

# ODREDJIVANJE ISKORIŠĆENJA TEHNOLOŠKOG PROCESA FORMIRANJA PLOČA Ni-Cd AKUMULATORA POMOĆU APROKSIMACIONIH DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA

*Andreja Todorović, Djukan Vukić i Novica Rakićević<sup>1</sup>*

*Ključne reči: formiranje ploča, negativna elektroda, iskorišćenja, aproksimacija, jednačina.*

## **SAŽETAK:**

*U radu je pokazano kako se, na osnovu podataka eksperimentalnih merenja napona i struje u toku odvijanja elektrohemijskog tehnološkog procesa formiranja ploča za negativne elektrode Ni-Cd akumulatora, određuju njihova iskorišćenja pomoću aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda. Metod daje veoma precizne i pouzdane rezultate u vidu numeričkih vrednosti promenljivih uz primenu računara, što omogućuje dalja istraživanja i razvoj navedenog elektrohemijskog sistema. Problematika obradjena na ovaj način može korisno poslužiti proizvođačima da kvalitetnije reše sva pitanja u cilju ostvarivanja pozitivnih tehno-ekonomskih efekata, a korisnicima pravilan izbor i dobijanje energije propisanog kvaliteta i kvantiteta iz ovih hemijskih izvora struje.*

## **1. UVOD**

Na osnovu korišćene literature iz oblasti elektrohemije [1-9], autorima ovog rada nije poznato kako se na osnovu eksperimentalnih podataka o izmerenim veličinama mogu formirati diferencijalne jednačine ili njihovi sistemi za približno određivanje karakteristika formiranih elektroda Ni-Cd elektrohemijskih sistema. Stoga je pokazano kako se na osnovu eksperimentalnih merenja napona i struja formiranih ploča za negativne elektrode Ni-Cd akumulatora mogu odrediti njihova iskorišćenja prethodnim formiranjem i rešavanjem odgovarajućih sistema aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda. Rezultati se dobijaju u vidu numeričkih vrednosti promenljivih i to korišćenjem odgovarajućih funkcija Matlab računarskih programskih paketa [10,11]. Na taj način se

---

<sup>1</sup> Doc. dr Andreja Todorović, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Prof. dr Đukan Vukić, Poljoprivredni fakultet, Beograd i Prof. dr Novica Rakićević, Prirodno-matematički fakultet, Kosovska Mitrovica

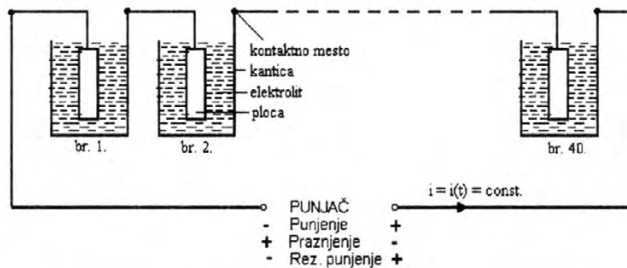
dolazi do veoma preciznih i pouzdanih podataka za relativno kratko vreme, što opravdava ovakav pristup i primenu navedene metode putem formiranja aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina za rešavanje ovakvih i sličnih pitanja u oblasti elektrohemije.

Relativne greške pri određivanju iskorišćenja formiranih ploča na ovaj način su minimalne, tj. aproksimacione karakteristike funkcija kapaciteta i energije punjenja i pražnjenja formiranih ploča se neznatno razlikuju od eksperimentalnih, pa se stoga tako dobijeni rezultati mogu smatrati prihvatljivim za primenu. Time su autori napravili pokušaj i dali svoj skroman doprinos rešavanju pitanja u vezi određivanja iskorišćenja tehnološkog procesa formiranja ploča Ni-Cd akumulatora.

## 2. OPŠTI DEO O FORMIRANJU PLOČA I ISKORIŠĆENJIMA

Elektrohemijskom tehnološkom procesu formiranja podvrgavaju se, uglavnom, samo negativne ploče, čijim se odsecanjem na odgovarajuće dimenzije dobijaju elektrode Ni-Cd elektrohemijske ćelije odnosno akumulatora. Aktivna supstanca negativnih ploča je kadmijum-hidroksid  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  [5-8].

Formiranje ploča vrši se tako što se ploče ubace u čelične kantice sa elektrolitom – kalijum-hidroksidom KOH ili natrijum-hidroksidom Na(OH), a zatim priključe na izvor konstantne jednosmerne struje prema šemi datoj na sl. 1. Što se broja ploča pri njihovom formiranju rednim vezivanjem tiče, iz tehničkih razloga, a i zbog bezbednosti rukovaoca, njihov optimalan broj iznosi četrdeset [7,8].



Sl. 1. Principijelna električna šema za formiranje ploča

Formiranje ploča vrši se po periodama na sledeći način: a) prva prioda – punjenje ploča energijom do nivoa nominalnog kapaciteta, gde se ploče vezuju za negativni a kantice za pozitivni pol izvora jednosmerne struje, b) druga perioda – pražnjenje ploča energijom do nivoa nominalnog kapaciteta, gde se ploče vezuju za pozitivni a kantice za negativni pol izvora jednosmerne struje i c) treća perioda – rezidualno punjenje ploča energijom do nivoa od oko 10% nominalnog kapaciteta, gde se povezivanje ploča i kantice vrši na isti način kao u prvoj periodu [7,8].

Praktična iskustva i ispitivanja su pokazala da je optimalna struja za formiranje ploča, naročito u prvoj periodu, intenziteta od  $25 \text{ A} = \text{const.}$  Veće ili manje struje od navedene uzrokuju negativne tehno-ekonomske efekte, pa se zato ne koriste [7,8].

Neka se radi pojednostavljenja sve veličine punjenja i pražnjenja ploča označe indeksima 1 i 2, respektivno. Tada se ukupni kapaciteti i energije punjenja i pražnjenja daju sledećim jednačinama:

$$q_1 = \int_0^{t_1} i_1(t) dt = 1.4 c_1 m, \quad (1)$$

$$w_1 = \int_0^{t_1} i_1(t) u_1(t) dt = \int_0^{q_1} u_1(q) dq, \quad (2)$$

$$q_2 = \int_0^{t_2} i_2(t) dt = 0.7 c_1 m, \quad (3)$$

$$w_2 = \int_0^{t_2} i_2(t) u_2(t) dt = \int_0^{q_2} u_2(q) dq, \quad (4)$$

gde su:  $q_1 = q_1(t)$  i  $q_2 = q_2(t)$  - ukupni kapaciteti punjenja i pražnjenja,  $w_1 = w_1(t)$  i  $w_2 = w_2(t)$  - ukupne energije punjenja i pražnjenja,  $i_1 = i_1(t)$  i  $i_2 = i_2(t)$  - trenutne vrednosti struje punjenja i pražnjenja,  $t_1$  i  $t_2$  - vremena punjenja i pražnjenja,  $m = m(t)$  - srednja vrednost mase aktivne supstance  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  negativne ploče,  $c_1 = 0.366 \text{ Ah/gr Cd}(\text{OH})_2 = 131760 \text{ As/kg Cd}(\text{OH})_2$  - specifični kapacitet punjenja i pražnjenja ploče, 1.4 i 0.7 - koeficijent proporcionalnosti punjenja i  $u_1 = u_1(t)$  i  $u_2 = u_2(t)$  - trenutne vrednosti napona punjenja i pražnjenja ploče, čije se vrednosti postepeno povećavaju od oko 0.4 – 0.7 V na početku punjenja i pražnjenja do oko 1.9 – 2.2 V na kraju punjenja i pražnjenja. [7,8].

Što se vremena punjenja i pražnjenja tiče,  $t_1$  i  $t_2$ , ona se određuju iz jednačina (1) i (3) prethodnim usvajanjem konstantnih struja punjenja i pražnjenja  $i_1 = \text{const}$  i  $i_2 = \text{const}$  i srednje vrednosti mase aktivne supstance  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  po ploči  $m$  [7,8]. Medjutim, kada su u pitanju karakteristike formiranih ploča, u koje spadaju: amperčasovno, vatčasovno i naponsko iskorišćenje, one se određuju sledećim jednačinama [5,6]:

$$\eta_q = \frac{q_2}{q_1}, \quad \eta_w = \frac{w_2}{w_1}, \quad \eta_u = \frac{U_2}{U_1}, \quad (5)$$

gde su:  $\eta_q$ ,  $\eta_w$ ,  $\eta_u$  - amperčasovno, vatčasovno i naponsko iskorišćenje formiranih ploča, a  $U_1$  i  $U_2$  - srednje vrednosti napona punjenja i pražnjenja ploče, respektivno.

### 3. EKSPERIMENT I REZULTATI

Ekperimentalni podaci izmerenih vrednosti napona, struja i vremena punjenja i pražnjenja negativnih ploča pri njihovom formiranju prema principijelnoj šemi datoj na sl. 1, dati su u tabeli 1. Ispitivanja su izvršena na pločama čije su srednje vrednosti mase aktivne supstance  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  po ploči  $m = 165.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg Cd}(\text{OH})_2$ .

Tabela 1. Eksperimentalni podaci izmerenih vrednosti napona, struja i vremena punjenja i pražnjenja ploča pri formiranju prema principijelnoj šemi datoj na sl. 1. i čije su srednje vrednosti mase aktivne supstance  $Cd(OH)_2$   $m = 165.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg } Cd(OH)_2$

Punjenje ploča			Pražnjenje ploča		
$t_1$ (s)	$i_1$ (A)	$u_1$ (V)	$t_2$ (s)	$i_2$ (A)	$u_2$ (V)
0.000e+000	2.500e+001	5.6000000e-001	0.000e+000	1.500e+001	6.7900000e-001
6.000e+002	2.500e+001	1.8000000e+000	3.000e+002	1.500e+001	7.0600000e-001
1.200e+003	2.500e+001	1.8000000e+000	6.000e+002	1.500e+001	7.3200000e-001
1.800e+003	2.500e+001	1.9000000e+000	9.000e+002	1.500e+001	7.3800000e-001
2.400e+003	2.500e+001	1.9200000e+000	1.200e+003	1.500e+001	7.4100000e-001
3.000e+003	2.500e+001	1.9500000e+000	1.500e+003	1.500e+001	7.4700000e-001
3.600e+003	2.500e+001	1.9500000e+000	1.800e+003	1.500e+001	7.4900000e-001
4.200e+003	2.500e+001	1.9500000e+000	2.100e+003	1.500e+001	7.5500000e-001
4.800e+003	2.500e+001	1.9500000e+000	2.400e+003	1.500e+001	7.5700000e-001
5.400e+003	2.500e+001	1.9500000e+000	2.700e+003	1.500e+001	7.6700000e-001
6.000e+003	2.500e+001	2.0400000e+000	3.000e+003	1.500e+001	7.7300000e-001
6.600e+003	2.500e+001	2.0400000e+000	3.300e+003	1.500e+001	7.7800000e-001
7.200e+003	2.500e+001	2.0400000e+000	3.600e+003	1.500e+001	7.8300000e-001
7.800e+003	2.500e+001	2.0400000e+000	3.900e+003	1.500e+001	7.8300000e-001
8.400e+003	2.500e+001	2.0400000e+000	4.200e+003	1.500e+001	7.8300000e-001
9.000e+003	2.500e+001	2.0600000e+000	4.500e+003	1.500e+001	7.8400000e-001
9.600e+003	2.500e+001	2.0600000e+000	4.800e+003	1.500e+001	7.8400000e-001
1.020e+004	2.500e+001	2.0600000e+000	5.100e+003	1.500e+001	7.8400000e-001
1.080e+004	2.500e+001	2.0600000e+000	5.400e+003	1.500e+001	7.8500000e-001
1.140e+004	2.500e+001	2.0600000e+000	5.700e+003	1.500e+001	7.8500000e-001
1.200e+004	2.500e+001	2.0600000e+000	6.000e+003	1.500e+001	7.8500000e-001
1.260e+004	2.500e+001	2.0600000e+000	6.300e+003	1.500e+001	7.8500000e-001
			6.600e+003	1.500e+001	7.8600000e-001
			6.900e+003	1.500e+001	7.9600000e-001
			7.200e+003	1.500e+001	8.0800000e-001
			7.500e+003	1.500e+001	8.3600000e-001
			7.800e+003	1.500e+001	9.4400000e-001
			8.100e+003	1.500e+001	9.5900000e-001
			8.400e+003	1.500e+001	9.7700000e-001
			8.700e+003	1.500e+001	1.0000000e+000
			9.000e+003	1.500e+001	1.0700000e+000
			9.300e+003	1.500e+001	1.4300000e+000
			9.600e+003	1.500e+001	1.8600000e+000
			9.900e+003	1.500e+001	1.9800000e+000
			1.020e+004	1.500e+001	2.1400000e+000
			1.050e+004	1.500e+001	2.1500000e+000

Sa podacima datim u tabeli 1. i jednačinama (1), (2), (3) i (4) određuju se najbolje aproksimacione karakteristike funkcija kapaciteta i energija punjenja i pražnjenja u zavisnosti od vremena kao argumenta, koje se dobijaju u vidu polinoma četvrtog stepena za obe veličine. Radi pogodnosti i matematičkog usaglašavanja sa oznakama u Matlab računarskom programu, uvode se sledeće oznake za navedene funkcije:  $y_{1a} = q_{1a}$  i  $y_{2a} = w_{1a}$  – za aproksimacione karakteristike funkcija kapaciteta i energije punjenja ploča i  $y_{1apr} = q_{2a}$  i  $y_{2apr} = w_{2a}$  – za aproksimacione karakteristike funkcija kapaciteta i energije pražnjenja ploča [8]. Zatim se sa navedenim funkcijama izvrši formiranje dva sistema aproksimacionih

linearnih diferencijalnih jednačina za određivanje kapaciteta i energije, koji su drugog reda. Prvi sistem takvih jednačina odnosi se na punjenje ploča, a daje se u sledećem obliku:

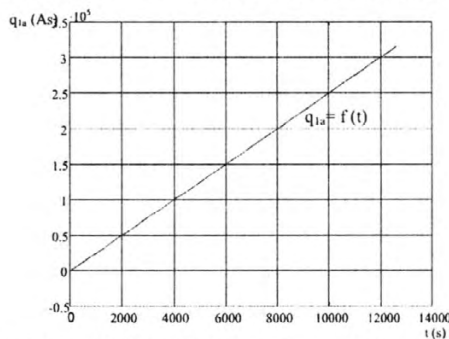
$$\begin{aligned} y_{1a}'' &= q_{1a}'' = 2.6543789 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 3.4282963 \cdot 10^{-4} \cdot y_{1a}' + 6.1249842 \cdot 10^{-5} \cdot y_{2a}' + 5.5667719 \cdot 10^{-3} = \\ &= 2.6543789 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 3.4282963 \cdot 10^{-4} \cdot q_{1a}' + 6.1249842 \cdot 10^{-5} \cdot w_{1a}' + 5.5667719 \cdot 10^{-3}, \\ y_{2a}'' &= w_{1a}'' = 6.6509221 \cdot 10^{-31} \cdot t^3 - 1.0546894 \cdot 10^{-3} \cdot y_{1a}' + 7.0503454 \cdot 10^{-5} \cdot y_{2a}' + 2.2909426 \cdot 10^{-2} = \\ &= 6.6509221 \cdot 10^{-31} \cdot t^3 - 1.0546894 \cdot 10^{-3} \cdot q_{1a}' + 7.0503454 \cdot 10^{-5} \cdot w_{1a}' + 2.2909426 \cdot 10^{-2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Zatim se sistem jednačina (6) odgovarajućim zamenama svodi na sledeći sistem aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda:

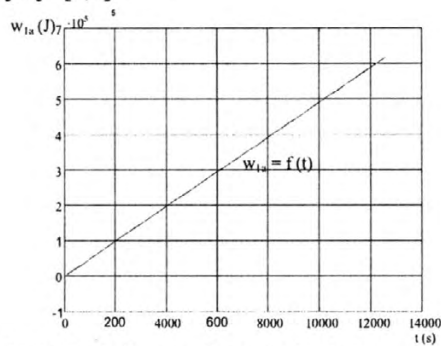
$$\begin{aligned} y_{1a}' &= y_{2a} = f_1(t, y_{1a}, y_{2a}, y_{3a}, y_{4a}), \\ y_{2a}' &= 2.6543789 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 3.4282963 \cdot 10^{-4} \cdot y_{1a}' + 6.1249842 \cdot 10^{-5} \cdot y_{2a}' + \\ &= 5.5667719 \cdot 10^{-3} = f_2(t, y_{1a}, y_{2a}, y_{3a}, y_{4a}), \\ y_{3a}' &= y_{4a} = f_3(t, y_{1a}, y_{2a}, y_{3a}, y_{4a}), \\ y_{3a}' &= 6.6509221 \cdot 10^{-31} \cdot t^3 - 1.0546894 \cdot 10^{-3} \cdot y_{1a}' + 7.0503454 \cdot 10^{-5} \cdot y_{2a}' + \\ &= 2.2909426 \cdot 10^{-2} = f_4(t, y_{1a}, y_{2a}, y_{3a}, y_{4a}). \end{aligned} \quad (7)$$

Usvajanjem sledećih početnih uslova:  $y_{1a}(0) = q_{1a}(0)$ ,  $y_{2a}(0) = y_{1a}'(0) = q_{1a}'(0)$ ,  $y_{3a}(0) = w_{1a}(0)$ ,  $y_{4a}(0) = y_{2a}'(0) = w_{1a}'(0)$ , a zatim rešavanjem sistema jednačina (7), dobijaju se tražene funkcije ukupnog kapaciteta i energije punjenja ploča označene sa  $q_{1a} = y_{1a} = 3.1499999e+005$  As и  $w_{1a} = y_{3a} = 6.1796082e+005$  J, respektivno. Njihove numeričke vrednosti date su na grafičkim dijagramima sl. 2. i sl. 3.

Vrednosti relativnih grešaka pri određivanju aproksimacionih karakteristika funkcija kapaciteta i energije punjenja formiranih ploča srednje vrednosti mase aktivne supstance  $Cd(OH)_2$   $m = 165.02 \cdot 10^{-3}$  kg  $Cd(OH)_2$ , iznose: od 0 - 3.25e-006% za kapacitet punjenja i od 0 - 1.3466e-005% za energiju punjenja [5,9].



Sl. 2. Funkcija kapaciteta punjenja ploča dobijena rešavanjem sistema aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina (8)



Sl. 3. Funkcija energije punjenja ploča dobijena rešavanjem sistema aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina (8)

Na potpuno isti način se dobijaju odgovarajući sistemi aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina drugog i prvog reda za određivanje kapaciteta i energije pražnjenja ploča. Sistem takvih jednačina drugog reda, daje se u sledećem obliku:

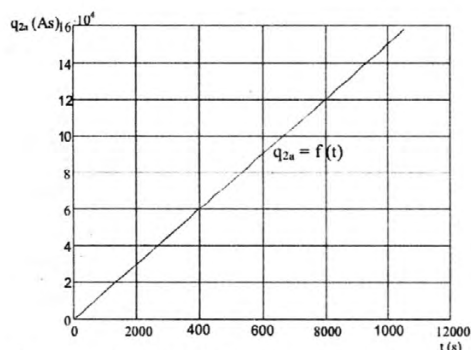
$$\begin{aligned}
 y_{1apr}'' &= q_{2a}'' = 2.4751018 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 2.4664204 \cdot 10^{-3} \cdot y_{1apr}' + 2.3765366 \cdot 10^{-3} \cdot y_{2apr}' + \\
 & 3.2656106 \cdot 10^{-3} = 2.4751018 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 2.4664204 \cdot 10^{-3} \cdot q_{2a}' + \\
 & 2.3765366 \cdot 10^{-3} \cdot w_{2a}' + 3.2656106 \cdot 10^{-3}, \\
 y_{2apr}'' &= w_{2a}'' = 2.8855191 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 2.2863459 \cdot 10^{-3} \cdot y_{1apr}' + 2.1874787 \cdot 10^{-3} \cdot y_{2apr}' + \\
 & 3.2478323 \cdot 10^{-3} = 2.8855191 \cdot 10^{-29} \cdot t^3 - 2.2863459 \cdot 10^{-3} \cdot q_{2a}' + \\
 & 2.1874787 \cdot 10^{-3} \cdot w_{2a}' + 3.2478323 \cdot 10^{-3}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Zatim se, takođe, i sistem jednačina (8) odgovarajućim zamenama svodi na sistem aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda, koji se daje u sledećem obliku:

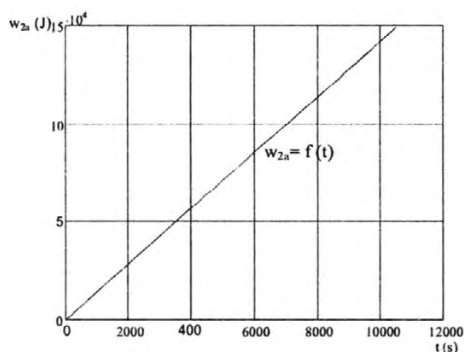
$$\begin{aligned}
 y_{1apr}' &= y_{2apr} = f_1(t, y_{1apr}, y_{2apr}, y_{3apr}, y_{4apr}), \\
 y_{2apr}' &= 2.1619412 \cdot 10^{12} \cdot t^3 - 6.4731343 \cdot 10^1 \cdot y_{2apr} + 1.0717021 \cdot 10^{-1} \cdot y_{4apr} - \\
 & 2.7534126 \cdot 10^6 = f_2(t, y_{1apr}, y_{2apr}, y_{3apr}, y_{4apr}), \\
 y_{3apr}' &= y_{4apr} = f_3(t, y_{1apr}, y_{2apr}, y_{3apr}, y_{4apr}), \quad (9) \\
 y_{4apr}' &= -9.2394585 \cdot 10^{14} \cdot t^3 - 8.8248999 \cdot 10^4 \cdot y_{2apr} - 1.3294234 \cdot 10^2 \cdot y_{4apr} + \\
 & 2.0423861 \cdot 10^8 = f_4(t, y_{1apr}, y_{2apr}, y_{3apr}, y_{4apr}).
 \end{aligned}$$

Usvajanjem sledećih početnih uslova:  $y_{1apr}(0) = q_{2a}(0)$ ,  $y_{2apr}(0) = y_{1apr}'(0) = q_{2a}'(0)$ ,  $y_{3apr}(0) = w_{2a}(0)$ ,  $y_{4apr}(0) = y_{2apr}'(0) = w_{2a}'(0)$ , a zatim rešavanjem sistema jednačina (9), dobijaju se tražene funkcije ukupnog kapaciteta i energije pražnjenja ploča označene sa  $q_{2a} = y_{1apr} = 1.574995e+005$  As и  $w_{2a} = y_{3apr} = 1.490287e+005$  J, respektivno. Njihove numeričke vrednosti date su na grafičkim dijagramima sl. 4. i sl. 5.

Vrednosti relativnih grešaka pri određivanju aproksimacionih karakteristika funkcija kapaciteta i energije pražnjenja formiranih ploča srednje vrednosti mase aktivne supstance  $Cd(OH)_2$   $m = 165.02 \cdot 10^{-3}$  kg  $Cd(OH)_2$ , iznose: od 0 - 3.175e-005% za kapacitet pražnjenja i od 0 - 3.895e-005% za energiju pražnjenja [5,9].



Sl. 4. Funkcija kapaciteta pražnjenja ploča dobijena rešavanjem sistema aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina (10)



Sl. 5. Funkcija energije pražnjenja ploča dobijena rešavanjem sistema aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina (10)

Srednje vrednosti napona punjenja i pražnjenja ploča,  $U_1$  i  $U_2$ , dobijaju se prethodnim određivanjem njihovih najboljih aproksimacionih karakteristika u zavisnosti od vremena [6,8] i to na osnovu podataka o izmerenim vrednostima navedenih veličina datim u tabeli 1. Za razmatrani primer formiranih ploča, najbolja se aproksimaciona karakteristika funkcija napona punjenja i pražnjenja dobija u vidu polinoma devetog stepena, a njihove srednje vrednosti iznose:

$$U_1 = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} u_1(t) dt = 1.9617806e + 000 \text{ V}, \quad (10)$$

$$U_2 = \frac{1}{t_2} \int_0^{t_2} u_2(t) dt = 9.4621436e - 001 \text{ V}. \quad (11)$$

Dobijene vrednosti amperčasovnog, vatčasovnog i naponskog iskorišćenja tehnološkog procesa formiranja razmatranih ploča srednje vrednosti mase aktivne supstance  $\text{Cd}(\text{OH})_2$   $m = 165.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg Cd}(\text{OH})_2$ , iznose:  $\eta_q = 50\%$ ,  $\eta_w = 24.1162\%$ ,  $\eta_v = 48.2324\%$ , respektivno.

## 5. ZAKLJUČAK

Određivanje iskorišćenja formiranih negativnih ploča Ni-Cd akumulatora pomoću aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda i primenom odgovarajućih funkcija Matlab računarskih programskih paketa, ima veliku važnost za praksu i istraživanja u oblasti elektrohemije. Ovo je značajno tim pre, što se ovakav pristup i metod nisu primenjivali za rešavanje ovakvih ili sličnih pitanja, a dobijeni rezultati su zadovoljavajući, što je pokazano vrednostima relativnih grešaka koje iznose maksimalno: do  $3.2458 \cdot 10^{-6} \%$  i do  $1.3466 \cdot 10^{-5} \%$  pri određivanju kapaciteta i energije punjenja, respektivno; a do  $3.175 \cdot 10^{-5} \%$  i do  $3.985 \cdot 10^{-5} \%$  pri određivanju kapaciteta i energije pražnjenja formiranih ploča, respektivno. Na primeru ploča srednje vrednosti mase aktivne supstance  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  od  $165.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg Cd}(\text{OH})_2$ , kada je njihovo punjenje izvršeno

konstantnom strujom  $i_1 = 25 \text{ A} = \text{const}$ , a pražnjenje konstantnom strujom  $i_2 = 15 \text{ A} = \text{const}$ , amperčasovno, vatčasovno i naponsko iskorišćenje, iznose, respektivno:  $\eta_q = 50\%$ ,  $\eta_w = 24.1162\%$  i  $\eta_u = 48.2324\%$ .

Navedeni primer približnog određivanja iskorišćenja formiranih negativnih ploča Ni-Cd akumulatora pomoću aproksimacionih linearnih diferencijalnih jednačina prvog reda, ima opšti značaj. To znači, da se istim ili sličnim postupkom i metodom mogu rešavati ista ili slična pitanja u ovoj naučnoj oblasti.

## LITERATURA

- [1] A. Despić, D. Drađić, O. Tatić-Janjić: "Osnovi elektrohemije", Naučna knjiga, Beograd 1970.
- [2] M. Šušić: "Osnovi elektrohemije i elektrohemijsk analize", Naučna knjiga, Beograd 1980.
- [3] E. Poter: "Elektrohemija", Školska knjiga, Zagreb 1968.
- [4] G. Kortum: "Elektrochemia", Varšava 1966.
- [5] A. Todorović: "Istraživanja uticajnih veličina na kapacitet pražnjenja i iskorišćenja nikal-kadmijum akumulatora", Doktorska disertacija, Rudarsko-metalurški fakultet, Kosovska Mitrovica 1988.
- [6] N. Rakićević: "Hemijski izvori električne struje", pomoćni udžbenik, Prirodno-matematički fakultet, Priština 1997.
- [7] A. Todorović: "Novi metod tehničko-tehnoločkog procesa formiranja elektroda nikal-kadmijum baterija", Savremeni materijali, 1-2/19-24, Beograd 1992.
- [8] A. Todorović, S. Bjelić: "Analitički postupak sagledavanja stvarnih vrednosti prinasa aktivne supstance, totalnog i rezidualnog kapaciteta elektroda elektrohemijskog tehnološkog procesa formiranja ploča nikal-kadmijum baterija", Omo, 2/98-105, Beograd 1995.
- [9] A. Todorović, N. Rakićević, D. Minić: "Odstupanja pri određivanju približnih vrednosti funkcija električne provodljivosti elektrolita sekundarnih hemijskih izvora električne sstruje", Omo, 6-8/342-352, Beograd 1999.
- [10] L. Čalasan, M. Petkovsk: "Matlab i dodatni moduli Control System Toolbox i Simulink", verzija 4.2. za Windows, Beograd 1966.
- [11] M. Cvetković, R. Jančić, D. Mitraković: "Matematički programski alati", Matlab 4.0, Beograd 1966.



## **TEHNICAL PROCESS OF FORMING PLATES OF NICKEL-CADMIUM ACCUMULATORS USING AN APPROXIMATIVE DIFFERENTIAL EQUATIONS**

### **ABSTRACT:**

This work explains the way of using basic data of experimental measuring of voltage and current during electro-chemical technological process of forming boards for negative electrode of Ni-Cd accumulators to define its exploration using approximate equations of the first rank. This method produces very accurate and secure results presented as numerical values that could be changed by using computer, which enables further exploration and development of this electro-chemical system. Approaching the problem in this particular way could be very useful to manufacturers, who could solve their troubles trying to reach more positive technoeconomic effects, and to users who could make right choice and get energy of regular quality and quantity out of these chemical resources of current.