

Ispitivanje adsorpcije tetramminbakar(II) kompleksa na aktivnom uglju iz vodenog rastvora spektrofotometrijskom metodom

Mr Slavica Ivanović, dipl.inž.¹⁾
Dr Desanka Šaraba, dipl.inž.¹⁾
Dr Jelena Bastić, dipl.inž.¹⁾
Slobodanka Salcberger-Ivković, dipl.inž.¹⁾
Mr Nikola Bočvarov, dipl.inž.¹⁾

Praćena je adsorpcija tetramminbakar(II) kompleksa na aktivnom uglju (AU) iz vodenog rastvora. Iz spektrofotograma rastvora u kojima je sadržaj Cu^{2+} jona bio konstantan, a povećavano je učešće NH_4OH određeno je da se stabilan kompleks dobija kod odnosa molariteta navedenih jona $M_{\text{NH}_4\text{OH}}:M_{\text{Cu}^{2+}} = 5:1$. Talasna dužina maksimuma apsorpcije je 600 nm–605 nm, a apsorpcija je linearna funkcija koncentracije kompleksa. Adsorpcija $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ jona na AU je potvrđena smanjenjem apsorpcije rastvora kompleksa posle njegovog kontakta s AU, a količina deponovanog bakra je izračunata iz promene apsorpcije rastvora, pre i posle kontakta s AU. Procenti bakra deponovanog na dve vrste AU iz rastvora kompleksa koncentracije $0,300 \text{ mol dm}^{-3}$, bili su 5,4 i 5,6 %.

Ključne reči: : Adsorpcija, tetramminbakar(II) kompleks, aktivni uglj, spektrofotometrija.

Uvod

IZUČAVANJE adsorpcije metalnih kompleksa na uglje-ničnim materijalima iz vodenih rastvora je višestruko interesantno. Ovim postupkom moguće je proizvesti katalizatore s aktivnim ugljem (AU) kao nosačem, moguća je primena ugljeničnih materijala u procesima prečišćavanja otpadnih voda koje sadrže jone metala, kao i koncentrisanje metala iz rastvora na površini AU.

Za poboljšanje adsorpcionih karakteristika AU za obezbeđivanje zaštitnih osobina ovih materijala od reaktivnih gasova, kao što su: HCN , $(\text{CN})_2$, AsH_3 i ClCN , površina AU se impregniše amonijačnim rastvorima bakra, hroma i srebra. U literaturi se, međutim, u vezi s tim nailazi na niz problema. U prvom redu se uočava nedovoljno obraćanje pažnje na hemizam procesa – od interakcije impregnata sa površinom AU do još uvek nerazjašnjenog mehanizma zadržavanja toksičnih supstanci.

U ovom istraživanju pažnja je koncentrisana na mehanizam deponovanja jona Cu^{2+} iz vodenog rastvora na AU. Poznato je od ranije da se aaminski kompleksi metala najbolje od svih jedinjenja metala adsorbuju na raznim sredstvima za adsorpciju [1,2]. Prvi značajniji rezultati u ovoj oblasti su postignuti 1970. godine. Pearson je ispitivao adsorpciju metala (Cu , Ni , Ag , Zn , Cd , Co , Cr i Mn) iz stabilnih rastvora njihovih aaminskih kompleksa na AU. Jedan od pionirskih radova o adsorpciji metala iz amonijačnih rastvora na AU objavili su Tomita i Tamai [1].

U radu [2] se navodi da se na aktivnom uglju najbolje adsorbuje aaminski kompleks $\text{Cu}(\text{II})$.

Posebna pažnja u ovom radu je posvećena tetramminbakar(II) kompleksu i praćenju njegove koncentracije u vodenom rastvoru, pre i posle kontakta s AU. Spektrofotometrijskom metodom je prethodno određena oblast stabilnosti $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ jona. Iz literature [3] je, naime, poznato da heksakvo joni Cu^{2+} imaju maksimum apsorpcije na $\approx 800 \text{ nm}$, pri čemu se uvođenjem liganada u vodeni rastvor molekuli vode postepeno zamenjuju drugim molekulima. Sa molekulima amonijaka lako se obrazuju jedinjenja $[\text{Cu}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}, \dots, [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$, dok je uvođenje petog i šestog molekula amonijaka otežano. Povećanjem koncentracije amonijaka prvo se obrazuju kompleksi sa manjim, a zatim oni sa većim brojem liganada. Maksimum apsorpcije $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]^{2+}$ je na $\approx 630 \text{ nm}$. Maksimum apsorpcije $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$ pojavljuje se na $\approx 600 \text{ nm}$.

Eksperimentalni rad

Kao adsorbenti u ovom radu su korišćeni komercijalni AU: GAU-K (*Trayal*, Kruševac) i VAU-P (*Toyobo*, Japan). Osnovne karakteristike porozne strukture i hemijske osobine ovih AU se date u tabeli 1. Pri tome je sa S_{BET} označena specifična površina određena BET metodom iz izoterme adsorpcije benzene na $(296 \pm 1) \text{ K}$ u oblasti relativnih pritisaka od 10^{-3} do 10^{-1} , određene gravimetrijskom adsorpcionom metodom pomoću elektromagnetske vage *Sartorius electronic* [4]. Sa $V_{\text{mi(DRA)}}$

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

Tabela 1. Osnovne karakteristike porozne strukture i hemijske osobine ispitivanih AU

Aktivni ugalj	S_{BET} , $m^2 g^{-1}$	Zapremina pora, $cm^3 g^{-1}$			pH filtrata posle 24 h kontakta 0,5 g AU sa 50 ml H_2O	Kiselost površine, $mmol g^{-1}$		
		$V_{mi(DRA)}$	V_p	V_{ma}		Jako kiseli centri	Umereno kiseli centri	Slabo kiseli centri
GAU-K	886	0,355	0,528	0,387	9,8	0	0	0,24
VAU-P	1172	0,473	0,051	0,033	5,2	0	0,08	0,22

označena je zapremina mikropora određena iz iste izoterme linearnom regresijom Dubinin-Raduškevič-Astahovljeve jednačine (DRA), a V_p i V_{ma} su zapremine prelaznih i makropora određenih iz rezultata živine porozimetrije [4].

Za karakterizaciju hemijskih osobina površine ispitivanih AU korišćena je Boehmova tehnika selektivne neutralizacije [5-7]. Ova tehnika korišćena je i kao jedan od faktora za izbor AU za impregnaciju. Uzorci AU su u fazi pripreme za rad držani u sušnici na 393 K tokom 24 časa. Približno 0,5 g uzorka AU potopljeno je u 50 ml, redom: prokuvane destilovane vode, vodenog rastvora Na_2CO_3 koncentracije 0,05 $mol dm^{-3}$, $NaHCO_3$ koncentracije 0,1 $mol dm^{-3}$ i $NaOH$ koncentracije 0,1 $mol dm^{-3}$. Uzorci su u rastvorima držani 24 h, uz povremeno mešanje. Posle toga rastvor iznad AU je odfiltrovao i 5 ml bistrog filtrata je titrisano rastvorom hlorovodonične kiseline koncentracije 0,1 $mol dm^{-3}$, uz prethodno merenje pH filtrata. Iz tabele 1 se vidi da, pored toga što spada u grupu granuliranih AU, GAU-K u kontaktu s destilovanom vodom daje alkalnu reakciju, dok je VAU-P vlaknasti AU koji na svojoj površini ima isključivo kisele centre.

Rastvori kompleksa $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ pripremani su dodavanjem rastvora NH_4OH u rastvor Cu^{2+} jona, dobijenih rastvaranjem $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, proizvođača Zorka iz Šapca, u destilovanoj vodi. Amonijum joni su u rastvor dodavani preko odgovarajuće zapremine koncentrovanog rastvora NH_4OH ($\approx 25\%$, $\rho = 0,91$, p.a.), proizvođača Azot, Goražde.

Dodatak NH_4OH potreban za dobijanje stabilnog kompleksa $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, određen je eksperimentalno. U niz erlenmajerovih tikvica sa po 10 ml rastvora Cu^{2+} koncentracije 0,1 $mol dm^{-3}$ dodavane su rastuće zapremine rastvora NH_4OH , tako da se odnosi molariteta $M_{NH_4OH} : M_{Cu^{2+}}$ u dobijenim rastvorima povećavaju od 0:1 do 10:1. Zatim su snimljeni spektrofotogrami polaznog rastvora Cu^{2+} i ostalih rastvora u oblasti talasnih dužina od 400 nm do 900 nm.

Spektrofotometrijska merenja su izvođena pomoću spektrofotometra firme Perkin Elmer, lambda 17 UV/VIS.

U eksperimentima za određivanje adsorpcije $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ kompleksa iz vodenog rastvora na AU, 1 - 2 g AU je pomešano sa 30 ml rastvora $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$. Vreme kontakta je bilo 3 h uz neprekidno mešanje ili 24 h uz povremeno mešanje. Rastvori $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ su pripremljeni dodavanjem 25 % rastvora NH_4OH u rastvore Cu^{2+} koncentracija: 0,025, 0,050, 0,060 i 0,300 $mol dm^{-3}$, tako da odnosi molariteta $M_{NH_4OH} : M_{Cu^{2+}}$ imaju na osnovu prethodnih eksperimenata utvrđenu optimalnu vrednost.

Ekstrakcija posmatranog kompleksa na AU praćena je preko izmerenih vrednosti apsorpcije rastvora I(A) na talasnoj dužini λ_{max} , pre i posle kontakta sa AU. U tu svrhu načinjena je kalibraciona prava $I(A) = f [C(mol dm^{-3})]$. Procenat Cu na AU izračunat je iz promene koncentracije rastvora $\Delta C = C_o - C_x$ (C_o - koncentracija bakra pre

tvora $\Delta C = C_o - C_x$ (C_o - koncentracija bakra pre apsorpcije, C_x - koncentracija bakra posle apsorpcije), zapremine rastvora (V_u) i mase AU (m_u) u kontaktu s rastvorom, prema relaciji:

$$\% Cu = 6,354 \frac{\Delta C V_u}{m_u} \quad (1)$$

Sadržaj bakra na AU određivan je i volumetrijskom metodom sa KJ i $Na_2S_2O_3$, posle ekstrakcije Cu^{2+} sa AU, smešom sumporne i azotne kiseline (1:1) [8].

Dobijeni rezultati i diskusija

Spektrofotometrijskim merenjima je trebalo odrediti oblast stabilnosti $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ jona, da bi se pratila promena njegove koncentracije u rastvoru posle adsorpcije iz tečne faze na AU. Cilj je bio odrediti talasnu dužinu maksimuma apsorpcije λ_{max} (nm) i apsorpciju I(A) pri λ_{max} . Očekivano je da se pri promeni molskog učešća NH_4OH pomera talasna dužina λ_{max} iz oblasti ≈ 800 nm do ≈ 600 nm. Kod dostizanja oblasti stabilnosti kompleksa $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ dalje povećanje M_{NH_4OH} u odnosu na $M_{Cu^{2+}}$ ne bi trebalo da značajnije utiče na λ_{max} , a na apsorpciju samo zbog promene koncentracije. Očekivano je, takođe, da je preko vrednosti λ_{max} moguće u sistemu sa rastućim molskim učešćem NH_4OH pratiti mehanizam – put od $CuSO_4$ preko $Cu(OH)_2$ i nižih kompleksa $[Cu(NH_3)_n]^{2+}$, $n=1,2,3$, do $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$. Sva ova jedinjenja i kompleksi su obojeni, pa je očekivano da vrednost λ_{max} prati promenu boje rastvora do tamnoplave boje tetramminbakar(II) kompleksa.

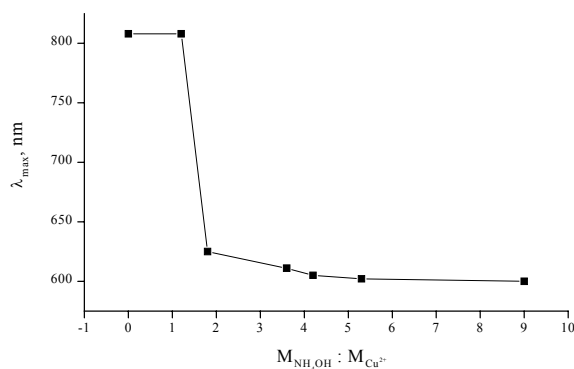
U tabeli 2 su dati rezultati merenja koja polaze od 0,1 M rastvora Cu^{2+} . Iz tabele se vidi da koncentracija Cu^{2+} u dobijenim rastvorima, zbog razblaživanja dodatkom rastvora NH_4OH opada, dok koncentracija NH_4OH raste, kao i odnos molariteta $M_{NH_4OH} : M_{Cu^{2+}}$, od 0:1 do 9:1.

Iz tabele 2 se vidi da talasna dužina maksimuma apsorpcije od 808 nm (od Cu^{2+} jona) opada do 600 nm (od $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ jona) što je posledica građenja međuprodukata, prvo nerastvornog $Cu(OH)_2$, a potom kompleksa $[Cu(NH_3)_n]^{2+}$ za $n = 1 - 3$. Pri određivanju spektrofotograma rastvora u kojima je došlo do izdvajanja $(CuOH)_2$, rastvori su prethodno filtrovani. Promena apsorpcije posledica je kako promene apsorptivnosti pojedinih kompleksa, tako i smanjenja koncentracije jona zbog izdvajanja nerastvornog $(CuOH)_2$ i smanjenja ukupne koncentracije bakra u rastvoru. Približno konstantna vrednost apsorpcije (605 nm - 600 nm) pri odnosima $M_{NH_4OH} : M_{Cu^{2+}} = 4,2:1$ do 9:1 ukazuje na oblast dominantnog postojanja kompleksa $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

Tabela 2. Podaci dobijeni snimanjem spektrofotograma rastvora različitih odnosa molariteta $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}}$ u oblasti talasnih dužina od 400 nm do 900 nm

Redni broj	$C_{\text{Cu}^{2+}}$, mol dm ⁻³	$C_{\text{NH}_4\text{OH}}$, mol dm ⁻³	$M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}}$	λ_{max} , nm	Apsorbancija na λ_{max} , A	Stanje rastvora	Rastvor – vizuelno
1.	0,100	0	0:1	808	1,18	Cu^{2+} iz CuSO_4	Čist rastvor CuSO_4 obojen od $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
2.	0,083	0,10	1,2:1	808	0,13	Cu^{2+} iz CuSO_4 i $\text{Cu}(\text{OH})_2$	Velika količina taloga $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Rastvor vrlo malo obojen od Cu^{2+} iz CuSO_4
3.	0,077	0,14	1,8:1	625	0,26	$\text{Cu}(\text{OH})_2$ i $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, n=1-3	Malo taloga, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, n=1-3, od kojih je obojen rastvor
4.	0,062	0,22	3,6:1	611	2,52	$\text{Cu}(\text{OH})_2$ i $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, n=1-4	Vrlo malo taloga. Rastvor obojen od $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, n=1-4
5.	0,059	0,25	4,2:1	605	2,57	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	Rastvor obojen od $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
6.	0,053	0,28	5,3:1	602	2,41	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	
7.	0,040	0,36	9:1	600	1,93	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	

Zavisnost λ_{max} od odnosa $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}}$ u rastvoru



Slika 1. Zavisnost λ_{max} od odnosa $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}}$ u rastvorima 1-7 iz tabele 2

grafčki je prikazana na sl.1. Ova slika ilustruje zaključak koji sledi iz eksperimentalnih rezultata iz tabele 2: za postizanje stabilnog kompleksa $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ potrebno je da odnos molariteta $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}}$ bude 5.

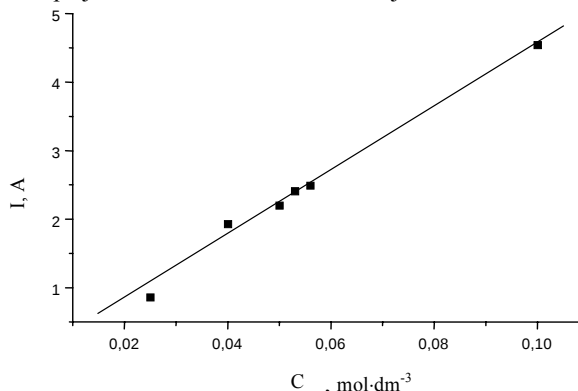
Prema dobijenoj optimalnoj vrednosti odnosa molariteta $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}} = 5:1$, pripremljeni su rastvori $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ jona različitih koncentracija od 0,025 mol dm⁻³ do 0,100 mol dm⁻³ i na osnovu izmerenih vrednosti apsorpcije rastvora pri $\lambda_{\text{max}} = 602$ nm, obrazovana je kalibraciona prava I (A) = f [C(mol dm⁻³)] (sl.2). Svođenjem eksperimentalnih podataka na regresionu pravu oblika $y=ax+b$, određeni su koeficijenti a i b prave:

$$C = 47,49 I(A) - 0,165 \text{ (mol dm}^{-3}\text{)} \quad (2)$$

uz koeficijent korelacije $R = 0,995$.

Za eksperimente adsorpcije $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ na AU, pripremljeni su na opisani način rastvori koncentracija 0,025, 0,050, 0,060 i 0,300 mol dm⁻³. Rezultati snimanja spektrofotograma ovih rastvora po talasnim dužinama od 400 nm do 900 nm, pre i posle kontakta rastvora s GAU-K i VAU-P, dati su u tabeli 3. Na osnovu ovih rezultata može da se uoči da je pri nižim koncentracijama došlo do povećanja λ_{max} posle kontakta rastvora sa AU, posebno za GAU-K, dok to kod viših koncentracija nije slučaj. Kod koncentracije 0,300 mol dm⁻³ gotovo da ne dolazi do

promene λ_{max} , pa u narednim eksperimentima za ispitivanje adsorpcije treba koristiti koncentrovane rastvore.



Slika 2. Kalibraciona prava za određivanje koncentracije $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $\lambda = 602$ nm

Tabela 3. Položaj maksimuma na spektrofotogramu rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ različitih koncentracija, pre i posle kontakta s izabranim AU

C_0 , mol dm ⁻³	λ_{max} osnovnog rastvora, nm	Vreme kontakta	V_u , ml	m_u , g	λ_{max} rastvora posle kontakta s AU, nm	
					GAU-K	VAU-P
0,025	606	3 h stalno mešanje	30	1,0	618	607
		24 h povremeno mešanje		1,0	620	610
0,050	602	3 h stalno mešanje		1,0	608	605
0,060	602	3 h stalno mešanje		1,0	607	605
0,300	604	24 h povremeno mešanje		2,0	605	605

Rezultati određivanja koncentracije $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ u rastvoru za impregnaciju (C_0) i posle njegovog kontakta sa ispitivanim AU (C), pomoću kalibracione prave, dati su u tabeli 4. Iz nje se vidi da povećanje koncentracije C_0 od 0,050 mol dm⁻³ na 0,060 mol dm⁻³ ima za posledicu približno dvostruko povećanje Cu deponovanog na AU. Povećanje količine AU u rastvoru, vremena kontakta i koncentracije rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ na 0,300 mol dm⁻³ za

rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ na $0,300 \text{ mol dm}^{-3}$ za posledicu ima značajniju razliku koncentracije $\Delta C = C_0 - C$, pre i posle

deponovani na dve vrste AU iz rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ koncentracije $0,300 \text{ mol dm}^{-3}$ bili su 5,4 i 5,6 %.

Tabela 4. Koncentracije rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ određenih pomoću kalibracione prave (2), pre i posle adsorpcije jona $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ na GAU-K i VAU-P, za različite početne koncentracije C_0 , vremena kontakta i odnose mase AU (m_u) i zapremine rastvora (V_u)

Aktivni ugalj	C_0 , mol dm^{-3}	Vreme kontakta	I , A	C , mol dm^{-3}	V_u , ml	m_u , g	Adsorbovano Cu	
							%	mmol g ⁻¹
GAU-K	0,025	3 h stalno mešanje	0,869	0,022	30	1,0	0,57	0,09
	0,05		2,072	0,047			0,57	0,09
	0,06		2,386	0,054			1,14	0,18
	0,3	24 h povremeno mešanje	11,396	0,243		2,0	5,39	0,85
VAU-P	0,025	3 h stalno mešanje	0,692	0,018		1,0	1,33	0,21
	0,05		2,041	0,046			0,76	0,11
	0,06		2,311	0,052			1,52	0,13
	0,3	24 h povremeno mešanje	11,281	0,241		2,0	5,63	0,90

deponovanja $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ na GAU-K i VAU-P. Posledica toga je povećanje srednjih procenata deponovanog bakra na 5,4 i 5,6 % ili 0,8 i 0,9 mmol g⁻¹ Cu na GAU-K i VAU-P. Dobijeni rezultati su potvrđeni određivanjem količine adsorbovanog bakra jodometrijskom metodom [8] posle njegove ekstrakcije sa AU smešom sumporne i azotne kiseline.

Na osnovu izvedenih eksperimenata može se izvesti zaključak da se iz amonijaknog rastvora bakra u oblasti stabilnog $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, ovaj kompleks adsorbuje na ispitivanim aktivnim ugljevima, što je u skladu sa literarnim podacima [1,2]. U narednim eksperimentima potrebno je ispitati zavisnost količine adsorbovanog kompleksa od koncentracije, kao i njegovu stabilnost na površini AU.

Zaključak

Iz rezultata spektrofotometrijskih merenja eksperimentalno je utvrđeno da je maksimalna, stabilna koncentracija $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ kompleksa u vodenim rastvorima pri odnosu molariteta $M_{\text{NH}_4\text{OH}} : M_{\text{Cu}^{2+}} = 5 : 1$, sa maksimumom apsorpcije na talasnoj dužini $\lambda_{\text{max}} \approx 600 - 605 \text{ nm}$. Rezultati dobijeni snimanjem spektrofotograma rastvora $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ kompleksa različitih koncentracija, pre i posle kontakta sa aktivnim ugljevima, pokazali su da se ovaj kompleks adsorbuje na ispitivanim AU. Procenti bakra

Literatura

- [1] TOMITA, A., TAMAI, Y. Effect of Surface Groups of Carbon on the Adsorption and Catalytic Base Hydrolysis of a Hexaamminecobalt(III) Ion. *J. Phys. Chem.* 1971, vol.75, no. 5, p.649-654.
- [2] BRACILOVIĆ, D. Ispitivanje adsorpcije jona metala na ugljeničnim materijalima. magistarski rad. TMF, Beograd, 1974.
- [3] COTTON, F.A., WILKINSON, G. *Advanced Inorganic Chemistry*. Interscience Publishers a Division of John Wiley & Sons, New York. London. Sydney, 1969, p.311-326.
- [4] IVANOVIĆ, S. Uticaj porozne strukture na brzinu adsorpcije benzene na vlaknastom i granulisanom aktiviranom uglju. magistarski rad. FFH, Beograd, 1996.
- [5] BOEHM, H.P. *Advances in Catalysis* (Edit. by D.D.Eley, H.Pines and P.B. Weisz). Academic Press, London, 1966, vol.16, p.179-198.
- [6] BARTON, S.S., BOULTON, G.L., HARRISON, B.H. Surface Studies on Graphite: Acidic Surface oxides. *Carbon*, 1972, vol.10, p.395-400.
- [7] IVANOVIĆ, S., ŠARABA, D. Primena metode potencijometrijske titracije, sa unapred određenom završnom tačkom, za određivanje kiselosti površine aktivnog uglja. zbornik radova III jugoslovenskog simpozijuma "Hemija i zaštita životne sredine", Vrnjačka Banja, 1998, p.79-80.
- [8] ŠARABA, D. Istraživanje metoda merenja parametara kvaliteta vode. int. dok. VTI VI, Beograd, 1997, 06-01.1041.

Rad primljen: 29.11.1999.god.