

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Marija Tadić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Marija Tadić

ADSORPCIJA ALBENDAZOLA NA AKTIVNI UGLJEN

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc. dr. sc. Davor Dolar

Članovi ispitnog povjerenstva:

doc. dr. sc. Davor Dolar

izv. prof. dr. sc. Danijela Ašperger

v. pred. dr. sc. Lidija Furač

Zagreb, rujan 2016.

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Davoru Dolaru na izdvojenom vremenu te pokazanom razumijevanju i strpljenju. Volja i ljubav prema poslu koji radi rezultirali su time da i ja sama stvarno uživam u izradi ovog završnog rada.

Hvala izv. prof dr. sc. Danijeli Ašperger na pomoći prilikom očitavanja rezultata. I velikoj pozitivnoj energiji te razumijevanju.

Hvala v. pred. dr. sc. Lidiji Furač koja je uvijek bila tu za sve nas studente. Ne samo kao profesorica, već i kao prijateljica. Hvala joj na svemu što je učinila za mene.

Veliko hvala mojoj obitelji, mojoj najvećoj podršci tijekom studija.

Posebno se zahvaljujem Petri, Karli i Marku. Mojim dragim prijateljima koji su uvijek bili uz mene.

SAŽETAK

Adsorpcija je metoda separacije uzrokovana privlačnim silama između adsorbensa i molekula u plinu ili otopini koje se adsorbiraju. Koristi se za uklanjanje malih koncentracija tvari iz velikog volumena onečišćenog plina, za uklanjanje mirisa, uklanjanje hlapljivih otapala, za obradu otpadnih voda itd.

Cilj ovog rada bio je ispitati učinkovitost adsorpcije na praškastom aktivnom ugljenu, tj. uklanjanje albendazola iz MilliQ vode na različitu količinu aktivnog ugljena. Koncentracije albendazola bile su od 2,96 do 6,02 mg L⁻¹ što se mogu pripisati koncentracijama farmaceutika u otpadnim vodama farmaceutskih tvrtki ili retentatu tlačnih membranskih operacija. Šaržni postupak provodio se na masi aktivnog ugljena od 0,001 do 1 g.

Pokazana je visoka vrijednost uklanjanja albendazola. Na najmanjoj korištenoj koncentraciji, 2,96 mg L⁻¹, već pri masi aktivnog ugljena od 0,01 g postignuto je uklanjanje veće od 99,9 %. Pri dvostruko većoj koncentraciji albendazola, 6,02 mg L⁻¹, uklanjanje je bilo smanjeno. Na istoj vrijednosti mase kao u prethodnom slučaju, učinkovitost uklanjanja bila je 55,7 %.

Ključne riječi: adsorpcija, albendazol, aktivni ugljen

ABSTRACT

Adsorption is a method of separation caused by the adhesive forces between adsorbents and molecules in gas or solutions which adsorb. It is used for the removal of small concentrations of substances in large volumes of polluted gases, for removal of scent, for removal of volatile solvents, for treatment of waste waters ect.

The objective of this study was to examine the efficiency of adsorption on Powdered Activated Carbon, i.e the removal of albendazole from MilliQ water with various amounts of activated carbon. Concentrations of albendazole were from 2.96 to 6.02 mg L⁻¹ which can be attributed to the concentration of pharmaceuticals in waste waters of pharmaceutical companies or pressure membrane operations retentate. Batch adsorption was conducted on the masses of activated carbon from 0.001 to 1 g.

A high values of pharmaceutical removal were demonstrated. With the smallest used concentration, 2.96 mg L⁻¹, and a mass of activated carbon of 0.01 g a removal rate of 99.9 % was accomplished. At a concentration of albendazole twice as large, 6.02 mg L⁻¹, the removal rate decreased. For the same value of mass as was in the previous case, effectiveness of removal was 55.7 %.

Keywords: adsorption, albendazole, activated carbon

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Adsorpcija	2
2.1.1. Faktori koji utječu na adsorpciju	2
2.1.2. Adsorpcijske izoterme	3
2.1.3. Adsorbensi	6
2.1.4. Primjena adsorpcije	8
2.2. Literaturni pregled	9
3. EKSPERIMENTALNI DIO	11
3.1. Materijali	11
3.2. Opis uređaja za analizu	12
3.3. Postupak i uvjeti rada	13
4. REZULTATI I RASPRAVA	14
5. ZAKLJUČAK	23
6. LITERATURA	24
7. POPIS SIMBOLA I OZNAKA	26
8. ŽIVOTOPIS	27

1. UVOD

Adsorpcija je metoda separacije koja se razvila između 1920. i 1930. Uzrokovana je privlačnim silama između adsorbensa i molekula u plinu ili otopini koje se adsorbiraju. To je metoda koja je pogodna npr. za obradu otpadnih voda, prije svega kao predtretman ili posttretman.

S obzirom na veliku upotrebu farmaceutika u humanoj i veterinarskoj primjeni, njihove koncentracije u prirodnim vodotocima su sve veće. Glavni izvori farmaceutika u okoliš su neobrađene, a vrlo često i neadekvatno obrađene otpadne vode.

Zbog svojih dobrih svojstava, prije svega velika specifična aktivna površina, aktivni ugljen je jedan od najčešće upotrebljivanih adsorbensa. Albendazol je antihelmintik iz grupe benzimidazola i koristi se za liječenje različitih parazitskih bolesti kod životinja.

Cilj ovog rada bio je ispitati uklanjanje albendazola na praškasti aktivni ugljen. Ispitane su različite koncentracije albendazola te različite mase aktivnog ugljena pri konstantnoj temperaturi.

2. OPĆI DIO

2.1. ADSORPCIJA

Adsorpcija je nagomilavanje molekula, atoma ili iona na graničnoj površini dviju faza. Događa se na svakoj granici faza, no s tehničkog stajališta najzanimljiviji su na granici tekuće-čvrsto i plinovito-čvrsto. Adsorbensi su krutine koje na svoju površinu mogu vezati molekule plina ili otopljene tvari. To je svojstvo najviše izraženo kod poroznih tvari čija je specifična aktivna površina velika; znatno veća od geometrijske površine. Najčešće upotrebljavani adsorbensi su: aktivni ugljen, zeoliti, silikagel i sl. Adsorpcija je uzrokovana privlačnim silama između površine adsorbensa i molekula u plinu ili otopini koje se adsorbiraju (adsorbendum), i stoga je popraćena oslobađanjem topline. Ovisno o privlačnim silama razlikuju se: kemisorpcija, ionska adsorpcija i fizikalna adsorpcija. Kod *kemisorpcije* molekule na površini adsorbensa se vežu kovalentnim kemijskim vezama. Pri tome se oslobađa toplina, a ravnoteža se razmjerno sporo postiže. Kod *ionske adsorpcije* nastaju ionske veze elektrostatskog naboja pa se ne oslobađa toliko topline. U *fizikalnoj adsorpciji* se između adsorbensa i adsorbirane tvari javljaju samo Van der Waalove sile. U tom slučaju se ravnoteža postiže brzo i uz malo oslobođene topline. U stvarnim slučajevima javljaju se elementi sve tri vrste adsorpcije pri čemu jedna više ili manje prevladava [1].

2.1.1. FAKTORI KOJI UTJEČU NA ADSORPCIJU

Na adsorpciju utječu sljedeći faktori:

- površina i priroda adsorbensa,
- veličina, struktura i oblik molekula tvari koja adsorbira i
- pH vrijednost i temperatura otopine.

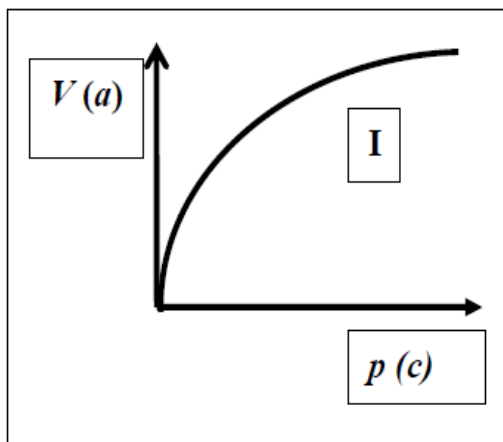
Veća površina adsorbensa koja uključuje i površinu pora znači i više adsorbirane tvari. Polarne tvari će se jače adsorbirati s polarnim otapalom. Topljivost znatno utječe na adsorpciju. Vrijedi:

što je topljivost manja, to je adsorpcija veća. Odnosno ako je veća topljivost tada je jača veza između otapala i otopljene tvari pa je time adsorpcija slabija. Svaka čvrsta tvar je potencijalni adsorbens, ali bitan je površinski karakter te čvrste tvari. Malo je čvrstih tvari koje imaju dovoljnu selektivnost i kapacitet koji ih čine ozbiljnim kandidatima za komercijalne adsorbense. Sposobnost tvari za adsorpcijom povećava se povećanjem molekulske mase, većim brojem funkcionalnih grupa, dvostrukom vezom, prisutnošću halogenih elemenata i spojeva te povećanjem polarnosti molekula. Smanjenjem pH vrijednosti raste adsorpcija organskih zagađivača iz vode - površina aktivnog ugljena ima veći kapacitet adsorpcije pri nižim pH vrijednostima. Adsorpcijska ravnoteža je egzotermnog karaktera te joj zato pogoduju niže temperature [1, 2].

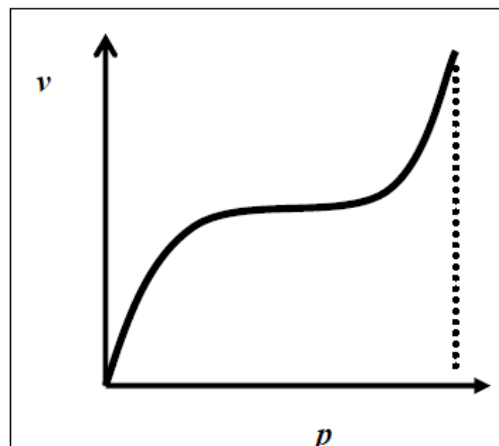
2.1.2. ADSORPCIJSKE IZOTERME

Količina adsorbirane tvari na površini adsorbensa ovisi o specifičnim svojstvima površine, o svojstvima molekula koje se adsorbiraju, o koncentraciji otopine odnosno tlaku plina i o temperaturi. Pri fizikalnoj i kemijskoj adsorpciji uspostavlja se, pod određenim uvjetima i nakon nekog vremena, ravnotežno stanje između adsorbiranih molekula i onih koje se nalaze u otopini. Dinamička ravnoteža karakterizirana je jednakošću brzina suprotnih procesa, adsorpcije i desorpcije, pri čemu je takav sustav moguće opisati izoternim krivuljama, odnosno njihovim jednadžbama, koje se nazivaju *adsorpcijskim izotermama*.

Uobičajeno je prikazivati ravnotežnu količinu adsorbirane tvari po jedinici mase adsorbensa u ovisnosti o ravnotežnoj koncentraciji, odnosno tlaku pri određenoj temperaturi. Adsorpcijske izoterme opisuju ovisnost količine adsorbirane tvari po jedinici mase adsorbensa u ovisnosti o koncentraciji otopljene tvari pri konstantnoj temperaturi. Postoji pet tipova izoterma, od kojih se izdvajaju tip I i tip II, koje su prikazane na slici 1.



Slika 1. Tip I adsorpcijske izoterme



Slika 2. Tip II adsorpcijske izoterme

Slika 1. prikazuje monoslojnu adsorpciju ovisnosti adsorpcijskog volumena plina o tlaku ili adsorpciju iz kapljevine, tj. ovisnost broja molekula adsorbirane tvari po količini adsorbensa o koncentraciji. Primjer ovog tipa krivulje je adsorpcija dušika ili vodika na drvenom ugljenu na temperaturi od približno $-1800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Slika 2. pokazuje da kod viših tlakova dolazi do naglog povećanja volumena koji se onda ponovno asimptotski približava pri nekom tlaku i predstavlja višeslojnu adsorpciju. Primjer je adsorpcija dušika na željezov katalizator pri temperaturi od -1950°C [3].

Adsorpcijski podatci se mogu prikazati s nekoliko različitih izoterma od kojih su najpoznatije: empirijska *Freundlichova izoterma* te teorijski izvedene *Langmuirova* i *B.E.T.* (Brunauer, Emmet i Teller) *izoterme* [1].

Freundlichova izoterma prikazuje ovisnost količine adsorbirane tvari o koncentraciji otopine pri konstantnoj temperaturi i ima sljedeći oblik:

$$a/\text{mmol g}^{-1} = K \times (c \text{ mol dm}^{-3})^{\frac{1}{n}}$$

gdje je

a – količina adsorbirane tvari iz otopine (mmol g^{-1}),

K – kapacitet adsorpcije,

c – ravnotežna koncentracija otopine (mol dm^{-3}) i

$1/n$ – intenzitet adsorpcije čija se vrijednost kreće u intervalu 1-5.

Freundlichova jednadžba se obično upotrebljava za razrijeđene otopine i uske koncentracijske intervale. Pripada prvom tipu izotermi. Jednadžba se najčešće primijenjuje za opisivanje kemisorpcije, a manjim dijelom i fizikalne adsorpcije.

Langmuirova izoterma se temelji na dvjema pretpostavkama:

1. Molekula se može adsorbirati na mjesto tek kada je ono prazno ili kada se neki atom ili molekula desorbira. Uspostavlja se ravnoteža između adsorpcije i desorpcije.
2. Kada je pokrivenost površine potpuna, tada je uspostavljena ravnoteža u monomolekulnom sloju, odnosno stvara se monosloj.

Zbog svog idealiziranog karaktera, Langmuirova izoterma je od ograničene važnosti za interpretiranje adsorpcijskih podataka [1, 4]. Pripada prvom tipu adsorpcijskih izotermi [3].

B.E.T. izoterma

Brunauer, Emmet, i Teller izveli su B.E.T jednadžbu i kao polazište su upotrijebili Langmuirovu teoriju monoslojne adsorpcije. Na većini krutih površina dolazi do višeslojne adsorpcije – adsorbira se nekoliko slojeva molekula. B.E.T. teorija je zadržala Langmuirovu pretpostavku koja govori o ravnoteži između dva procesa: adsorpcije i desorpcije, no sada je to više razrađeno. Naime, postoji ravnoteža između adsorpcije i desorpcije u 1. sloju, zatim ravnoteža između desorpcije 1. sloja i adsorpcije 2. sloja, itd. Molekule su najčvršće, najjače vezane u prvom sloju (na goljoj krutini), a energija vezanja u drugom i višim slojevima je znatno niža. B.E.T. izoterma odgovara eksperimentalnim opažanjima u području umjerenog tlaka, ali se javlja pogreška u procjeni pri niskom i pri visokom tlaku. Tip II se često opisuje ovom izotermom [4].

2.1.3. ADSORBENSI

Izvedba bilo kojeg adsorpcijskog procesa direktno je povezana s adsorbensom koji se koristi. Većina čvrstih adsorbensa, koji se primjenjuju u industriji, ima složenu poroznu strukturu koja se sastoji od pora različitih veličina i oblika. S obzirom na veličinu pora razlikuju se tri skupine. *Mikropore* su definirane kao pore čija širina ne prelazi 2 nm. Širina *mezopora* je između 2 i 50 nm dok *makropore* predstavljaju pore čija je širina veća od 50 nm. Samo četiri tipa adsorbensa su postigla komercijalni značaj u industriji: aktivni ugljen, zeoliti, silikagel i aktivna glina. Razvijanje još i boljih adsorbensa bi poboljšalo trenutne komercijalne procese [5, 6].

AKTIVNI UGLJEN je najčešće upotrebljavani adsorbens. Mikrokrystalična struktura je sastavljena od slojeva kondenziranih heksagonalnih ugljikovih prstenova, tzv. grafenskih slojeva sličnih kao u strukturi grafita. Razmak između grafenskih slojeva u grafitu je 0,335 nm, a u aktivnom ugljenu je promjenjiv te može iznositi od 0,34 do 0,35 nm. S obzirom na veličinu pora razlikuje se *praškasti aktivni ugljen* i *granulirani aktivni ugljen*.

Veličina čestica **praškastog aktivnog ugljena** (*Powdered Activated Carbon, PAC*) je između 15×10^{-6} m i 25×10^{-6} m. Koristi se za pročišćavanje otpadnih voda, u industriji šećera gdje se upotrebljava za obezbojenje, u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji te za uklanjanje žive i dioksina u dimnjacima. Prednosti upotrebe praškastog aktivnog ugljena su niži troškovi i mogućnost mijenjanja količine ovisno o procesu. S druge strane, teško ga je regenerirati jer većina industrijskih procesa vodi do gubitka ugljena te je regeneracija ekonomski neisplativa.

Granulirani aktivni ugljen (*Granular Activated Carbon, GAC*) ima čestice čija je veličina od 1 do 5 mm. Njegova prednost u odnosu na praškastu formu je mogućnost regeneracije, odnosno korištenja više od jednog puta. Koristi se za pročišćavanje voda (za poboljšavanje boje, okusa i mirisa, uklanjanje pesticida), za uklanjanje boja iz prehrambenih proizvoda, za uklanjanje BTK (benzena, toluena i ksilena) aromatskih spojeva tijekom sanacije voda i zemljišta [7].

Adsorpcijska moć aktivnog ugljena je uvjetovana kemijskom strukturom. Najvažnije grupe koje utječu na njegovu površinu i adsorpcijska svojstva su funkcionalne grupe koje sadrže

kisik te tako poboljšavaju adsorpciju polarnih vrsta [8]. Svi ugljični materijali, a tako i aktivni ugljen, imaju poroznu strukturu koja sadrži mali udio heteroatoma kao što su kisik i vodik. Neke vrste aktivnog ugljena sadrže i različite količine mineralnih tvari ovisno o prirodi početne sirovine. Porozna struktura se smatra najvažnijim fizikalnim svojstvom koje karakterizira aktivni ugljen [7].

ZEOLITI su mikroporozni, aluminosilikatni minerali. U mikroporoznoj strukturi imaju otprilike 50 % slobodnog prostora, a površina im je $1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Veličina dimenzija kanala i pora u zeolitnoj strukturi, te fizikalni i kemijski faktori utječu na prolazak kationa i molekula vode. Veličina i oblik unutrašnjih kanala određuju koji će kationi i molekule ući, a koji će ostati izvan kristalne strukture. Aluminosilikati, kao npr. klinoptiolit, koriste se za uklanjanje sljedećih metala iz vode: arsena, bakra, olova i nikla. Najvažnija svojstva zeolita su:

- mogućnost adsorbiranja različitih količina velikog broja komponenata, što uključuje i metalne ione te plinove,
- visoka kemijska, temperaturna i radioaktivna stabilnost,
- mala gustoća te velika praznina u volumenu uzoraka kojima je uklonjena voda i
- reverzibilna adsorpcija vode [9].

SILIKAGEL je amorfni silicijev dioksid (SiO_2). Primijenjuje se kao sredstvo za sušenje zbog velikog adsorpcijskog kapaciteta za vezanje vode. To svojstvo je posljedica slabih veza s vodom i velikog volumena pora. Lakoća u regeneriranju čini silikagel najraširenijim sredstvom za sušenje [10]. Zbog vrlo porozne strukture najvažnije mu je svojstvo veliki adsorpcijski kapacitet. Silikagel je ponajprije vrlo djelotvorno sredstvo za vezanje vode (vlage) i primarno služi za sušenje plinova i kapljevitičkih organskih spojeva. Pritom mu se dodaje plava kobaltova sol, koja u vlažnom stanju postaje ružičasta, što je znak da je silikagel nakupio mnogo vode i da ga zagrijavanjem treba regenerirati. Rabi se i u kozmetičkim i farmaceutskim proizvodima, u kromatografiji kao adsorbens, za izdvajanje pojedinih komponenata iz plinovitih ili kapljevitičkih smjesa, za rafinaciju mineralnih ulja, kao nosač katalizatora i dr. Najpoznatija je i najjeftinija industrijska higroskopna tvar. Koristi se u tekstilnoj i obućarskoj industriji (često se može

primijetiti u malim papirnatim vrećicama, u obliku kuglica, u novokupljenim kutijama od cipela) [11].

2.1.4. PRIMJENA ADSORPCIJE

U tablici 1. prikazana je komercijalna upotreba prethodno navedenih adsorbensa. Prikazani su primjeri i za separaciju i za pročišćavanje. Ta dva procesa razlikuju se po koncentraciji komponente koja se adsorbira [5].

Tablica 1. Prikaz primjene adsorpcije u procesima separacije i pročišćavanja

Naziv procesa	Korišteni adsorbensi
A) Pročišćavanje plinova	
• Uklanjanje organskih tvari iz dimnjaka	Aktivni ugljen, silikagel i drugo
• Uklanjanje SO ₂ iz dimnjaka	Aktivni ugljen, zeoliti
• Uklanjanje otapala i mirisa iz zraka	Aktivni ugljen, silikati
• Uklanjanje CO ₂ iz prirodnog plina	Zeoliti
B) Separacija plinova	
• N ₂ / O ₂	Zeoliti
• H ₂ O / etanol	Zeoliti
• CO, CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ /H ₂	Aktivni ugljen zajedno sa zeolitima
C) Pročišćavanje tekućina	
• Uklanjanje organskih tvari iz vode	Aktivni ugljen, silikagel
• Obezbojavanje otopina	Aktivni ugljen
• Uklanjanje sumporovih spojeva iz organskih otopina	Zeoliti i drugo
D) Separacija tekućina	
• Normalni parafini / izoparafini	Zeoliti
• <i>p</i> -ksilen / drugi aromati	Zeoliti
• Fruktaza / glukoza	Zeoliti

2.2. LITERATURNI PREGLED

Noutsopoulos i sur. (2015) [12] ispitivali su učinkovitost adsorpcije kroz kolone s granuliranim aktivnim ugljenom kako bi se uklonila onečišćenja iz vode, te dobila krivulja ovisnosti omjera izlazne koncentracije i ulazne koncentracije o vremenu. Ispitivane su komponente koje uzrokuju endokrine poremećaje – Bisfenol-A (BPA) i Triklosan (TCS) te nesteroidne droge: Ibuprofen (IBU), Naproksen (NPX) i Ketoprofen (KFN). Koristila se koncentracija od $2 \mu\text{g L}^{-1}$. Rezultati su pokazali da su ispitivane tvari uspješno uklonjene adsorpcijom s granuliranim aktivnim ugljenom. Najučinkovitijem postotku uklanjanja bio je izložen TCS (86,7 %).

U sljedećoj studiji Rakić i sur. (2014) [13] ispitivali su adsorpciju farmaceutski aktivnih komponenata – salicilne kiseline, acetilsalicilne kiseline, atenolola i diklofenaka-Na na aktivnom ugljenu. Kao adsorbensi korištena su tri različita komercijalna aktivna ugljena približno sljedećih površina: 650, 900 i $1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Adsorpcija je istraživana u vodenim otopinama pri 303 K šaržnim adsorpcijskim postupkom i mikrokolorimetrijskom titracijom. Dobiveni maksimalni kapaciteti zadržavanja povezani su sa strukturnim svojstvima korištenog aktivnog ugljena. Dobiveni rezultati omogućili su da se procijeni mogućnost upotrebe aktivnog ugljena u uklanjanju farmaceutika adsorpcijom. Studija je otkrila važnost nekoliko parametara koji mogu utjecati na adsorpciju farmaceutika aktivnim ugljenom iz vodenih otopina: karakteristike tvari koja onečišćuje, molekularna struktura i značajke aktivnog ugljena. Kao što je i očekivano, aktivni ugljen s izraženim najboljim strukturnim svojstvima je pokazao najveću adsorpcijsku moć. Izbor aktivnog ugljena ovisi o strukturi i karakteristikama pojedinih farmaceutski aktivnih komponenata.

Istraživana je šaržna adsorpcija triciklina (TC) u vodenoj otopini koristeći aktivni ugljen pripremljen od koštice marelice. Adsorbens je dobiven kemijskom aktivacijom uz korištenje fosforne kiseline. Vrijednost specifične površine je $307,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, ukupni volumen pora $0,191 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ i srednji promjer pora je 1,957 nm. Analiza je pokazala da se dobiveni aktivni ugljen naročito sastojao od mezopora (61,1 %). Istraživani su i utjecaj količine adsorbensa,

kontaktnog vremena, početne koncentracije TC-a, temperature i početne pH otopine TC-a. Termodinamička analiza je otkrila da je adsorpcijski proces endoterman i spontan. Istraživane su i adsorpcijske izoterme i pokazano je da Freundlichov model najbolje opisuje ravnotežne adsorpcijske podatke. Maksimalni adsorpcijski kapacitet TC-a na aktivnom ugljenu je $308,33 \text{ mg g}^{-1}$. Rezultati su pokazali uspješnu primjenu sintetiziranog aktivnog ugljena za učinkovito uklanjanje TC-a [14].

Sheng i sur. (2016) [15] ispitivali su sljedeće postupke za pročišćavanje voda: ultrafiltracija (UF), korištenje PAC, koagulacija (COA) te kombinacija tih postupaka (PAC/UF, COA/UF) kako bi se uklonili određeni farmaceutici. Rezultati su pokazali vrijednosti učinkovitosti od 29 %, 50 %, 7 % za koncentracije UF-a i PAC-a od 50 mg L^{-1} i za COA od 10 mg L^{-1} . Kada se upotrijebila koncentracija PAC-a od 100 mg L^{-1} za postupak koji prethodi kombiniranom PAC/UF membranskom postupku, postignuta je učinkovitost uklanjanja od 90,3 %. Učinkovitost uklanjanja onečišćenja kombiniranim postupkom COA/UF bila je 33 %, što je porast od svega 4 % u odnosu na samostalnu ultrafiltraciju. Također je pokazano da PAC ima ograničene mogućnosti uklanjanja nečistoća. U prosjeku, 27 % onečišćenja uklonjeno je 10 mg L^{-1} otopinom PAC-a, 50 % onečišćenja eliminirano je 50 mg L^{-1} otopinom, a otopina koncentracije 100 mg L^{-1} uklonila je 39 % farmaceutika. Eksperimentalni podatci pokazali su da je pri koncentracijama većim od 50 mg L^{-1} dio čestica aktivnog ugljena, koje su raspršene po površini, neznatan, a da je ostatak ustaljen. To upućuje na činjenicu da je pri 50 mg L^{-1} postignut stupanj zasićenja aktivnog ugljena. Pri koncentracijama znatno većim od 50 mg L^{-1} preostale neotopljene čestice PAC-a “nose” određenu količinu farmaceutika koji plutaju na površini i na taj način doprinose čistoći vode.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

Adsorpcija albendazola ispitivana je na praškastom aktivnom ugljenu. Karakteristike aktivnog ugljena prikazane su u tablici 2., a karakteristike albendazola u tablici 3.

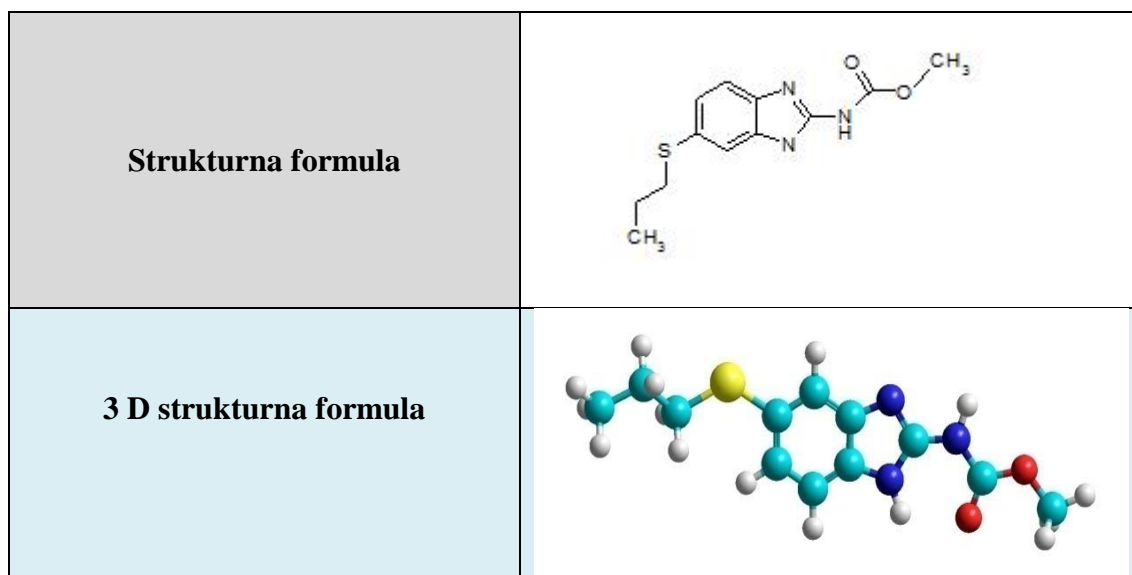
Tablica 2. Prikaz općih svojstava aktivnog ugljena

Puni naziv	Aktivni ugljen u prahu
Prozvođač	Lachner, Češka
Molna masa (g mol^{-1})	12,01
Specifična aktivna površina ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)^a	873,0753

a – dobivena uređajem za plinsku adsorpcijsku-desorpcijsku analizu Micromeritics ASAP 2000 B.E.T. metodom

Tablica 3. Prikaz općih svojstava albendazola

IUPAC ime	metil-N-[6-(propilsulfanil)-1H-1,3-benzodiazol-2-il] karbamat
Molna masa (g mol^{-1})	265,33
Log $K_{O/W}$	3,07
Dipolni moment, μ (D)	4,33
Bruto formula	$\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}$



Gdje je: ● sumpor ● dušik
 ● kisik ● ugljik
 ○ vodik

3.2. OPIS UREĐAJA ZA ANALIZU

Za analizu uzorka albendazola korišten je kromatografski sustav Varian ProStar 500 (Walnut Creek, Kalifornija, SAD). Sustav se sastoji od ProStar 330 detektora s nizom dioda (DAD, eng. Diode Array Detector), ProStar 230 tercijarne pumpe, ProStar 410 uređaja za automatsko doziranje uzoraka i odabrane kolone InterSustain™ 250 x 4,6 mm, 5 μm (GL Sciences, Tokio, Japan). Nepokretna faza odabrane kolone je RP18 odnosno kolona za kromatografiju obrnute faze, a kao pokretna faza korištena je binarna smjesa otapala A (0,01 % mravlje kiseline u MilliQ vodi) i otapala B (0,01 % mravlje kiseline u acetonitrilu) uz gradijentno eluiranje. Protok pokretne faze bio je 0,5 mL min⁻¹. Svaki uzorak injektiran je 2 puta po 30 μL ($\gamma=10 \text{ mg L}^{-1}$, $\gamma=5 \text{ mg L}^{-1}$), a nakon analize kolona se prala otopinom acetonitrila (w=65 %) protokom 0,5 mL min⁻¹. Površina kromatografske krivulje i identifikacija albendazola u realnim uzorcima provedena je pri valnoj duljini od 210 nm kod vremena zadržavanja 22,973

minute. Granica detekcije i granica određivanja za albendazol pri navedenim kromatografskim uvjetima je $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ odnosno $0,50 \text{ mg L}^{-1}$.

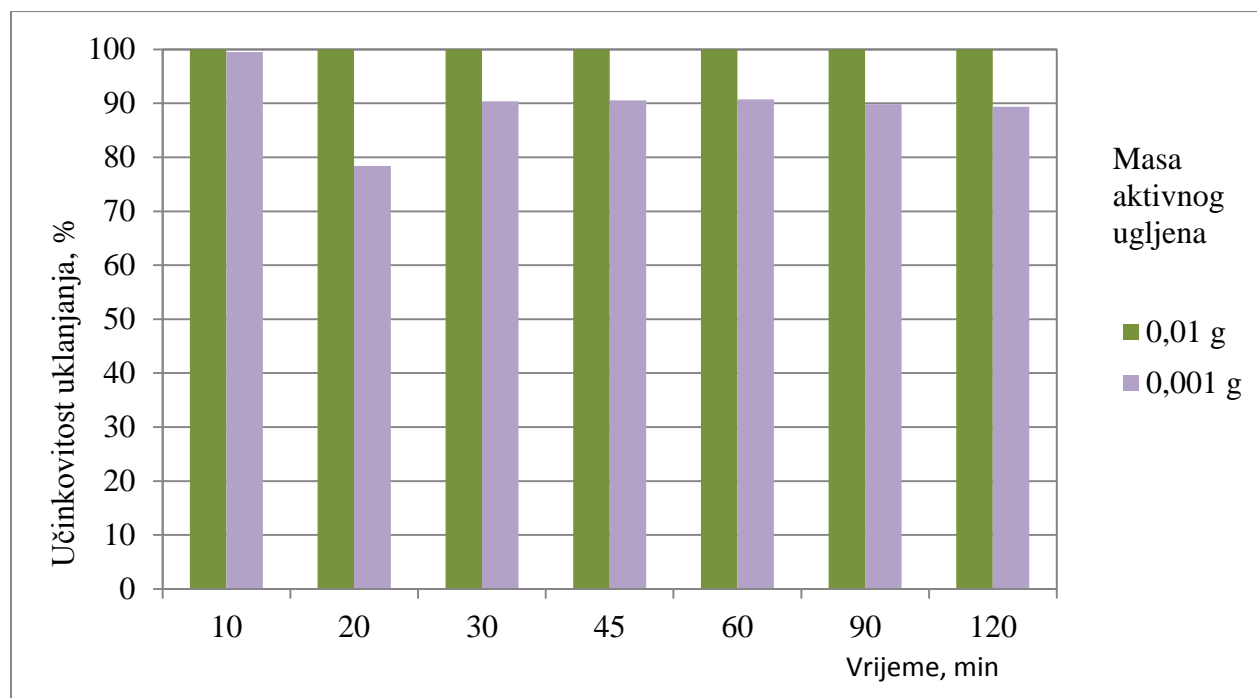
3.3. POSTUPAK I UVJETI RADA

U eksperimentalnom dijelu korišteno je standardno laboratorijsko posuđe: pipeta od 100 mL, pipeta od 1 mL, kapaljka, tikvica od 500 mL, reagens boce, lijevak, žličica te posudica za vaganje. Za održavanje temperature adsorpcijske ravnoteže upotrebljen je termostat. Zbog tromosti zagrijavanja vode u termostatu bilo ga je potrebno uključiti 10 minuta prije samog izvođenja eksperimenta. Priredile su se otopine albendazola u tikvicama od 500 mL. Koncentracija su bile sljedeće: $c=2,96 \text{ mg L}^{-1}$, $c=3,915 \text{ mg L}^{-1}$, $c=3,93 \text{ mg L}^{-1}$, $c=4,825 \text{ mg L}^{-1}$ $c=6,015 \text{ mg L}^{-1}$. U posudici za vaganje su se vagale odvage aktivnog ugljena za svaku od otopina. Mase odvaga su bile sljedeće: 0,001, 0,01, 0,1 i 1 g. U reagens bocu se dodala jedna odvaga aktivnog ugljena i potom trbušastom pipetom otpipetirao alikvot od 100 mL pripremljene otopine albendazola koju je trebalo dobro pomiješati s aktivnim ugljenom. Isti postupak se ponavljao i za sljedeće odvage aktivnog ugljena. Nakon što su se pripremile sve otopine, bilo ih je potrebno staviti u termostat u što kraćem vremenu jer adsorpcija krene odmah nakon kontakta adsorbensa i otopine. Nakon 10, 20, 30, 45, 60, 90 i 120 min iz svake reagens boce uzimao se 1 mL otopine, filtrirao kroz $0,45 \mu\text{m}$ filter i stavljao u vijalice koje su se analizirale na HPLC-DAD. Temperatura tijekom svih eksperimenata je bila $30,05 \pm 0,02 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Ispitivano je uklanjanje albendazola iz binarne otopine na aktivni ugljen pri različitim koncentracijama albendazola i različitim masama aktivnog ugljena. Iz sljedećih grafičkih prikaza ovisnosti učinkovitosti uklanjanja, %, i kontaktnog vremena, min, može se uočiti da je početno vrijeme, tj. prvih 10 – 30 min, od najveće važnosti za adsorpciju, odnosno u tom vremenu se adsorbira najveća količina albendazola na aktivni ugljen. Razlog tome je hidrofobnost albendazola ($\log K_{o/w}=3,07$) te njegove velike koncentracije: $c=2,96 \text{ mg L}^{-1}$, $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$, $c=3,93 \text{ mg L}^{-1}$, $c=4,82 \text{ mg L}^{-1}$ i $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$.

Slika 4.1. prikazuje ovisnost učinkovitosti uklanjanja o vremenu za koncentraciju albendazola $c=2,96 \text{ mg L}^{-1}$ pri masama aktivnog ugljena od 0,01 g i 0,001 g.



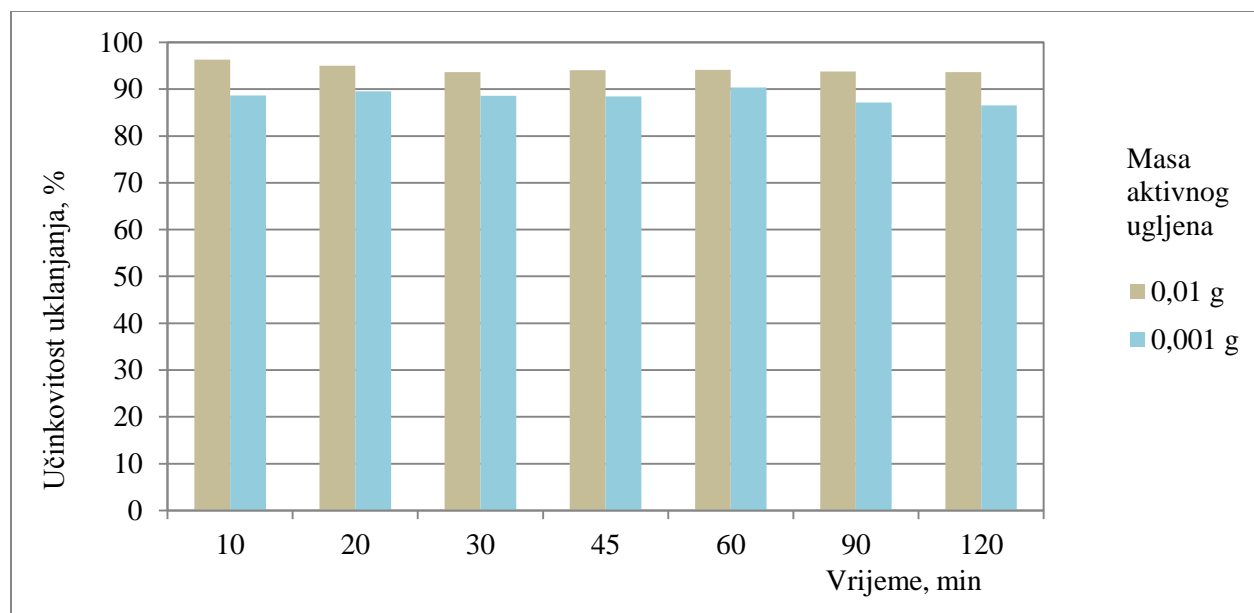
Slika 4.1. Grafički prikaz ovisnosti uklanjanja (%) o vremenu (min) za koncentraciju albendazola $c=2,96 \text{ mg L}^{-1}$

Za najmanju korištenu koncentraciju koristile su se mase aktivnog ugljena u iznosu od 0,01 i 0,001 g. Rezultati na slici 4.1. prikazuju da je adsorpcija albendazola na aktivni ugljen u prvih 10 min gotovo potpuna. Za masu od 0,01 g dobiveno je 99,9 %, dok je za masu od 0,001 g dobiveno 99,5 %. Daljnji tok eksperimenta pokazao je da za količinu aktivnog ugljena 0,01 g nije došlo ni do kakvih promjena što znači da je adsorpcija bila jako uspješna (uklanjanje je tijekom 120 min bilo > 99,9 %) i da je adsorpcija bila jako brza (došlo je do ravnoteže u prvih 10 min ispitivanja).

Međutim, kod najmanje mase aktivnog ugljena došlo je do porasta koncentracije albendazola u otopini što je rezultiralo smanjenjem uspješnosti uklanjanja. Nakon dodatnih 10 min ispitivanja uspješnost je bila 78,4 %. Od 30 do 120 min uklanjanje se stabiliziralo na oko 90 % što vjerojatno potvrđuje da je došlo do uspostavljanja ravnotežnog stanja adsorpcije i desorpcije. S obzirom na jako malu masu adsorbensa vjerojatno je prvo došlo do desorpcije albendazola s površine aktivnog ugljena (20 min pokusa), te je u nastavku rada došlo do uspostavljanja ravnotežnog stanja.

Na slici 4.2. prikazana je ovisnost učinkovitosti uklanjanja o vremenu pri koncentraciji albendazola $c=3,93 \text{ mg L}^{-1}$ te masama aktivnog ugljena $m=0,01 \text{ g}$ i $m=0,001 \text{ g}$.

Sljedeći korak u istraživanju bio je povećanje koncentracije i upotreba iste količine aktivnog ugljena. Rezultati za koncentraciju $3,93 \text{ mg L}^{-1}$ pokazuju da je došlo do zadovoljavajućeg i stabilnog uklanjanja, međutim opet je dobiveno malo bolje uklanjanje s većom masom aktivnog ugljena. Za masu od 0,01 g aktivnog ugljena dobivena su zadržavanja u rasponu od 93,6 do 96,3 %, a za 0,001 g u rasponu od 86,5 do 88,7 %.

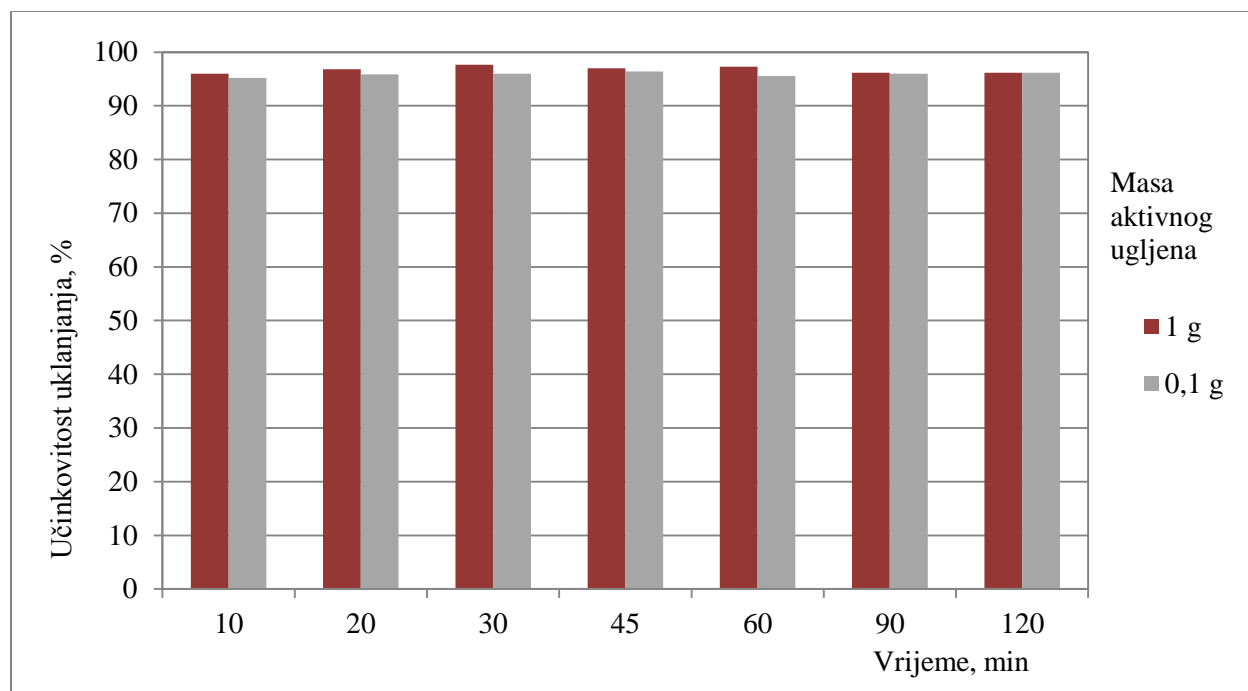


Slika 4.2. Grafički prikaz ovisnosti učinkovitosti uklanjanja (%) o vremenu (min) za koncentraciju albendazola, $c=3,93 \text{ mg L}^{-1}$

Dakle, može se primijetiti da povećanjem koncentracije dolazi do pada uklanjanja, tj. vjerojatno aktivni ugljen nema dovoljno adsorpcijskih mjesta na koja bi se albendazol vezao. Također, primijećuje se da je povoljnija masa od 0,01 g.

Ovisnost učinkovitosti uklanjanja o vremenu za koncentraciju albendazola $c=4,82 \text{ mg L}^{-1}$ pri masama aktivnog ugljena od 1 g i 0,1 g prikazana je na slici 4.3.

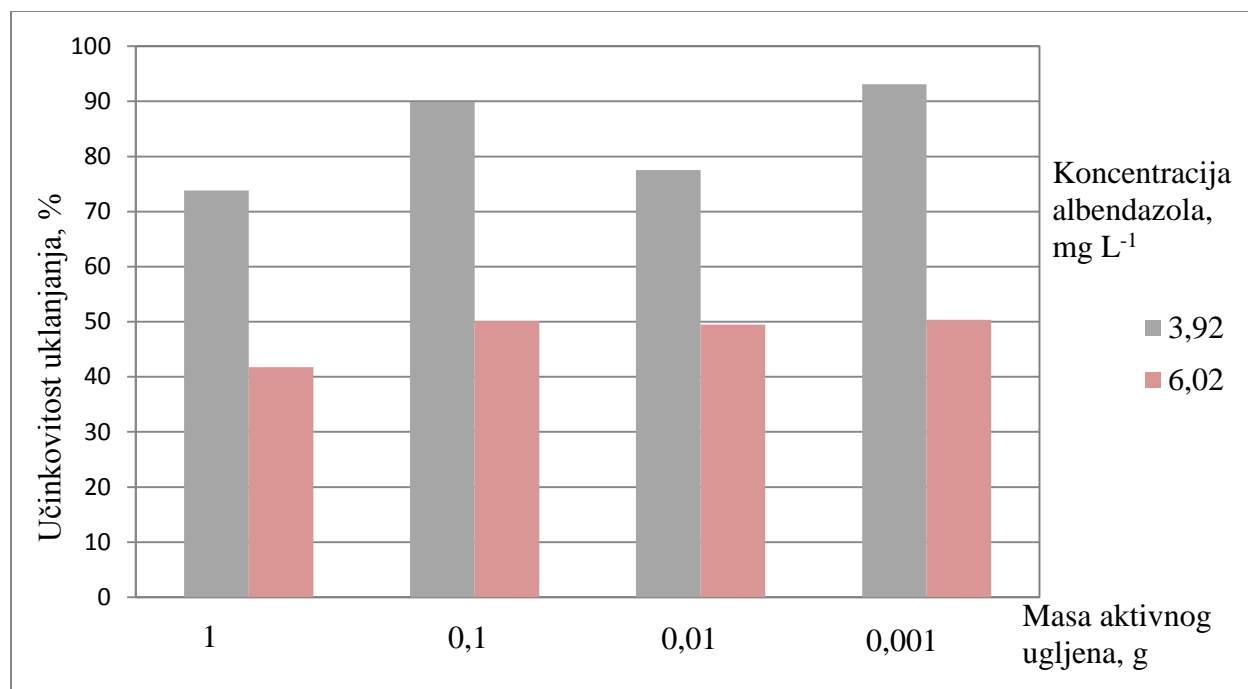
Za adsorpciju zadane koncentracije albendazola korištene su mase aktivnog ugljena od 1 g i od 0,1 g. Rezultati su ponovno pokazali da je pri većoj masi aktivnog ugljena postignuta i veća učinkovitost uklanjanja, 97,6 %. Manja masa ne pokazuje lošiju uspješnost u uklanjanju. Pri masi od 0,1 g vrijednost uklanjanja farmaceutika umanjena je za svega 1,2 %. Uklanjanje je bilo iznimno stabilno tijekom 120 min, a i adsorpcija je bila brza jer je ravnoteža postignuta već nakon 10 min.



Slika 4.3. Grafički prikaz ovisnosti učinkovitosti uklanjanja (%) o vremenu (min) za koncentraciju albendazola, $c=4,82 \text{ mg L}^{-1}$

Na slici 4.4. prikazana je ovisnost učinkovitosti uklanjanja dviju koncentracija albendazola, $3,92 \text{ mg L}^{-1}$ i $6,02 \text{ mg L}^{-1}$, pri četiri mase aktivnog ugljena, 1 g, 0,1 g, 0,01 g, 0,001 g u vremenu od 10 minuta.

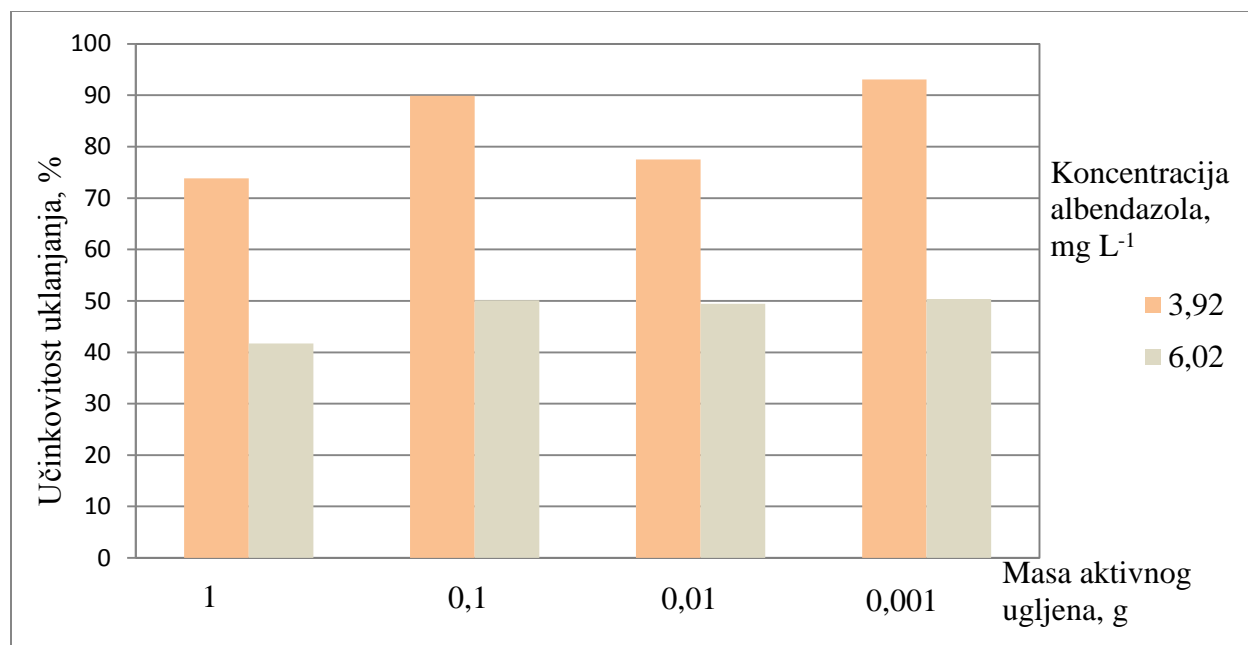
U prvih 10 minuta postignuta je visoka vrijednost uklanjanja za koncentraciju albendazola od $3,92 \text{ mg L}^{-1}$. Dobiveni rezultati pokazuju da se uklanjanje kreće u rasponu od 73,8 % do 93,1 % za koncentraciju $3,92 \text{ mg L}^{-1}$. Također se može primijetiti da dolazi do povećanja učinkovitosti uklanjanja sa smanjenjem mase, osim izuzetka od 0,01 g aktivnog ugljena. Kod veće koncentracije, $6,02 \text{ mg L}^{-1}$, dobiveno je drugačije ponašanje. Uklanjanje za najveću masu (1 g) bilo je 41,7 % dok je kod ostalih masa skoro identičan (oko 50 %).



Slika 4.4. Grafički prikaz ovisnosti učinkovitosti uklanjanja (%) za koncentracije albendazola: $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$ i $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$, pri masama aktivnog ugljena: $m=1 \text{ g}$, $m=0,1 \text{ g}$, $m=0,01 \text{ g}$, $m=0,001 \text{ g}$ u vremenu od 10 minuta

Zapravo, najbolje uklanjanje, 93,1 %, postignuto je uz masu aktivnog ugljena od 0,001 g. Koncentracija albendazola od $6,02 \text{ mg L}^{-1}$ slijedi sličan obrazac. Pri najmanjoj masi aktivnog ugljena postignuto je uklanjanje od 50,3 %. Postotak uklanjanja za veću koncentraciju je skoro upola manji u odnosu na manju koncentraciju što se opet može pripisati svojstvima aktivnog ugljena. Aktivni ugljen vjerojatno nema broj adsorpcijskih mjesta koji bi bio dovoljan da veže veće količine albendazola kao što je to slučaj pri manjoj koncentraciji farmaceutika.

Ovisnost učinkovitosti uklanjanja za dvije koncentracije albendazola, $3,92 \text{ mg L}^{-1}$ i $6,02 \text{ mg L}^{-1}$, o masama aktivnog ugljena od 1 g, 0,1 g, 0,01 g te 0,001 g u vremenu $t=120 \text{ min}$ prikazana je na slici 4.5.

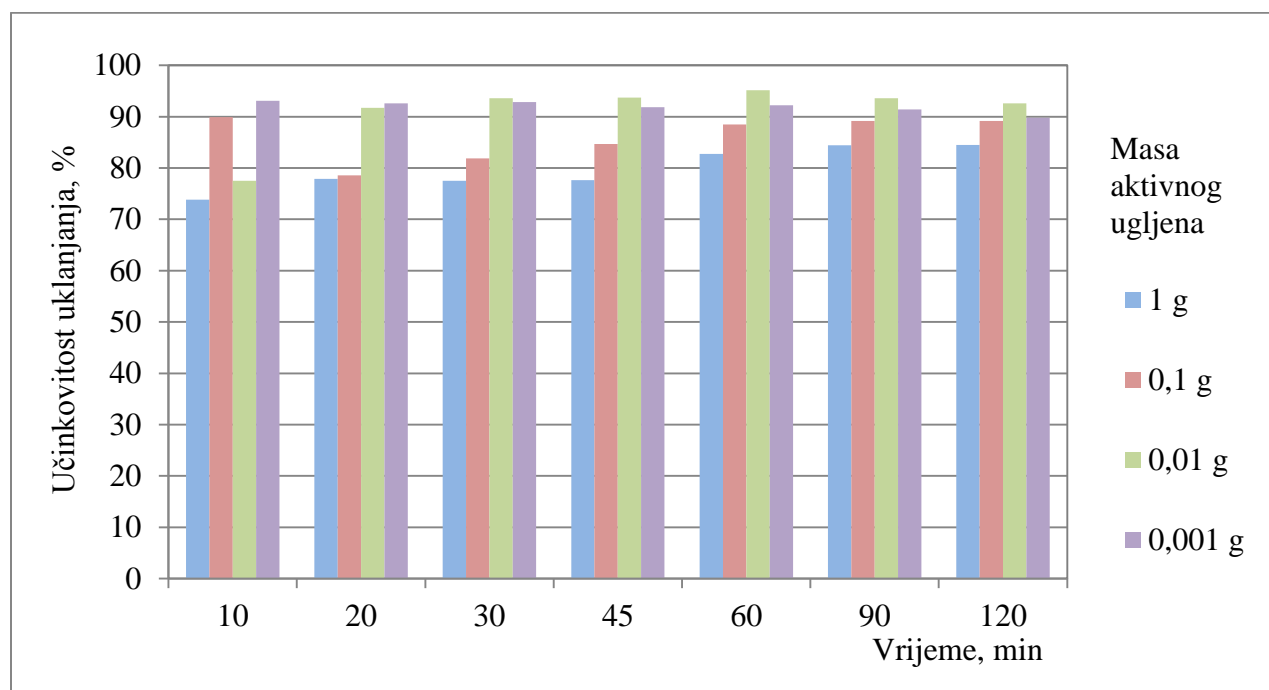


Slika 4.5. Grafički prikaz ovisnosti učinkovitosti uklanjanja (%) za koncentracije albendazola $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$ i $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$ o masama aktivnog ugljena $m=1 \text{ g}$, $m=0,1 \text{ g}$, $m=0,01 \text{ g}$, $m=0,001 \text{ g}$ u vremenu $t=120 \text{ min}$

Kao što je to i očekivano, vrijednosti uklanjanja u vremenu $t=120 \text{ min}$ u odnosu na $t=10 \text{ min}$, nisu se znatno promijenile. I dalje su vrijednosti uklanjanja za veću koncentraciju $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$ manje u odnosu na koncentraciju $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$, odnosno vrijeme adsorpcije tu nije imalo značajniju ulogu. Vrijednosti po završetku adsorpcije ne razlikuju se znatno od početnih. To pokazuje da je vjerojatno uspostavljeno ravnotežno stanje adsorpcije i desorpcije. Za koncentraciju albendazola $3,92 \text{ mg L}^{-1}$ dobiveni su sljedeći rezultati: za masu aktivnog ugljena od 1 g učinkovitost je $84,5 \%$, za masu $0,1 \text{ g}$ je $89,1 \%$, za masu $0,01 \text{ g}$ iznosi $92,6 \%$, a za $m=0,001 \text{ g}$ učinkovitost je $89,8 \%$.

Pri koncentraciji albendazola $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$ postignuti su sljedeći rezultati: pri masi aktivnog ugljena od 1 g uklanjanje je iznosilo $53,0 \%$, za masu $0,1 \text{ g}$ bilo je $50,8 \%$, za masu $0,01 \text{ g}$ iznosilo je $49,0 \%$, a učinkovitost od $47,8 \%$ postignuta je pri masi od $0,001 \text{ g}$. Za koncentraciju $3,92 \text{ mg L}^{-1}$ odstupanje od početne do krajnje vrijednosti je svega $\pm 2,7 \%$, a za koncentraciju $6,02 \text{ mg L}^{-1}$ je $\pm 1,1 \%$.

Na slici 4.6. prikazana je grafička ovisnost učinkovitosti uklanjanja albendazola koncentracije $3,92 \text{ mg L}^{-1}$ iz otopine o kontaktnom vremenu.



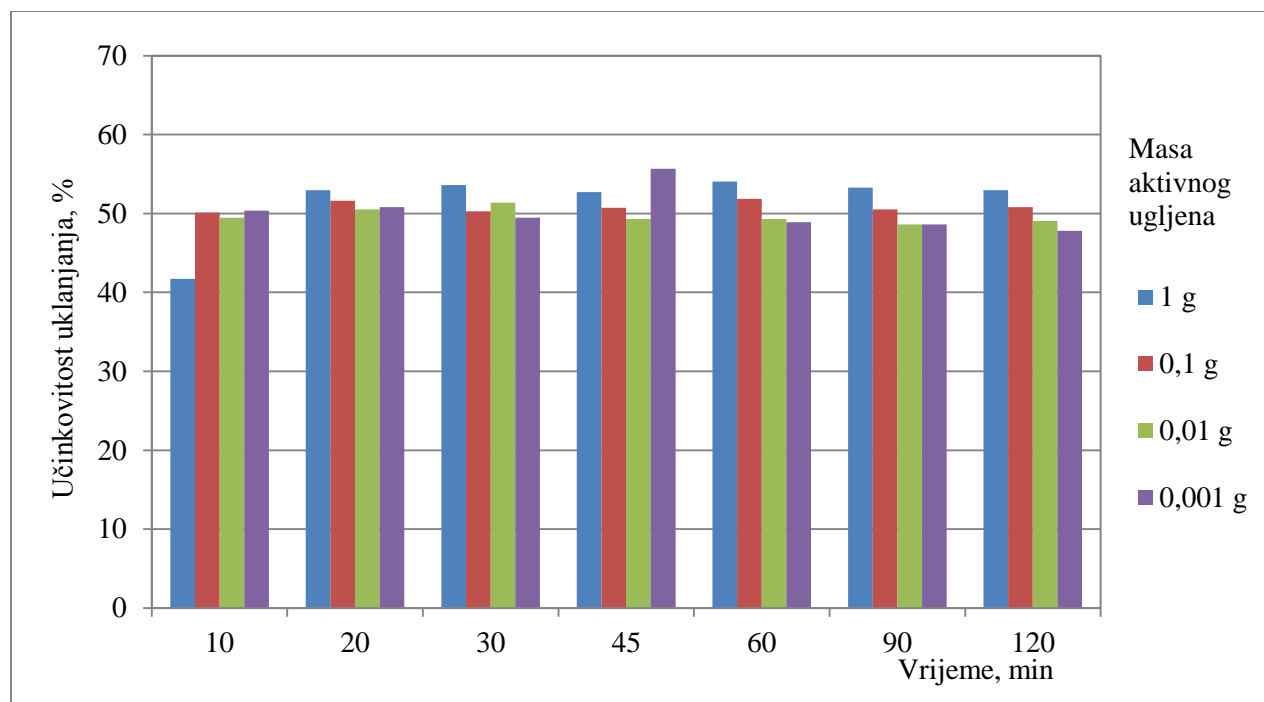
Slika 4.6. Grafički prikaz ovisnosti učinkovitosti uklanjanja (%) o vremenu (min) za koncentraciju albendazola, $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$

Postupak je rađen s četiri otopine albendazola iste koncentracije, ali različitih masa aktivnog ugljena ($m=0,001 \text{ g}$, $m=0,01 \text{ g}$, $m=0,1 \text{ g}$ i $m=1 \text{ g}$). Najveće uklanjanje, za navedenu koncentraciju, dobiveno je za masu aktivnog ugljena $0,01 \text{ g}$ i slijedi s malom razlikom $0,001 \text{ g}$. Najveće uklanjanje s masom od $0,01 \text{ g}$ bilo je $95,2 \%$, a za masu $0,001 \text{ g}$ $93,1 \%$. Ostale ispitivane mase pokazale su uklanjanje manje za 10 do 20 %. Za masu od 1 g uklanjanje se kretalo u rasponu od $73,8$ do $84,5 \%$, dok je za $0,1 \text{ g}$ bilo nešto uspješnije i kretalo se između $78,5$ i $89,1 \%$.

Međutim, na slici 4.6. može se primijetiti raznoliko ponašanje adsorpcije na ispitivanim količinama aktivnog ugljena. Naime, kod mase od 0,001 g, koja je pokazala najbolje uklanjanje, vidi se da je uspostavljeno ravnotežno stanje nakon 10 min. Slično ponašanje dobiveno je za masu 0,01 g s jedinom razlikom da je bilo potrebno 20 min da dođe do ravnoteže i konstantnog uklanjanja. Masa aktivnog ugljena 0,1 g pokazala je rast uklanjanja do 60 minute kada dolazi do uspostavljanja ravnoteže. Uspješnost uklanjanja nakon 10 min mase od 0,1 g bila je 90 % i ne odgovara pravilu ponašanja u sljedećim koracima eksperimenta. Ili je došlo do eksperimentalne pogreške ili je nakon 10 min došlo do snažne adsorpcije nakon čega je slijedila desorpcija i naknadne adsorpcije do uspostavljanja ravnoteže. Kod najveće ispitivane mase (1 g) vidi se kontinuiran lagani porast uklanjanja što znači da je bilo potrebno dosta vremena da dođe do ravnotežnog stanja. U ovim uvjetima (1 g aktivnog ugljena i koncentracija 3,92 mg L⁻¹) bilo je potrebno oko 90 minuta.

Slika 4.7. prikazuje ovisnost učinkovitosti uklanjanja o kontaktnom vremenu za najveću ispitivanu koncentraciju albendazola od 6,02 mg L⁻¹.

I za ovaj slučaj može se primijetiti variranje vrijednosti u grafičkom prikazu. Naime, za masu aktivnog ugljena od 1 g ravnoteža je nastupila nakon 20 min, a učinkovitost je bila u rasponu od 41,7 % do 54,0 %. Pri ovoj masi postignuta je najveća učinkovitost uklanjanja. Kod masa od 0,1 g i 0,01 g ravnoteža je uspostavljena već nakon 10 minuta i do samog kraja adsorpcije uklanjanje je bilo kontinuirano. Uklanjanje pri masi od 0,1 g iznosilo je 51,9 %, a pri masi od 0,01 g je bilo 51,4 %. Masa od 0,001 g pokazuje odstupanje u odnosu na prethodne tri mase. Kod nje je prikazan porast adsorpcije te nakon 45 min dolazi do lagane desorpcije, a samim time i do pada vrijednosti uklanjanja. Razlog tome je ili eksperimentalna pogreška ili znatna adsorpcija do 45 min nakon koje je uslijedila desorpcija i ponovna adsorpcija sve do uspostavljanja ravnoteže.



Slika 4.7. Grafički prikaz učinkovitosti uklanjanja (%) o vremenu (min) za koncentraciju albendazola, $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$

Ako se rezultati usporede s koncentracijom otopine albendazola, $c=3,93 \text{ mg L}^{-1}$ iz slike 4.6., jasno se vide velike razlike u vrijednostima učinkovitosti uklanjanja. Pri većoj koncentraciji albendazola rezultati daju skoro upola lošije rezultate, nego što je to slučaj pri koncentraciji od $3,93 \text{ mg L}^{-1}$. Razlog toj lošijoj uspješnosti uklanjanja vjerojatno leži u činjenici da se veća koncentracija albendazola ne može adsorbirati na ograničen broj adsorpcijskih mjesta na aktivnom ugljenu.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je ispitati učinkovitost adsorpcije na praškastom aktivnom ugljenu, tj. uklanjanje albendazola iz MilliQ vode na različitim masama aktivnog ugljena. Koncentracije albendazola bile su od 2,96 mg L⁻¹ do 6,02 mg L⁻¹. Za svih pet koncentracija albendazola koje su se koristile, nije bilo moguće provesti adsorpciju na četiri mase aktivnog ugljena. Razlog je taj što na samom početku eksperimenta nismo imali saznanja o teškoj topljivosti albendazola zbog koje je bilo teško pripremiti dvije otopine istih koncentracija. I stoga, samo otopine albendazola koncentracija $c=3,92 \text{ mg L}^{-1}$ i $c=6,02 \text{ mg L}^{-1}$ imaju vrijednosti uklanjanja pri sve četiri mase jer su samo one napravljene u tikvicama od 500 mL, odnosno taj volumen je bio dovoljan za ispitivanje adsorpcije pri svim zadanim masama aktivnog ugljena.

Iz provedenih ispitivanja, zaključci su sljedeći:

1. Stabilizirane vrijednosti uklanjanja posljedica su uspostavljenog ravnotežnog stanja adsorpcije i desorpcije.
2. Smanjena uspješnost uklanjanja pri nekim masama aktivnog ugljena uvjetovana je ograničenim brojem adsorpcijskih mjesta na koja se može vezati albendazol.
3. Za manje mase aktivnog ugljena primijećena je prvotno desorpcija albendazola s površine aktivnog ugljena nakon koje se uspostavilo ravnotežno stanje.

6. LITERATURA

- [1] **Bansal, R.C., Goyal, M.**, Activated Carbon Adsorption, Taylor & Francis, Boca Raton, 2005., str. 472.
- [2] **Ivošević, I.**, Utjecaj vrste aktivnog ugljena pri kondicioniranju vode za piće, diplomski rad, Građevinski fakultet u Osijeku, 2015.
- [3] <http://www.chemistrylearning.com/adsorption-isotherm/>, 9.9.2016.
- [4] **Atkins, P., de Paula, J.**, Atkin's Physical Chemistry, 8th Ed. Oxford University Press, W. H. Freeman and Company, New York, 2006., str. 1052.
- [5] **Yang, R.T.**, Adsorbents–Fundamentals and Applications, A John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2003., str. 410.
- [6] **Dabrowski, A.**, Adsorption-from theory to practice, Adv. Colloid. Interfac., **93** (2001) 135-224.
- [7] **Menéndez-Díaz, J.A., Martín-Gullón, I.**, Types of carbon adsorbents and their production, Interface Sci. Technol., **7** (2006) 1-48.
- [8] **Nwabanne, J.T., Igbokwe, P.K.**, Application of Response Surface Methodology for Preparation of Activated Carbon from Palmyra Palm Nut, International Journal of Applied Science and Technology, **5** (9) (2012) 18-25.
- [9] **Ersoz, M., Barrott, L.**, Best Practice Guide on Metals Removal from Drinking Water by Treatment, IWA Publishing, London, 2012., str. 136.

[10] **Bhatnagar, A., Minocha, A.K.**, Conventional and non-conventional adsorbents for removal of pollutants from water—A review, *Indian J. Chem. Techn.*, **13** (2006) 203-217.

[11] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=55959>, 26.6.2016.

[12] **Noutsopoulos, C., Mantziaras, I., Gioldasi, M.**, Removal of emerging pollutants through Granular Activated Carbon, *Chem. Eng. J.*, **280** (2015) 49-57.

[13] **Rakić, V., Krmar, M., Auroux, A.**, The adsorption of pharmaceutically active compounds from aqueous solutions onto activated carbons, *J. Hazard. Mater.* **282** (2015) 141-149.

[14] **Marzbali, M.H., Esmaili, M., Abolghasemi, H., Marzbali M.H.**, Tetracycline adsorption by H₃PO₄-activated carbon produced from apricot nut shells: A batch study, *Process Saf. Environ.*, **102** (2016) 700-709.

[15] **Sheng, C., Agwu Nnanna, A.G., Liu, Y., Vargo, J.D.**, Removal of Trace Pharmaceuticals from Water using coagulation and powdered activated carbon as pretreatment to ultrafiltration membrane system, *Sci. Total Environ.*, **550** (2016) 1075-1083.

7. POPIS SIMBOLA I OZNAKA

<i>a</i>	količina adsorbirane tvari iz otopine (mmol g^{-1})
<i>c</i>	ravnotežna koncentracija otopine (mol dm^{-3})
COA	koagulacija
GAC	granulirani aktivni ugljen
<i>K</i>	kapacitet adsorpcije
<i>m</i>	masa tvari (g)
PAC	praškasti aktivni ugljen
<i>t</i>	vrijeme (min)
UF	ultrafiltracija
<i>1/n</i>	intenzitet adsorpcije

8. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 21. listopada 1994. u Metkoviću. Osnovnoškolsko obrazovanje završila sam u OŠ Stjepana Radića, a srednjoškolsko u Prirodoslovno - matematičkoj gimnaziji. Od 2013. studentica sam Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Stručnu praksu sam odradila u Plivi.