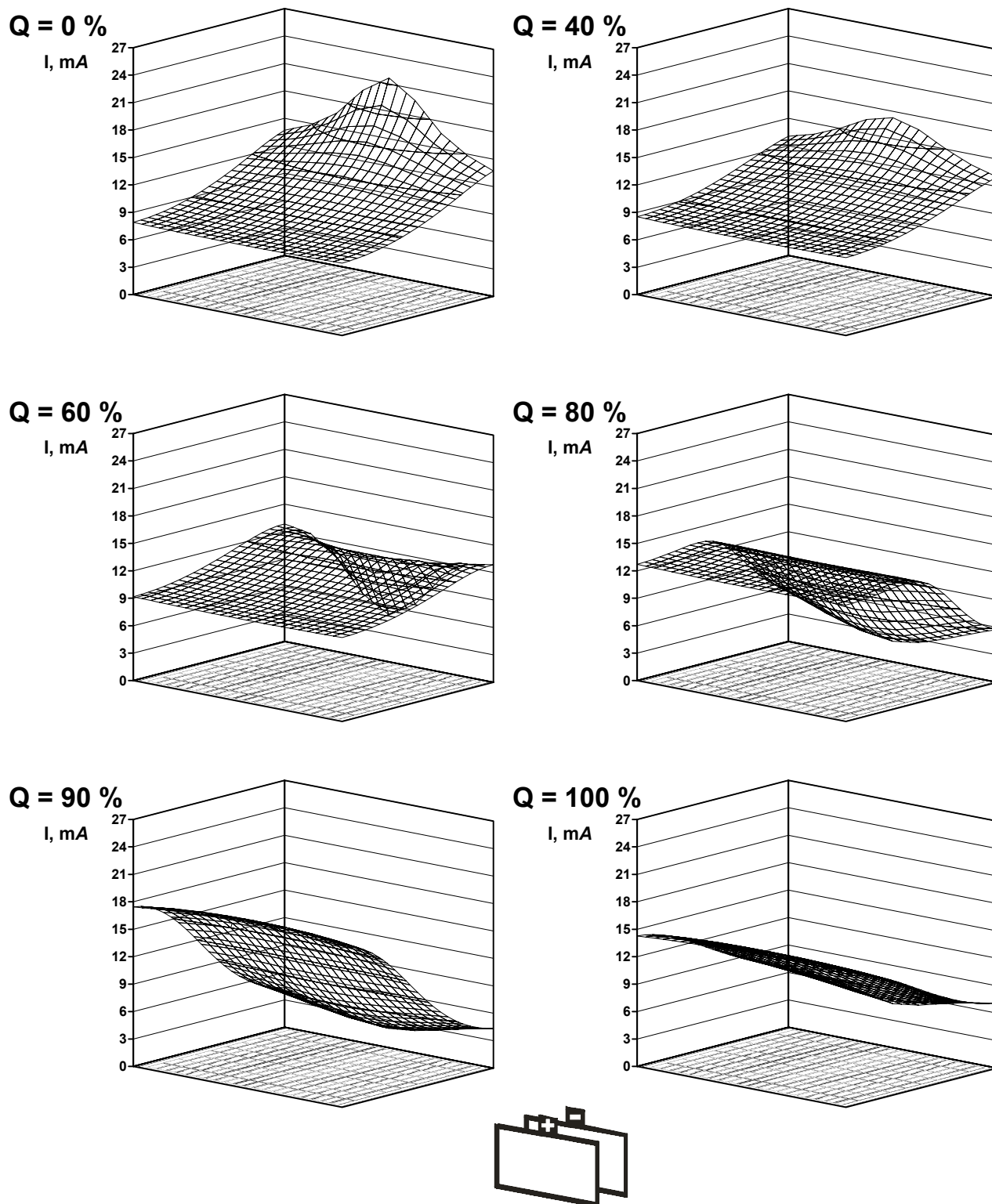
Q = 90 %
I, mA



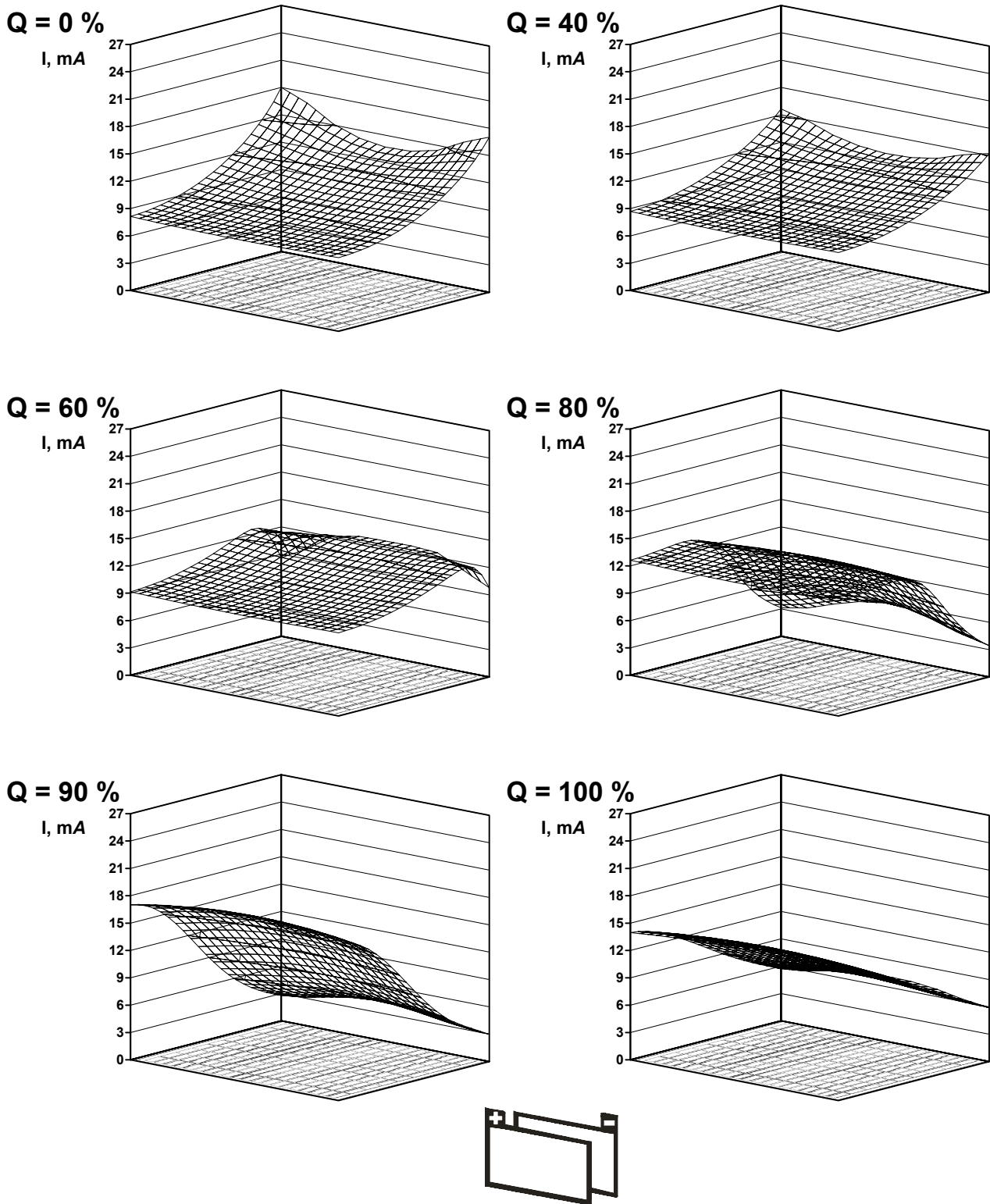
Q = 100 %
I, mA



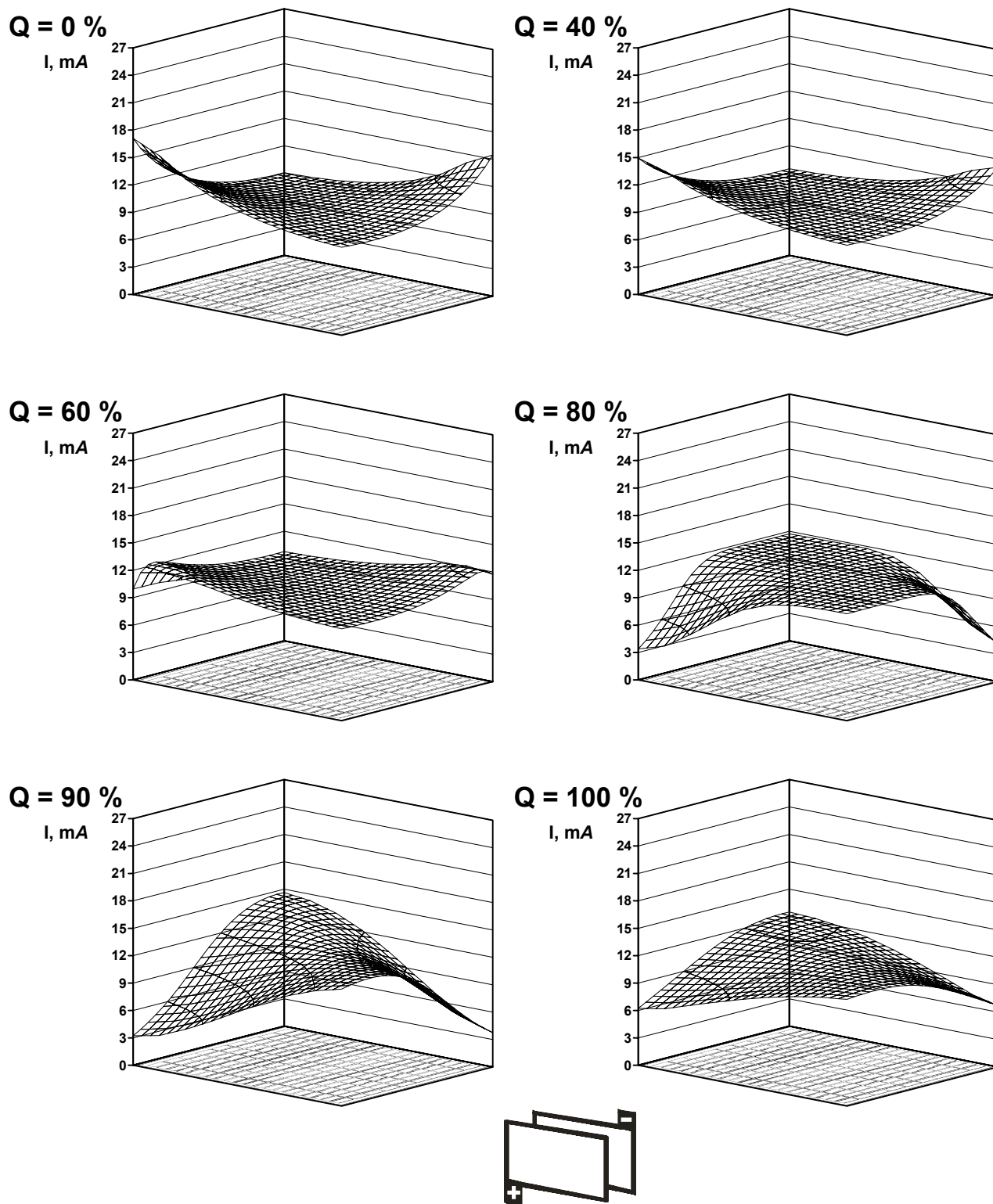
Obr. 2. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q pro nejnevýhodnější konfiguraci proudových praporců



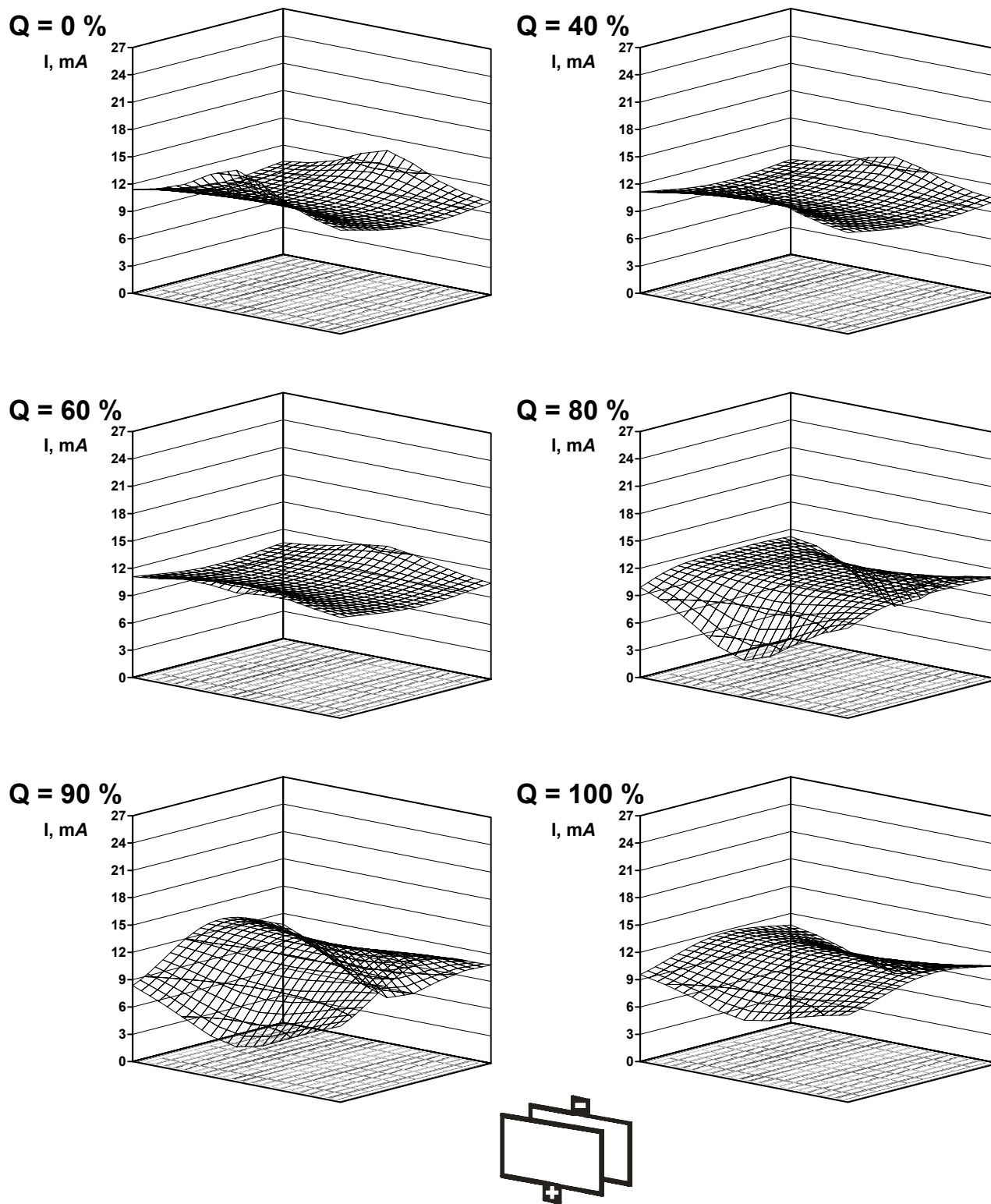
Obr. 3. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q (konfigurace proudových praporců uvedena ve spodní části obr.)



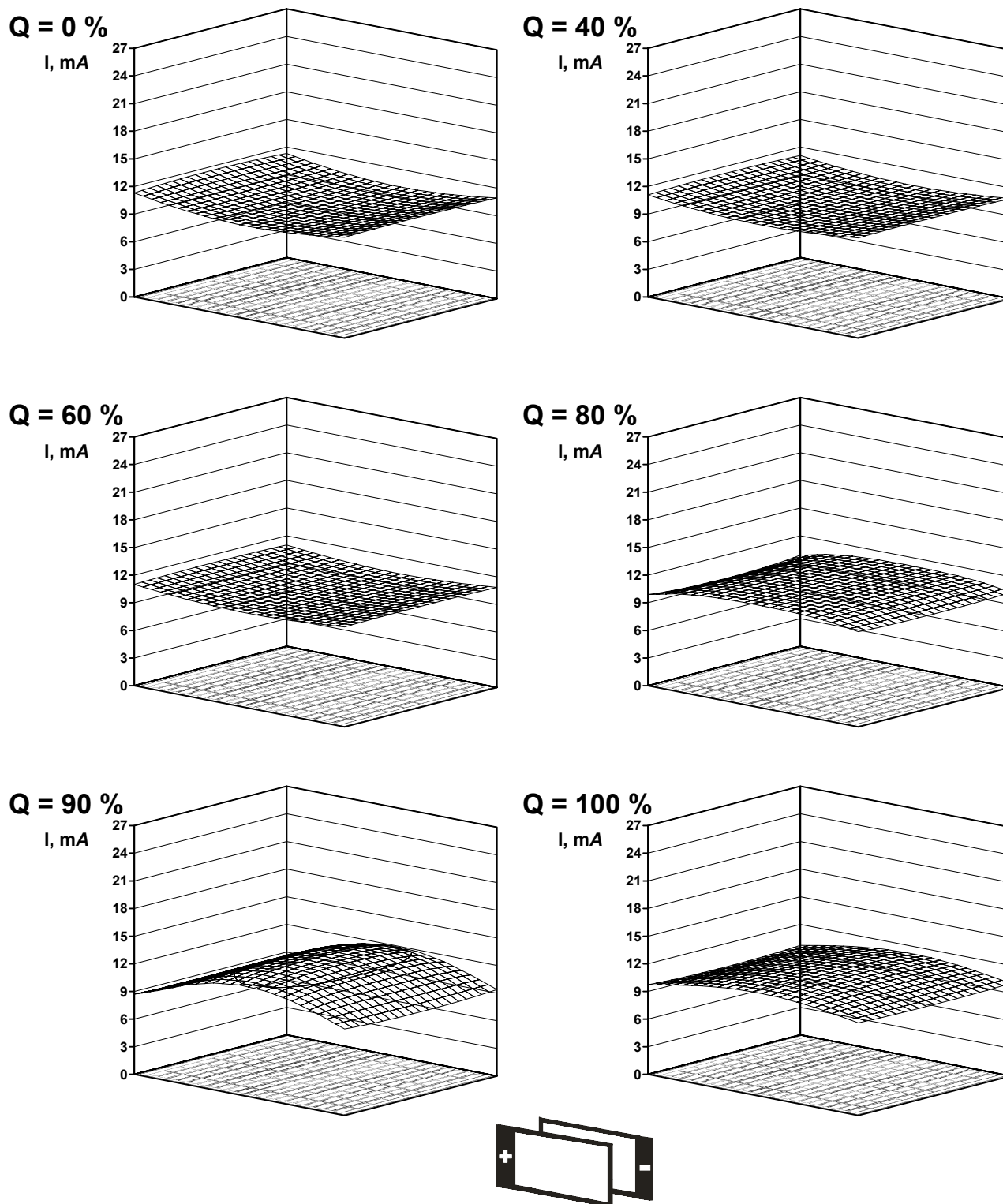
Obr. 4. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q pro nejčastěji užívanou konfiguraci proudových praporeců



Obr. 5. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q (konfigurace proudových praporců uvedena ve spodní části obr.)



Obr. 6. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q (konfigurace proudových praporců uvedena ve spodní části obr.)



Obr. 7. Distribuce proudu po povrchu elektrod při postupném vybíjení od 0 do 100% Q pro nejvýhodnější konfiguraci proudových praporců