

Izračunavanje udela pseudo-kapaciteta i dvojnog električnog sloja kod elektrohemijskih kondenzatora na bazi karbonizovanih ugljenika

KATARINA M. ALEKSIĆ, Univezitet u Beogradu,

Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

ALEKSANDRA M. JANOŠEVIĆ LEŽAIĆ, Univezitet u Beogradu,

Farmaceutski fakultet, Beograd

NEMANJA M. GAVRILOV, Univezitet u Beogradu,

Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 621.319.4

DOI: 10.5937/tehnika2002135A

Novi materijali za primenu u elektrohemijskim kondenzatorima razvijaju se u različitim pravcima: ugljenične nanocevi, grafen, aktivirani ugljenici, templirani porozni ugljenici, a sve sa ciljem poboljšanja njihovih karakteristika kroz povećanje kapaciteta dvojnog električnog sloja i/ili pseudokapacitivnih faradejskih procesa. Cilj ovog rada bio je određivanje kapaciteta za seriju ugljeničnih materijala metodom ciklične voltametrije pri različitim brzinama polarizacije, kao i razdvajanje doprinosa dvojnog električnog sloja i pseudokapacitivnosti ukupnoj vrednosti kapaciteta elektrohemijskih kondenzatora. Ispitivani materijali uključuju: karbonizovani nanostrukturni polianilin (C-PANI), karbonizovani polianilin dopiran 2,2-difenil-1-pikrilhidrazilom (C-DPPH) i aktivni ugalj (AC). Njihove karakteristike ispitane su u 6M KOH i 0,5M H₂SO₄, a kapacitivna svojstva pomenutih materijala uspešno su razdvojena primenom Trasatijeve (Trasatti) i Danove (Dunn) metode. Pokazano je da aktivni ugalj, bez obzira što nema najveću vrednost specifičnog kapaciteta u svim elektrolitima, ipak ima najveću retenciju kapaciteta i da bi bio najpogodniji za primenu kao elektrodni materijal u odnosu na ispitivane materijale.

Ključne reči: kondenzator, kapacitet, ciklovoltametrija, dvojni električni sloj, pseudokapacitet karbonizovani polianilin, aktivni ugalj

1. UVOD

U savremenim istraživanjima veliki značaj pridaje se razvoju uređaja za konverziju (gorivne ćelije), kao i onih za skladištenje energije (baterije i elektrohemijski kondenzatori). Funkcionisanje prenosivih uređaja (mobini telefoni, laptop računari itd.), kao i industrijski razvoj električnih vozila, zasniva se na korišćenju pomenutih uređaja i postalo je gotovo nemoguće zamisliti moderno društvo bez njih. Od unapređenja njihovih performansi zavisi uspešnost primene, a savremena istraživanja su usmerena ka dizajniranju uređaja što veće gustine energije, kao i gustine snage, koji su ekonomski isplativi i čija je sinteza pogodna za industrijsku proizvodnju [1].

Elektrohemijski kondenzatori predstavljaju posebnu klasu uređaja za skladištenje energije. Zahvaljujući progresu novih materijala i razvoju tehnologija za izradu elektroda velike razvijene površine kondenzatori nove generacije pokazuju veoma velike kapacitete (za nekoliko redova veličine veće u odnosu na standardne kondenzatore sa metalnim oblogama), pa se takvi sistemi nazivaju superkondenzatorima [2]. Superkondenzatori se sastoje od pozitivne i negativne elektrode, elektrolita i separatora (membrane) koji razdvaja elektrode [3].

Elektrode superkondenzatora se izrađuju od materijala koje karakteriše velika specifična površina (preko 1000 m²g⁻¹), kao i prisustvo odgovarajućih površinskih funkcionalnih grupa [4].

Zahvaljujući velikoj specifičnoj površini i odgovarajućoj veličini pora dolazi do nastanka dvojnog električnog sloja, dok prisutne funkcionalne grupe prolaze kroz transformacije tokom pseudokapacitivnih reakcija. Oba mehanizma doprinose povećanju kapaciteta.

Adresa autora: Katarina Aleksić, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, Studentski trg 12-16

e-mail: kataaleksicc@gmail.com

Rad primljen: 23.03.2020.

Rad prihvaćen: 02.04.2020.

Prema načinu skladištenja naelektrisanja, elektrohemijske kondenzatore možemo podeliti u tri grupe: elektrohemijski kondenzatori sa dvojnim električnim slojem (EDLC), pseudokondenzatori (PC) i hibridni kondenzatori [5]. Kod EDLC naelektrisanje se skladišti reverzibilnom adsorpcijom jona na aktivni materijal i na elektrodama nema oksido-redukcionih procesa. Prilikom odgovarajuće polarizacije elektroda dolazi do razdvajanja naelektrisanja na granici između elektrode i elektrolita i formiranja dvojnog električnog sloja [3].

Ovakav mehanizam skladištenja energije omogućava brzo punjenje i pražnjenje [6]. Kapacitet dvojnog električnog sloja potiče od čiste elektrostatičke akumulacije naelektrisanja na granici između elektrode i elektrolita. Procena kapaciteta prema Helmholtz-u može da se izvrši pomoću jednačine:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}{d} \cdot A \quad (1)$$

gde je ϵ_r dielektrična konstanta elektrolita, ϵ_0 dielektrična konstanta vakuuma, d debljina dvojnog električnog sloja i A površina elektrode [3]. Kod pseudokondenzatora mehanizam akumulacije uključuje reverzibilne oksido-redukcione reakcije između jona elektrolita i aktivnih površinskih funkcionalnih grupa elektrodnog materijala [3]. U poređenju sa EDLC, PC imaju 10-100 puta veće kapacitete.

Mane ovih kondenzatora su mala gustina snage (usled male električne provodljivosti) i nedostatak stabilnosti usled cikliranja [3]. Da bi se postigla visoka gustina energije, dok se istovremeno održava visoka gustina snage i stabilnost usled cikliranja, kombinuju se principi EDLC i PC [7]. Procena udela EDLC i PC je od najveće važnosti za uspešan razvoj novih elektrodnih materijala, a metode Trasatija i Dana omogućavaju ovaj postupak [8].

Cilj ovog rada je da se primenom metoda Trasatija i Dana procene EDLC i PC doprinosi kod tri ispitivana

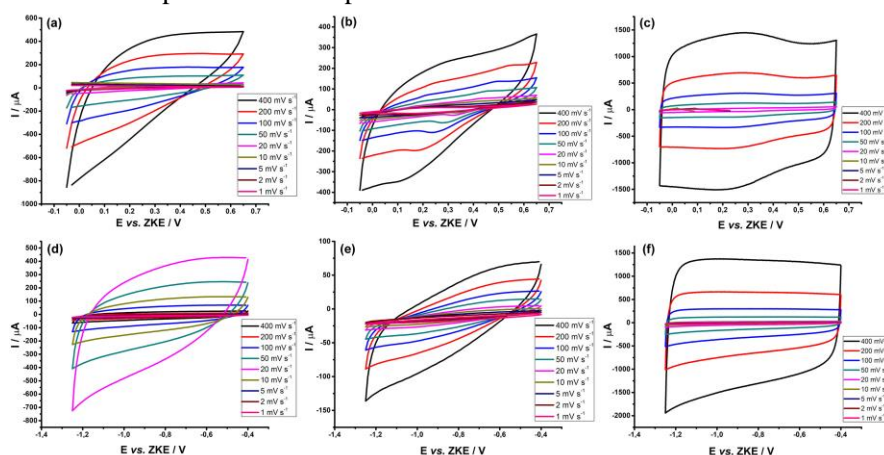
materijala i odredi materijal koji bi se potencijalno koristio u realnom sistemu. Takođe, cilj je i da se uporede rezultati dobijeni ovim metodama i proceni njihova međusobna usaglašenost.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Ispitivani materijali bili su: karbonizovani nanostrukturni polianilin (C-PANI) [9], karbonizovani polianilin dopiran 2,2-difenil-1-pikrilhidrazilom (C-DPPH) [10] i aktivni ugalj (AC) (Cabot). Elektrode su pripremane na sledeći način: 5 mg materijala je dispergovano dodavanjem 400 μ l 96% alkohola (Merck), 590 μ l dejonizovane vode i 10 μ l 0,5% rastvora Nafiona (DuPont) u ultra-zvučnom kupatilu, 30 minuta. Zatim je 10 μ l homogene disperzije naneto na disk od staklastog ugljenika ($R=5$ mm) i rastvarač uparen pod blagim tokom azota. Da bi se odredila njihova kapacitivna svojstva, snimljeni su ciklovoltamogrami pri različitim brzinama polarizacije (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 i 400 mV s^{-1}) (slika 1) pomoću potenciostata Ivium (Ivium Technologies B.V, Holandija).

Merenja su izvršena u standardnoj troelektrodnoj ćeliji sa platinskom elektrodom velike površine, kao pomoćnom elektrodom, i zasićenom kalomelskom elektrodom (ZKE) kao referentnom elektrodom. Kao elektrolit su korišćeni 0,5M H_2SO_4 i 6M KOH, iz kojih je kiseonik odstranjen produvanjem N_2 (5N) u trajanju od 15 minuta pre svakog eksperimenta. Sva merenja su vršena na sobnoj temperaturi ($t = 25 \pm 1$ $^\circ\text{C}$).

Dobijeni ciklovoltamogrami (slika 1) nemaju pravougaoni oblik koji je karakterističan za idealne kondenzatore, već pokazuju određeni nagib u odnosu na osu potencijala. Razlog je postojanje električnog otpora materijala koji izaziva nastanak polarizacionih efekata.



Slika 1 – Ciklovoltamogram pri različitim brzinama polarizacije sa 0,5 M H_2SO_4 kao elektrolitom: (a) C-DPPH, (b) C-PANI, (c) AC; i sa 6M KOH kao elektrolitom: (d) C-DPPH, (e) C-PANI, (f) AC

Sa povećanjem brzine polarizacije dolazi do povećanja površine svake krive, ali ciklovoltamogrami zadržavaju svoj oblik zbog odlične reverzibilnosti materijala [11].

Takođe, u ciklovoltamogramima dobijenim pri malim brzinama polarizacije može se uočiti pojava maksimuma koji potiču od faradejskih reakcija.

Tabela 1. Specifični kapaciteti ispitivanih materijala pri različitim brzinama polarizacije (v)

N [mVs ⁻¹]	Specifični kapacitet [F g ⁻¹]					
	0,5M H ₂ SO ₄ kao elektrolit			6M KOH kao elektrolit		
	C-DPPH	C-PANI	AC	C-DPPH	C-PANI	AC
1	193,8	208,2	133,8	235,3	240,4	336,8
2	130,7	121,9	86,8	98,0	111,2	129,1
5	69,8	67,1	43,8	38,1	44,4	43,7
10	43,7	53,4	25,8	19,3	22,0	35,8
20	27,5	44,4	27,7	10,6	16,7	34,9
50	17,5	32,4	44,2	5,8	19,5	51,7
100	13,18	28,6	54,8	3,9	24,8	59,9
200	10,4	23,1	61,2	2,8	32,6	64,1
400	8,2	18,0	63,2	2,1	26,6	64,6

Sa cikličnih voltamograma, specifični (gravimetrijski) kapacitet se dobija pomoću izraza:

$$C = \frac{S}{2 \cdot \Delta U \cdot m} \quad (2)$$

gde je ΔU – oblast potencijala, S – površina opisana voltamogramima (odgovara skladištenom naelektrisanju u C) i m – masa elektroaktivnog materijala na elektrodi [11].

Iz dobijenih ciklovoltamograma i korišćenjem izraza (2), određeni su specifični kapaciteti ispitivanih materijala (tabela 1)

3. REZULTATI

Udeli kapaciteta dvojnog električnog sloja i pseudokapaciteta ispitivanih materijala određena su primenom Trasatijeve (Trasatti) i Danove (Dunn) metode koje su ukratko opisane u daljem tekstu.

3.1. Trasatijev metod

Prema ovom metodu, ukoliko se pretpostavi polubeskonačna difuzija jona, zavisnost recipročnog gravimetrijskog kapaciteta od korena brzine će imati linearnu formu i važiće sledeća jednakost:

$$C^{-1} = konstanta \cdot v^{\frac{1}{2}} + C_T^{-1} \quad (3)$$

Tabela 2. Doprinos kapaciteta dvojnog električnog sloja i pseudokapaciteta ukupnom specifičnom kapacitetu dobijen Trasatijevom metodom za ispitivane materijale

	H ₂ SO ₄				KOH			
	C _T [F g ⁻¹]	C _{EDLC} [F g ⁻¹]	C _{pseudo} [F g ⁻¹]	%PC	C _T [F g ⁻¹]	C _{EDLC} [F g ⁻¹]	C _{pseudo} [F g ⁻¹]	%PC
C-DPPH	28,2	3,0	25,2	89,4	15,4	0,4	15,0	97,4
C-PANI	74,1	5,6	68,5	92,44	76,9	12,1	64,8	84,3
AC	58,8	58,1	0,7	1,2	62,9	62,8	0,1	0,2

gde je C gravimetrijski kapacitet, v brzina promene potencijala, a C_T ukupan kapacitet (slike 2-7 levo). Pri malim brzinama promene potencijala, kapaciteti usled unutrašnjeg otpora elektrode i odstupanja od polubeskonačne difuzije jona, odstupaju od linearne zavisnosti te se linearizacija vrši za visoke vrednosti brzina polarizacija kada se ispoljava samo kapacitet dvojnog električnog sloja pošto na vremenskoj skali eksperimenta nema dovoljno vremena za odvijanje pseudokapacitivnih procesa, te oni pri velikim brzinama polarizacije ne doprinose značajno ukupnoj vrednosti kapaciteta.

Na slikama 4, 6 i 7 (levo), može se uočiti odstupanje od linearnosti predviđene jednačinom 3, što dovodi u pitanje primenu Trasatijeve metode.

Linearna zavisnost važi i u slučaju veze kapaciteta i recipročnih vrednosti korena brzine promene potencijala (slike 2-7 desno):

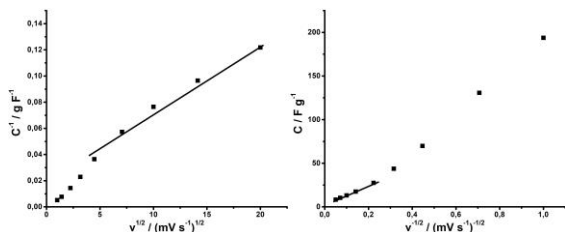
$$C = konstanta \cdot v^{-\frac{1}{2}} + C_{EDL} \quad (4)$$

gde je C_{EDL} kapacitet dvojnog sloja [12].

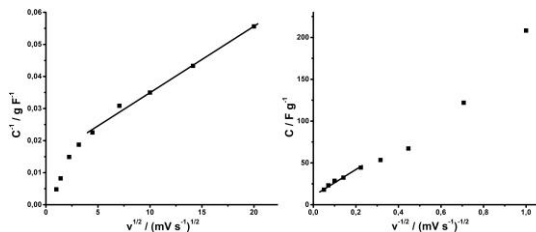
Iz odsečaka funkcija $C^{-1}=f(v^{1/2})$ i $C=f(v^{-1/2})$ dobijaju se vrednosti ukupnog kapaciteta i kapaciteta dvojnog sloja, a iz njihove razlike se dobija vrednost pseudokapaciteta (tabela 2).

Na osnovu rezultata analize mogao bi se izvući zaključak da dva od ispitivanih materijala u najvećoj meri skladište naelektrisanje u vidu pseudokapacitivnih procesa što nije očekivano imajući u vidu fizičko-

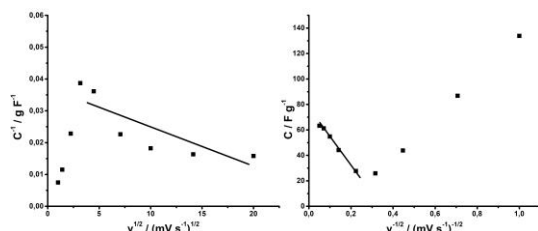
hemijske karakteristike ispitivanih materijala, tačnije njihovu veliku specifičnu površinu [13, 14], što ukazuje na nedostatke ove metode za određivanja uдела EDLC i PC u ukupnom specifičnom kapacitetu.



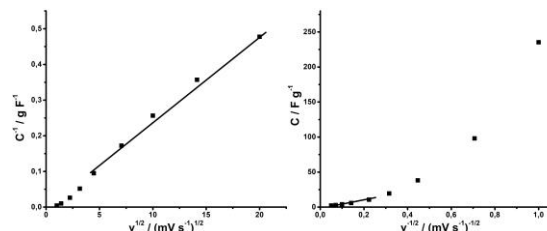
Slika 2 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za DP-PH u 0,5 M H₂SO₄



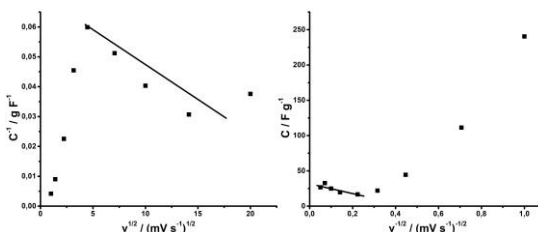
Slika 3 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za C-PANI u 0,5 M H₂SO₄



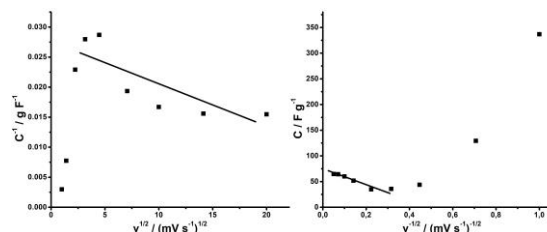
Slika 4 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za aktivni ugalj u 0,5 M H₂SO₄



Slika 5 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za DPPH u 3 M KOH



Slika 6 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za C-PANI u 3 M KOH



Slika 7 - Zavisnost reciprocnog specifičnog kapaciteta od korena brzine polarizacije (levo) i specifičnog kapaciteta od recipročne vrednosti korena brzine polarizacije (desno) za aktivni ugalj u 3 M KOH

3.2. Danov metod

Pomoću Danove metode takođe se mogu odrediti doprinosi kapacitetu različitih procesa na osnovu činjenice da kapacitet dvojnog električnog sloja linearno zavisi od brzine polarizacije dok faradejski procesi linearno zavise od korena brzine polarizacije. Stoga se struja na konstantnom potencijalu može predstaviti kao kombinacija površinskog kapacitivnog efekta i difuziono kontrolisanih procesa umetanja:

$$i(V) = k_1 v + k_2 v^{1/2} \quad (5)$$

gde je $i(V)$ je struja na određenom potencijalu, v brzina promene potencijala, k_1 i k_2 su konstante koje ne zavise od brzine promene potencijala. Član $k_1 v$ (kapacitativna struja) predstavlja doprinos dvojnog električnog sloja, a $k_2 v^{1/2}$ (difuziono kontrolisana struja) predstavlja gustinu struje koja je povezana sa pseudokapacitivnim reakcijama.

$$\frac{i(V)}{v^2} = k_1 v^{-1/2} + k_2 v^{-3/2} \quad (6)$$

Predstavljanjem zavisnosti $\frac{i(V)}{v^2}$ od $v^{-1/2}$ iz nagiba i

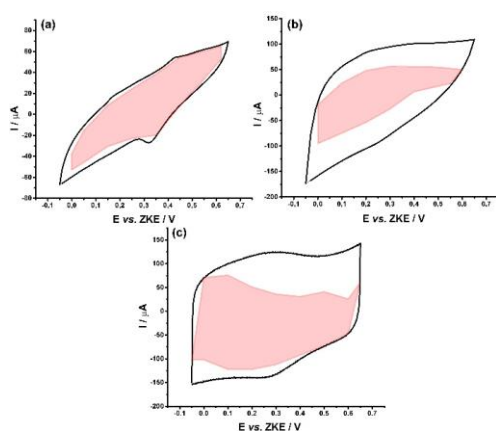
odsečka se mogu odrediti konstante k_1 i k_2 . Određivanjem ovih konstanti mogu se izračunati difuziono kontrolisana struja i kapacitivna struja [14], što je i urađeno za ispitivane materijale. Konstruisani su grafici po jednačini (6) i određivane konstante na svakih 100 mV. Korišćenjem vrednosti stuje pri određenoj brzini polarizacije, može se izračunati udeo struje koji

potiče od faradejskih reakcija na različitim potencijalima i udeo koji potiče od EDLC.

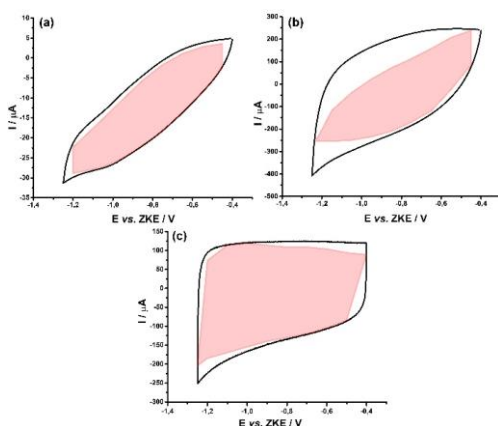
Korišćenjem ovih podataka konstruisani su ciklovoltamogrami koji uključuju ukupnu i kapacitivnu struju za sve materijale u oba elektrolita (slika 8 i slika 9), a rezultati su dati u tabeli 3.

Tabela 3. Udeli kapaciteta dvojnog sloja i pseudokapaciteta za ispitivane materijale, dobijeni Danovom metodom

	H ₂ SO ₄				KOH			
	C _{50mV/s} [F g ⁻¹]	C _{EDLC} [F g ⁻¹]	%EDLC	%PC	C _{50mV/s} [F g ⁻¹]	C _{EDLC} [F g ⁻¹]	%EDLC	%PC
C-DPPH	29,49	24,6	83,3	16,7	11,3	9,7	86,0	14
C-PANI	94,1	41,5	44,1	55,9	293,9	175,0	59,5	40,5
AC	153,6	94,1	61,2	38,8	218,2	186,4	85,4	14,6



Slika 8 - Prikaz ukupne i kapacitivne struje na različitim potencijalima pri brzini polarizacije od 50 mV s⁻¹ za: (a) C-DPPH, (b) C-PANI i (c) aktivni ugalj u 0,5 M H₂SO₄



Slika 9 - Prikaz ukupne i kapacitivne struje na različitim potencijalima pri brzini polarizacije od 50 mV s⁻¹ za: (a) C-DPPH, (b) C-PANI i (c) aktivni ugalj u 3 M KOH

Rezultati Danove analize pokazuju da kod C-DPPH i AC, kako u baznoj sredini tako i u kiselj sredini, kapacitet dvojnog električnog sloja čini oko 80% ukupnog kapaciteta, dok preostali procenat čini doprinos

pseudokapaciteta. Ovaj rezultat je u skladu sa podacima dostupnim u literaturi za slične materijale [14, 8], na osnovu čega se može zaključiti da je Danov metod pogodan za određivanja udele EDLC i PC u ukupnom specifičnom kapacitetu. Rezultati dobijeni Danovom metodom su suprotni onim dobijenim primenom Trasatijeve metode, što ukazuje da se nedostatak Trasatijeve metode ogleda u proizvoljnosti oblasti koju treba linearno fitovati kako bi se isključio udeo PC i odredio udeo samo EDLC.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih Trasatijevom i Danovom metodom, uočavaju se znatna odstupanja između vrednosti za udele EDLC i PC. Poređenjem fizičko-hemijskih karakteristika ispitivanih materijala, dolazi se do zaključka da Danova metoda daje rezultate koji mnogo bolje opisuje i razlaže kapacitivno ponašanje ispitivanih materijala. Na osnovu Danove analize može se zaključiti da udeo pseudokapaciteta opada u odnosu na kapacitet dvojnog sloja sa povećanjem brzine polarizacije, što je u skladu sa činjenicom da je kinetika redoks reakcija znatno sporija u odnosu na adsorpciju na višim brzinama polarizacije.

Kako redoks reakcije, u oblasti malih brzina polarizacije imaju najveći uticaj na kapacitet, a pri velikim brzinama punjenje i pražnjenje dvojnog sloja [8], može se zaključiti da AC, u odnosu na ispitivane materijale, poseduje najveći kapacitet dvojnog sloja. Kod svih ispitivanih materijala primećeno je da sa porastom brzine polarizacije opada vrednost specifičnog kapaciteta.

U baznoj sredini, najveću vrednost kapaciteta pokazao je AC (336,80 F g⁻¹), dok su kapaciteti C-PANI (240,40 F g⁻¹) i C-DPPH (235,31 F g⁻¹) bili približnih vrednosti. Kako je za što uspešniju primenu potrebno da se visok kapacitet zadrži i na velikim brzinama polarizacije, rezultati ukazuju da bi AC u

baznoj sredini bio najpogodniji za primenu u realnim superkondenzatorima na osnovu ukupnog kapaciteta i retencije pri većim brzinama punjenja i pražnjenja.

LITERATURA

- [1] Zdolšek N, *Jonske tečnosti kao medijumi i prekursori za sintezu poroznih ugljeničnih materijala za primenu u gorivnim ćelijama i skladištenju energije*, Univerzitet u Beogradu - Fakultet za fizičku hemiju, pp. 1-2, Beograd 2019.
- [2] Stević Z, *Kondenzatori vrlo velike kapacitivnosti na bazi sulfida bakra*, Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, pp. 6, Beograd, 2004
- [3] Zhang L. L, Zhao X. S, Carbon-based materials as supercapacitor electrodes, *Chemical Society Reviews*, Vol 38 , pp. 2520–2531. 2009
- [4] Hao L, Li X, Zhi L, Carbonaceous electrode materials for supercapacitors, *Advanced Materials*, Vol. 25, pp. 3899–3904, 2013.
- [5] Zhong C, Deng Y, Hu W, Qiao J, Zhang L, Zhang J, A review of electrolyte materials and compositions for electrochemical supercapacitors, *Chemical Society Reviews*, Vol. 44, pp. 7484–7539, 2015.
- [6] Gavrilov N, *Primena karbonizovanih nanostrukturanih polianilina u elektrokatalizi i skladištenju električne energije*, Univerzitet u Beogradu – Fakultet za fizičku hemiju, pp. 34, Beograd, 2013.
- [7] Lee J. M, Wu T, Alston B. M, Briggs M. E, Hassel T, Hu C, Cooper A. I, Porosity-Engineered Carbons for Supercapacitive Energy Storage Using Conjugated Microporous Polymer Precursors. *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 4, pp. 7522-7537, 2016.
- [8] Lee Y. H, Chang K. H, and Hu C. C, Differentiate the pseudocapacitance and double-layer capacitance contributions for nitrogen-doped reduced graphene oxide in acidic and alkaline electrolytes, *Journal of Power Sources*, Vol. 227, pp. 300–308, 2013.
- [9] Mentus S, Ćirić-Marjanović G, Trchova M, Stejskal J, Conducting carbonized polyaniline nanotubes, *Nanotechnology*, Vol. 20, pp. 245601, 2009.
- [10] Bober P, Trchová M, Morávková Z, Kovářová J, Vulić I, Gavrilov N, Pašti I, Stejskal J, Phosphorus and nitrogen-containing carbons obtained by the carbonization of conducting polyaniline complex with phosphites, *Electrochim. Acta* Vol. 246, pp. 443–450, 2017.
- [11] Korlenka G, *Ispitivanje reakcije redukcije kiseonika na karbonizovanom polipiroolu prevučenom globularnim, nanotubularnim i nanofibrilarnim polipiroom*, Univerzitet u Beogradu – Fakultet za fizičku hemiju, pp. 54–56, Beograd, 2019.
- [12] Liu T, *Exploration of Carbonaceous Materials for Supercapacitors*, University of California, Santa Cruz, 2017.
- [13] Gavrilov N, Pašti I, Vujković M, Travas-Sejdic J, Ćirić-Marjanović G, Mentus S, *High-performance charge storage by N-containing nanostructured carbon derived from polyaniline Carbon*, Vol. 50, pp. 3915–3927, 2012.
- [14] Shao J, Zhou X, Liu Q, Zou R, Li W, Yang J, Hu J, Mechanism analysis of the capacitance contributions and ultralong cycling-stability of the isomorphous MnO₂@MnO₂ core/shell nanostructures for supercapacitors, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 3, No. 11, pp. 6168–6176, 20

SUMMARY

CALCULATION OF THE FRACTION OF PSEUDO-CAPACITANCE AND ELECTRIC DOUBLE LAYER CAPACITANCE IN CARBON-BASED ELECTROCHEMICAL CAPACITORS

New materials for use in electrochemical capacitors are being developed in different directions: carbon nanotubes, graphene, activated carbon, templated porous carbon, all with the aim of improving their properties by increasing the capacitance of the double electric layer and/or pseudocapacitive faradaic processes. The aim of this work was to determine the capacitance of a series of carbon materials using cyclic voltammetry at different polarization rates, as well as to separate the contribution of the electric double layer capacitance and pseudo-capacitance to the total value of the capacitance. Materials that were tested include: carbonized nanostructured polyaniline (C-PANI), carbonated polyaniline doped with 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (C-DPPH) and activated carbon (AC). Their characteristics were tested in 6M KOH and 0.5M H₂SO₄, and the capacitance properties of the mentioned materials were successfully separated using Trasatti and Dunn methods. It has been shown that among the tested materials, activated carbon has the highest capacity retention, and it would be the best suited for use as electrode material, although it doesn't have the highest specific capacitance value in all electrolytes.

Key words: capacitor, capacitance, cyclic voltammetry, dual electric layer, pseudocapacitance carbonized polyaniline, activated carbon