

**МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА  
У БЕОГРАДУ**

**МАТУРСКИ РАД**

**из хемије**

**УТИЦАЈ Ca(II) ЈОНА НА СОРПЦИЈУ Sr(II) ЈОНА  
РАЗЛИЧИТИМ МАТЕРИЈАЛИМА**

**ментор:**

**др Ивана Смичиклас**

**ученик:**

**Анамарија Николетић IVa**

**Београд, мај 2017.**

## САДРЖАЈ

1. Увод .....	1
2. Теоријски увод .....	3
2.1. Радионуклиди .....	3
2.1.1 Стронцијум-90 .....	3
2.2. Сорбенти .....	4
2.2.1 Зеолити .....	5
2.2.2 Рибље кости .....	6
2.2.3 Љуштуре шкољки .....	7
2.3 Атомска апсорпциона спектрофотометрија .....	7
3. Ток експеримента .....	12
3.1 Коришћене супстанце и уређаји .....	12
3.2 Сорпција .....	12
3.3 ААС .....	13
4. Резултати и дискусија .....	15
5. Закључак .....	21
6. Литература .....	22

## 1. УВОД

Вода је најдрагоценији природни ресурс на планети Земљи неопходан за живот и одрживост биљака, животиња и човека, због чега је неопходно да целокупно становништво брине о њеном правилном коришћењу и заштити. Пораст популације и техничко-технолошки развој довели су до пораста степена искоришћења слатких вода, а у исто време и пораста производње и испуштања загађених отпадних вода различитог порекла у животну средину. Процесима самопречишћавања и прерасподеле путем хидролошког циклуса, водени системи природно смањују концентрацију присутних загађујућих материја. Међутим, због све веће људске активности и непромишљеног испуштања различитих загађујућих материја у водене системе, природни процеси самопречишћавања постали су недовољни за одржавање задовољавајућег квалитета воде. Зато постоји перманентна потреба за једноставним, ефикасним и јефтиним поступцима за њено пречишћавање.



Слика 1. Човеку је потребна незагађена вода

Загађивање воде (слика 2.) дефинише се као било која промена физичких, хемијских и биолошких параметара квалитета воде који имају негативан утицај на биолошке системе. Најчешће се јавља као последица акумулације различитих течних, чврстих и гасовитих загађујућих материја које воде порекло најчешће из индустрије, домаћинства и пољопривреде. Вода загађена, на било који од многобројних начина, сматра се отпадном водом и представља глобални проблем који прати човечанство кроз целу историју његовог постојања.



Слика 2. Загађивање воде

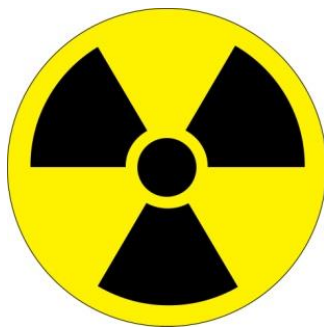
Повећана потражња за чистом водом широм света привукла је пажњу великог броја научних институција и индустрије које су имале за циљ развијање ефикасне и економичне технологије за пречишћавање отпадних вода. Избор методе којом се врши пречишћавање отпадних вода зависи од врсте и концентрације присутних загађујућих материја. Адсорпција у најширем смислу се показала као ефикасна метода за уклањање загађивача из воде. Последњих година, све више се испитују различити алтернативни материјали за сорпциони третман загађених вода. Ово подразумева коришћење отпадних материјала, органског и неорганског порекла, као и материјала доступних из природе.

За одређене отпадне материјале (рибље кости и љуштуре шкољки), као и природне минерале (зеолите) је потврђено да добро сорбују  $\text{Sr}^{2+}$  јон. Њихова потенцијална примена је у сорпцији радиоактивног изотопа стронцијум-90 у морској води. У морској води се у великој количини поред  $\text{Sr}^{2+}$  јона налази и  $\text{Ca}^{2+}$  јон који се понаша слично као стронцијум и може се сорбовати уместо њега. Циљ овог рада је испитивање сорпције  $\text{Sr}^{2+}$  јона у присуству  $\text{Ca}^{2+}$  јона ради одређивања најселективнијег материјала који би се користио за сорпцију радиоактивног стронцијума из морских вода.

## 2. ТЕОРИЈСКИ УВОД

### 2.1 Радионуклиди

Атоми хемијских елемената са нестабилним језгрима носе назив радионуклиди или радиоизотопи. Радионуклиди се у природи налазе у ваздуху, води и земљишту. Појава природне радиоактивности (слика 3.) везана је за процес синтезе језгара. Осим природних радиоизотопа, у атмосфери, води и тлу се могу наћи и неки радионуклиди који су настали након људских (технолошких) активности. Најбројнија група ових вештачки створених радиоизотопа су фисиони продукти (или фрагменти) који настају након цепања тешких језгара, најчешће уранијума и торијума. Фисиони процеси су основни извор енергије, како нуклеарног оружја, тако и процеса који се одвијају у реакторима нуклеарних електрана. То значи да се путем надземних проба нуклеарног оружја или током хаварија у нуклеарним електранама ослобађа извесна количина фисионих фрагмената. Највећи број ових радионуклида имају веома кратак период полураспада и представљају реалну опасност по људску популацију непосредно након пробе нуклеарног оружја или хаварије. Мањи број ових радионуклида имају велики период полураспада и путем ваздушних и водених струја транспортују се на велике дистанце да би се коначно исталожили.

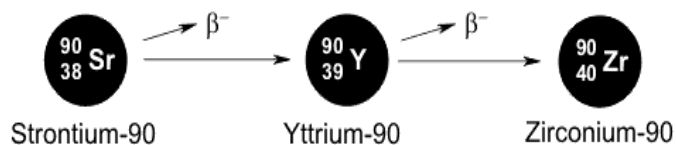


Слика 3. Симбол радиоактивности

#### 2.1.1 Стронцијум-90

Стронцијум-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) је дугоживећи радионуклид који у животну средину долази случајним отпуштањем течног радиоактивног отпада. Стронцијум има неколико радиоактивних изотопа, од којих су  $^{85}\text{Sr}$  и  $^{90}\text{Sr}$  најзаступљенији. Подлеже  $\beta^-$  распаду са

временом полураспада од 28,78 година при којем настају изотоп итријума  $^{90}\text{Y}$ , електрон и антинеутрино (слика 4). Даљим  $\beta^-$  распадом изотопа  $^{90}\text{Y}$  настаје изотоп  $^{90}\text{Zr}$ .



Слика 4.  $\beta^-$  распад стронцијума-90

Еколошки гледано,  $^{90}\text{Sr}$  је опасан због свог релативно дугог времена полураспада и високе енергије  $\beta^-$  распада (0,546 MeV). Такође је веома штетан по здравље јер лако замењује  $\text{Ca}^{2+}$  у људском скелету, индукује зрачење коштане сржи и повећава ризик од настанка рака костију и леукемије.

$^{90}\text{Sr}$  је споредни производ фисије уранијума и плутонијума и не емитује се у животну средину при нормалном функционисању нуклеарних електрана и реактора у истраживачким центрима. Међутим,  $^{90}\text{Sr}$  је један од најважнијих изотопа при несрећама у нуклеарним електранама, случајном цурењу током транспорта елементарног горива, рециклажи отпада итд. Брзо се шири након доспевања у природу због своје велике мобилности и остаје значајно радиоактивно контаминиран током отприлике 10 времена полураспада. Високи нивои контаминације стронцијумом-90 су забележене у седиментима и подземној води на више локација, попут Ханфорда, САД, Оук Риџа, САД и Мајака, Русија. Осим тога, широм света је дошло до контаминације  $^{90}\text{Sr}$  услед тестирања нуклеарног оружја.

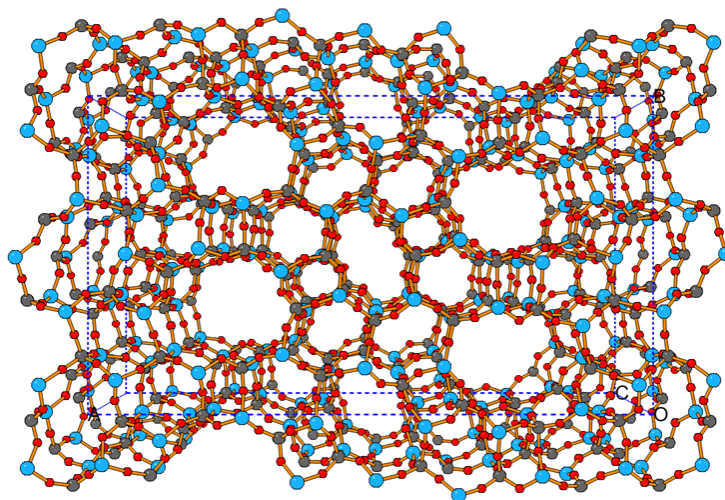
## 2.2 Сорбенти

Сорбенти су материјали који имају велику површину по јединици масе, што је последица велике порозности или уситњавања. Најчешће коришћени сорбенти су: активни угаљ, коштани угаљ, активне глине, силикагел, молекуларна сита, разни оксиди, алумосиликати, међу њима природни и синтетички зеолити и друге материје. Сорбенти могу бити врло селективни или неселективни, различите структуре и механичких карактеристика; као заједничку особину имају јако везивање физичким или хемијским силама најразличитијих супстанци. Стални развој нових технологија доводи до све веће

загађености вода, па се намеће потреба за тражењем нових материјала који би се могли употребити у процесима њиховог пречишћавања. Велики број метода, попут таложења, оксидације/редукције, измене јона, електрохемијских разградњи итд. је коришћен за пречишћавање вода; међутим овакве методе су скупе и могу изазвати секундарно загађење. Ови недостаци се могу превазићи сорпционим методама. Због тога је битно пронаћи нове доступне природне сорбенте. Биосорбенти који се истражују због потенцијалне примене треба да буду јефтине, еколошке и веома доступне. Врло битна карактеристика сорбента је поседовање различитих функционалних група попут карбоксилне, сулфатне, фосфатне и аминокиселинске групе.

### 2.2.1 Зеолити

Зеолити су природни или синтетички високо порозни алуминосиликати с отвореном тродимензионалном кристалном структуром формираном од тетраедарских  $\text{SiO}_4$  и  $\text{AlO}_4$  јединица међусобно повезаних атомима кисеоника (слика 5). Узимајући у обзир да је оксидационо стање алуминијума  $+3$ ,  $\text{AlO}_4$  јединица је у основи увек носилац негативног наелектрисања које се компензује молекулима воде и катјонима алкалних и земноалкалних елемената. С обзиром да се молекули воде и компензујући катјони лако могу да замене другим јонима, зеолити се убрајају у групу јоноизмењивача чији је капацитет јонске измене дефинисан садржајем  $\text{Al}^{3+}$  јона; већи садржај алуминијума означава и већи јоноизмењивачки капацитет.



Слика 5. Структура зеолита

У природи иако постоји преко тридесет различитих природних зеолита само клиноптилолит, морденит, шабазит, аналцим, филипсит и фериерит испуњавају критеријуме везане за природну заступљеност и степен чистоће који одређују њихову примену у пречишћавању загађених вода од тешких метала и других загађивача. Величина специфичне површине, димензије пора, активна места као и присуство органске материје, која у великој мери утиче на процес јонске измене, одређују јоноизмењивачке особине природних зеолита.

Такође, данас постоји и око 150 врста синтетичких зеолита који су према *International Zeolite Association* означени као зеолити типа А, X, Y, ZSM и др; убрајају се у групу нових сорбенса за уклањање различитих врста загађујућих материја.

### 2.2.2 Рибље кости

Интеракција радиоактивног изотопа  $^{90}\text{Sr}$  и једињења на бази калцијум-фосфата су од интереса не само због инкорпорације стронцијума у људске кости и зубе након нуклеарног распада, него и због могућности таложних и сорпционих техника контаминираних вода. Као ефикасан сорбент многих тешких метала показао се хидроксиапатит (НАР). НАР ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) је ефикасан неоргански сорбент јер има високи капацитет за уклањање јона метала јонском изменом са јонима калцијума. Животињске кости састоје се од 30% органских компоненти и 70% неорганских које чини управо НАР, па се користе као сорбенти због њихове мале цене, природне заступљености и ефикасности. Као и друге животињске кости, рибље кости су нуспроизвод отпада који прави индустрија за прераду риба.



Слика 6. Рибље кости



### 2.2.3 Љуштуре шкољки

Љуштура шкољки је тврди заштитни спољашњи слој поменутих морских животиња. Љуштура је изграђена од око 95% кристала калцијум-карбоната и 5% гликопротеина и полисахарида. Шкољке су јефтин и лако доступан материјал на морским обалама широм света. Такође су и свеprisутне у отпаду насталом прерадом морске хране. Употреба љуштуре шкољки као сорбената може да трансформише потенцијални отпад у користан ресурс.



Слика 7. Љуштуре шкољки

## 2.3 Атомска апсорпциона спектрофотометрија

При инструменталним анализама врше се мерења физичких особина неке супстанце ради одређивања њеног хемијског састава. Примењују се због: уштеде у времену, да би се избегла хемијска одвајања, да би се постигла већа тачност при раду и јер се анализирају веома мале количине узорака.

Оптичке методе инструменталне анализе се заснивају на међусобној интеракцији електромагнетног зрачења и испитиване супстанце. Деле се на спектроскопске и несектроскопске. Сектроскопске методе се према начину добијања (постанка) спектра деле на апсорпционе и емисионе. Апсорпционе методе се заснивају на мерењу смањења интензитета електромагнетног зрачења услед апсорпције при проласку кроз испитивану

супстанцу. Деле се на: колориметрију, спектрофотометрију и атомску апсорпциону спектрофотометрију.

Апсорбанција представља однос пропуштене и упадне светлости и дата је изразом

$$A = \log \frac{I_0}{I_p}$$

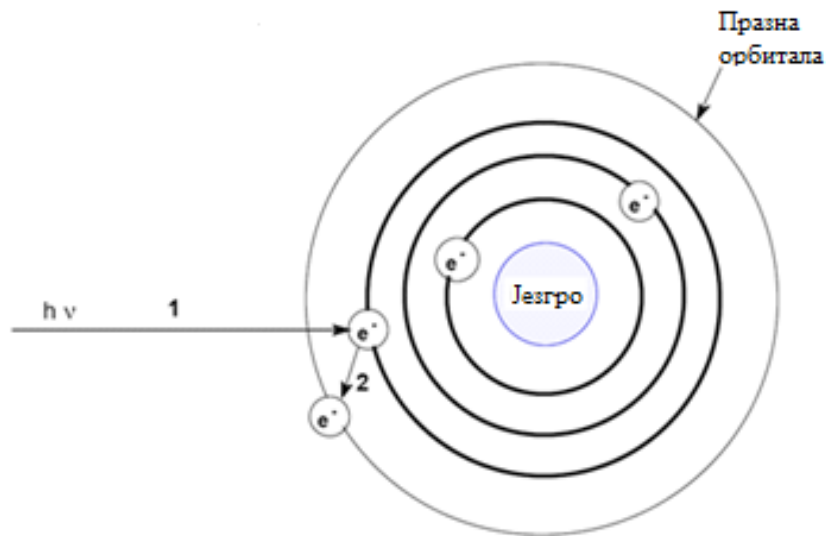
где је  $I_0$  интензитет упадне светлости, а  $I_p$  интензитет пропуштене светлости.

Апсорпционе методе користе Lambert-Beer-ов закон који повезује концентрацију узорка и апсорбанцију.

$$A = abc$$

$A$  представља апсорбанцију,  $a$  - апсорптивност (специфична за сваку супстанцију, обележава се и са  $\epsilon$ ),  $b$  - дужину оптичког пута и  $c$  - концентрацију.

Атомска апсорпциона спектрофотометрија (ААС) је апсорпциона метода која мери смањење интензитета монохроматског зрачења при проласку кроз атомску пару узорка. Атоми неког елемента апсорбоваће само ону енергију која им омогућава прелаз са нижег на више енергетско стање (слика 8).



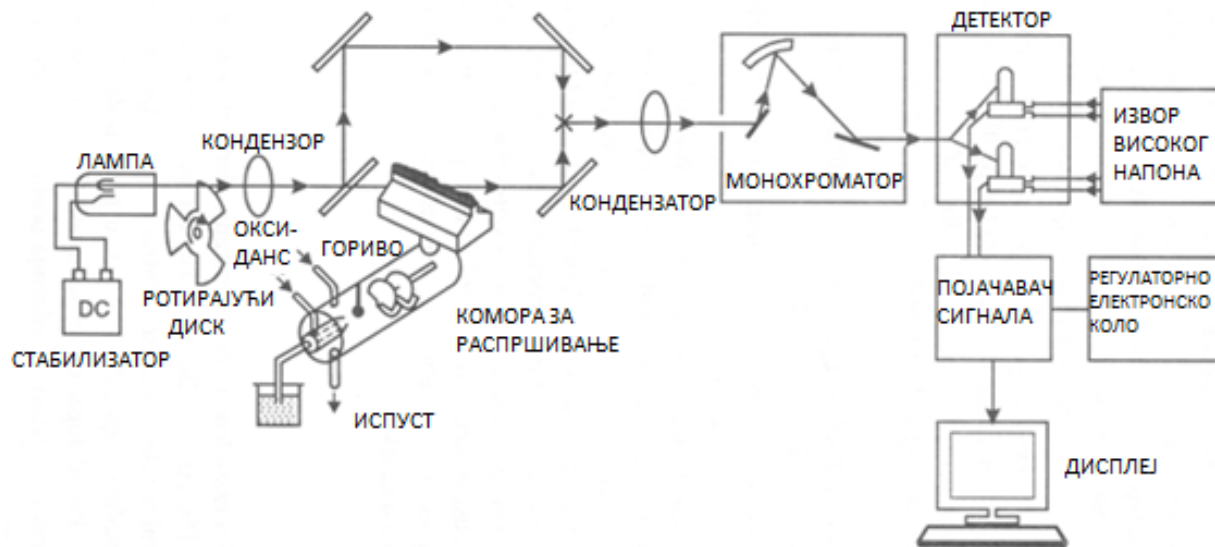
Слика 8. Апсорпција атома

Како су ови прелази квантовани, апсорбована енергија је строго селективна и зависи од врсте испитиваних атома.

Због тога је ААС данас веома често коришћена оптичка метода, а развојем електромагнетне атомизације, она је постала једна од најосетљивијих метода елементарне анализе заједно са масеном спектроскопијом и масеном спектрометријом са индуктиваном куплованом плазмом.

Иако је феномен атомске апсорпције познат још од XIX века, он је практично коришћен само у астрофизици. Тек 1955. године радовима Волша, Алкамада, Милаза и других почиње његова примена, јер они уводе као извор зрачења лампу са шупљом катодом, која емитује интензивно монохроматско зрачење.

На слици 9. је приказана шема ААС. Делови ААС су: извор зрачења (шупља катода), атомизер, монохроматор, детектор. На слици 10. је приказан модеран атомски апсорпциони спектрометар.



Слика 9. Шема ААС



Слика 10. ААС

Узорак се ручно или аутоматски поставља у аутомизер, где се прво суши на температури од 100 °С неколико секунди, а затим се загревање наставља на 500-1400 °С чиме се разарају органске супстанце, а неорганске пиролизују. Дим који настаје разарањем органске супстанце одводи се провођењем струје инертног гаса (Аг) да би се спречило расипање светлости. На крају се узорак брзо термички атомизује на високој температури (3000 °С). Монохроматор има улогу да издвоји резонантну линију (анализирану линију) од линије нечистоћа из катодне лампе или гаса пуниоца као и од емисије компонената узорка и емисије позадине. За ову сврху се углавном користе спектрофотометри са решетком чија је ширина пропусне траке од 0,1 до 0,2 nm. Као детектор се користи фотомултипликатор, а као индикаторски уређај писач или рачунар.

ААС је првенствено квантитативна анализа, мада се помоћу ње може одредити и квалитативни састав узорка. Узимајући у обзир да се за сваки елемент мора употребити друга лампа, квалитативна анализа јако дуго траје, па се у пракси и не користи.

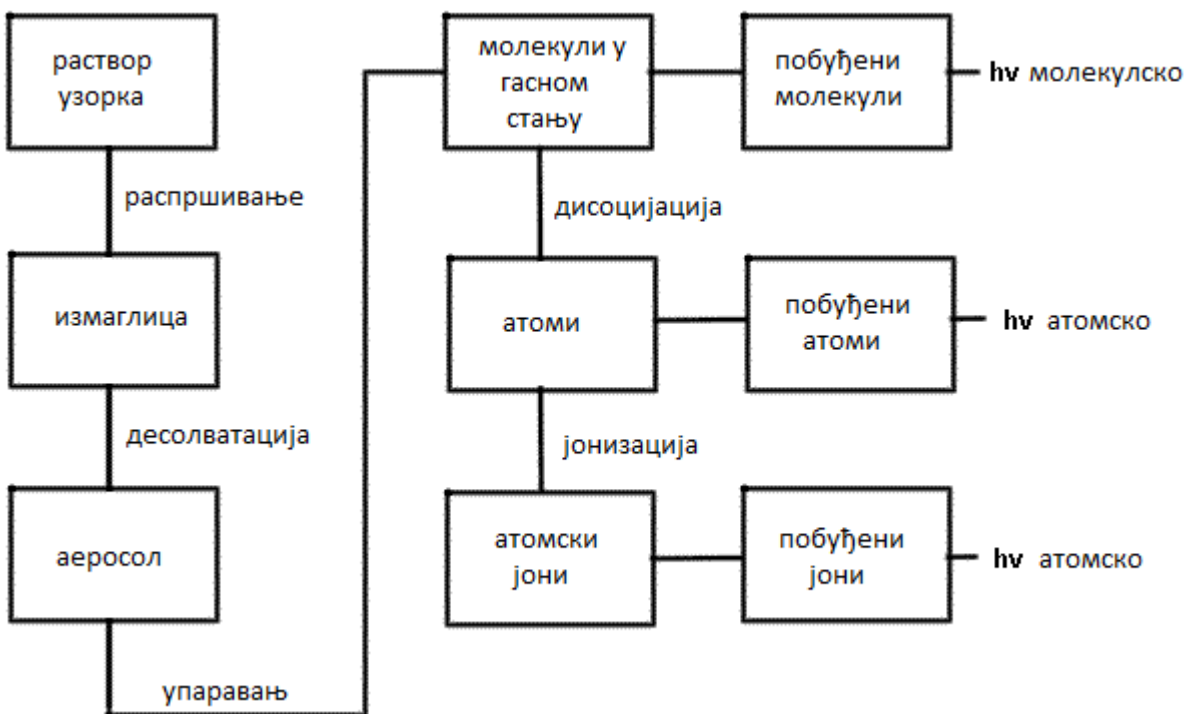
Интензитет зрачења лампе са шупљом катодом при проласку кроз атомску пару узорка слаби услед апсорпције од стране атома узорка у сагласности са Lambert-Beer-овим законом:

$$I_p = I_0 \cdot 10^{-k \cdot b \cdot N_0}$$

где је:  $I_0$  почетни интензитет зрачења,  $I_p$  интензитет зрачења након проласка кроз атомску пару,  $N_0$  број атома у основном непобуђеном стању,  $b$  дужина пута зрачења и  $k$  коефицијент апсорпције.

Када су експериментални услови константни, број атома  $N_0$  пропорционалан је концентрацији с елемената у узорку.

Раствор чија се концентрација одређује се распршује у пламен где се одиграва низ процеса: раствор супстанце распршавањем прелази у аеросол, након испаравања растварача остаје чврста супстанца која испаравањем прелази у гас и даље се дисосује или јонизује (слика 11).



Слика 11. Пут узорка у ААС

### 3. ТОК ЕКСПЕРИМЕНТА

#### 3.1 Коришћене супстанце и уређаји

Експеримент је реализован у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине у Институту за нуклеарне науке „Винча” у септембру 2016. године.

У току експеримента коришћене су следеће хемикалије: стронцијум-нитрат  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  (Merck, р.а.), калцијум-хлорид дихидрат  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Merck, р.а.), концентрована азотна киселина  $\text{HNO}_3$ , дејонизована вода. Из безбедносних разлога је  $\text{Sr}^{2+}$  јон коришћен у свом стабилном облику, што није утицало на резултате сорпције.

Као сорбенти су коришћени: природни зеолит Zalău, синтетички зеолит 4А, љуштуре шкољки и рибље кости. Природни зеолит Zalău потиче из околине места Zalău у Румунији. Синтетички зеолит 4А потиче из “Алумина” фабрике из Зворника, БиХ. Љуштуре шкољки су прикупљене током лета 2016. године са обале Егејског мора у Грчкој, идентификоване су као врсте *Ensis minor*, *Donax Variabilis* и *Mastridae*. Љуштуре су испране врућом водом како би се уклониле растворне нечистоће, осушене на 50 °C и уситњене на величину <0,2 mm.

Све масе су одмерене на аналитичкој ваги са тачношћу 0,1 mg. Све мање запремине су одмерене аутоматском пипетом од 1 mL. Концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  јона су одређене на Perkin Elmer 3100 атомском апсорпционом спектрометру (ААС). Сви сорпциони експерименти су вршени на собној температури ( $21 \pm 1$  °C) и у ваздушној атмосфери.

#### 3.2 Сорпција

Морска вода садржи у просеку 400 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  и 8 ppm  $\text{Sr}^{2+}$  (ppm означава “parts per million” и може се изразити и као  $\mu\text{g/g}$  или  $\text{mg/kg}$ ). 400 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  одговара концентрацији  $10^{-2}$  M, а 8 ppm  $\text{Sr}^{2+}$  одговара концентрацији  $10^{-4}$  M, и те вредности су коришћене као основа при одабиру концентрација раствора из којих се врши сорпција. У нормалним судовима од 100 mL су припремљени раствори следећих концентрација:

-  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $5 \cdot 10^{-5}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $10^{-4}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $2 \cdot 10^{-3}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $10^{-2}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$

-  $10^{-2}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-2}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  и  $10^{-2}$  M  $\text{Ca}^{2+}$

-  $10^{-2}$  M  $\text{Sr}^{2+}$ .

По 0,1 g сваког од сорбената (природни зеолит, синтетички зеолит, љуштуре шкољки и рибље кости) је помешано са 20 mL сваког од припремљених раствора у пластичним киветама од 50 mL. Кивете су се на орбиталном шејкеру (Reax 20, Heidolph) мешале током 20 сати при константној брзини 10 rpm (обртаја по минути). Након тога су кивете центрифугиране 7 минута (центрифуга Megafuge 16, Thermo Scientific) при константној брзини од 8500 rpm како би се течна фаза одвојила од чврсте. После центрифугирања су узорци филтрирани и добијени раствори су закишељени са по једном капи концентроване  $\text{HNO}_3$ .

### 3.3 ААС

Атомском апсорпционом спектроскопијом су одређене заостале концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  у растворима. Као радни узорци су коришћени првобитно припремљени раствори у које нису додавани сорбенти. У ААС је убачена стронцијумова лампа и сачекано је одређено време како би се она угрејала након укључивања. За то време је упаљен пламен (air acetylene), подешени су проток горива и таласна дужина.

За одређивање концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  у растворима где је његова почетна концентрација била  $10^{-4}$  M, стандард  $\text{Sr}^{2+}$  концентрације 1000 ppm је разблажен до 5 и 15 ppm. На опсегу 5-15 ppm је неопходно применити нелинеарну калибрацију. Калибрација је

вршена matrix match методом. За сваки од раствора различитих почетних концентрација  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  је мењана калибрација.

Код одређивање концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  у растворима где је његова почетна концентрација била  $10^{-2}$  М су узорци разблажени. Раствори где су сорбенти били љуштуре шкољки, рибље кости и природни зеолит су разблажени 50 пута, а раствори где је сорбент био синтетички зеолит су разблажени 25 пута пре мерења



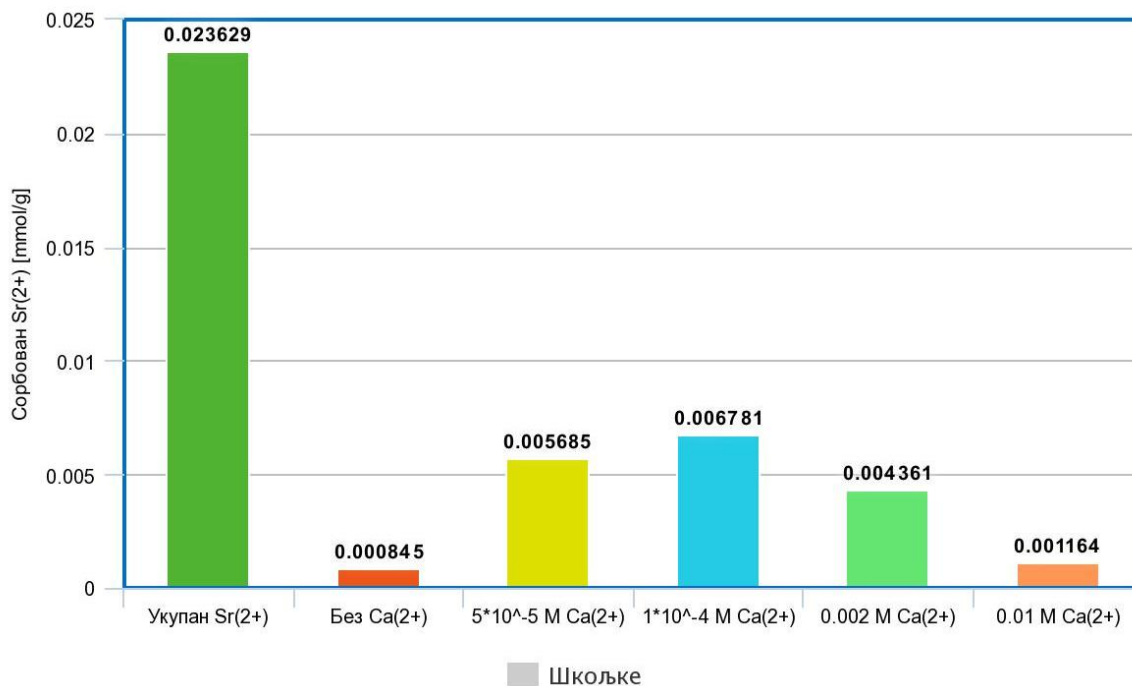
## 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати сорпционих експеримената се изражавају у mmol/g (милимол сорбоване супстанце по граму сорбента), што се добија следећом формулом:

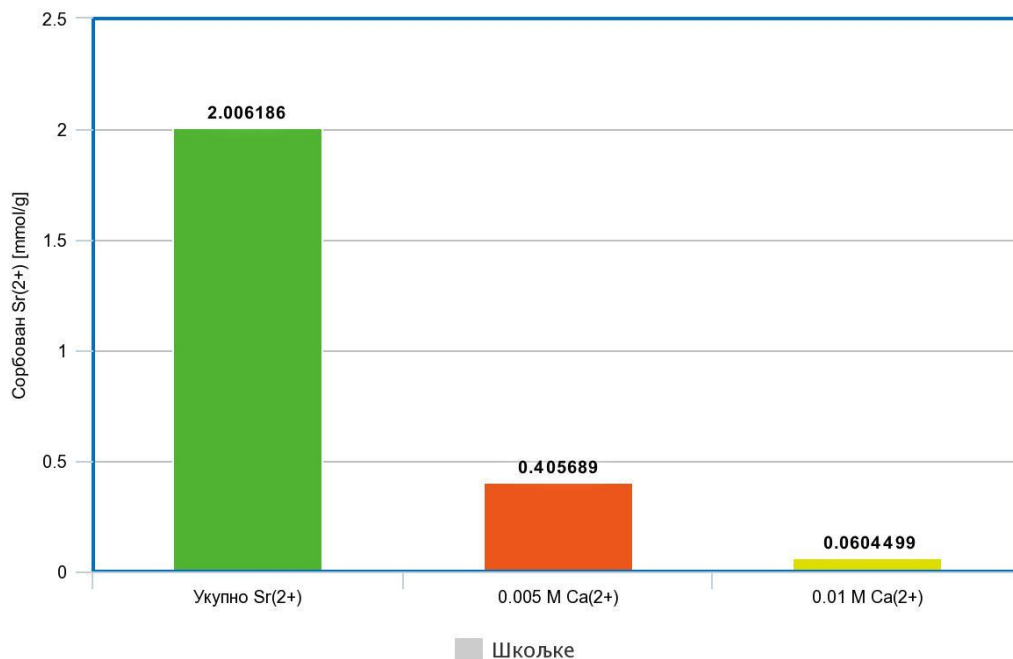
$$x = \frac{\gamma \cdot V}{M \cdot m}$$

где је  $\gamma$  масена концентрација изражена у ppm (ppm = mg/L),  $V$  запремина раствора из ког је вршена сорпција,  $M$  моларна маса сорбоване супстанце и  $m$  маса сорбента.

На сликама 12. и 13. представљени су резултати сорпције љуштурама шкољки. Количина сорбованог стронцијума је добијена као разлика концентрације стронцијума у растворима без сорбента и заостале концентрације стронцијума у растворима са сорбентом. Љуштуре нису дале задовољавајуће резултате и сорбовале су мало  $\text{Sr}^{2+}$  чак и при његовој ниској иницијалној концентрацији. При већим вредностима концентрације  $\text{Ca}^{2+}$  се сорбује мање стронцијума, што показује да љуштуре шкољки нису селективан сорбент за стронцијум.

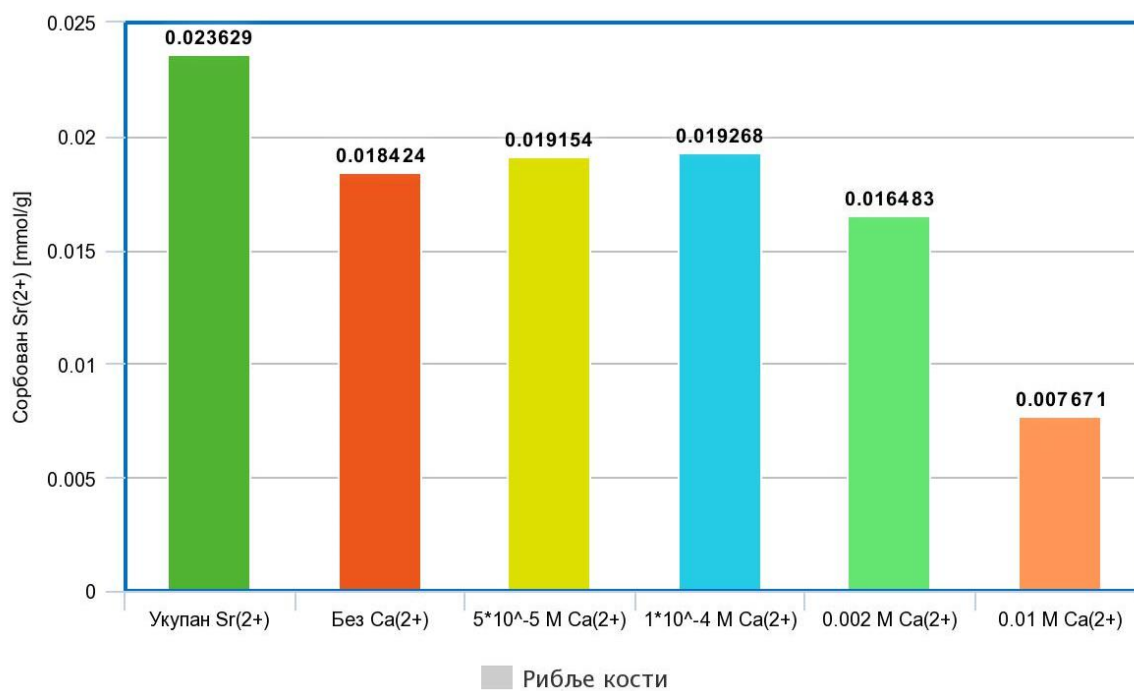


Слика 12. Сорпција  $\text{Sr}^{2+}$  љуштурама шкољки из раствора иницијалне концентрације  $10^{-4}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  у зависности од концентрације  $\text{Ca}^{2+}$ , при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL



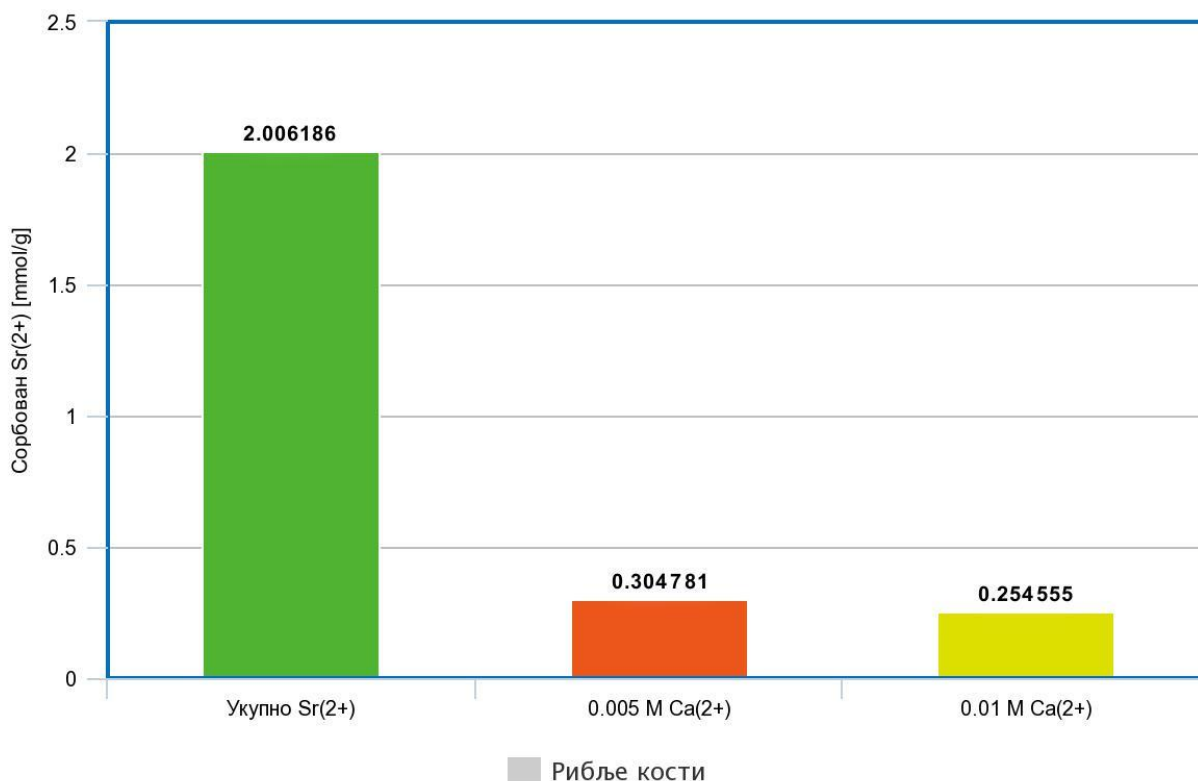
Слика 13. Сорпција Sr<sup>2+</sup> љуштурама шкољки из раствора иницијалне концентрације 10<sup>-2</sup> M Sr<sup>2+</sup> у зависности од концентрације Ca<sup>2+</sup>, при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

На сликама 14. и 15. представљени су резултати сорпције риблим костима.



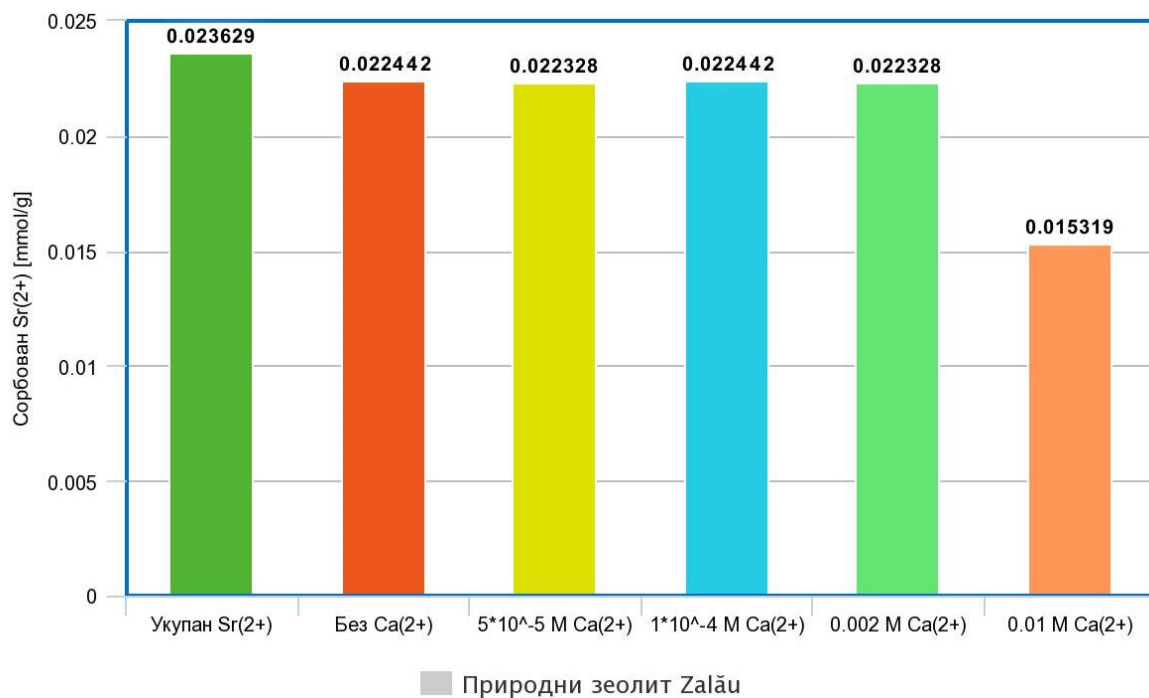
Слика 14. Сорпција Sr<sup>2+</sup> риблим костима из раствора иницијалне концентрације 10<sup>-4</sup> M Sr<sup>2+</sup> у зависности од концентрације Ca<sup>2+</sup>, при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

Рибље кости су се показале као ефикасан сорбент при нижој концентрацији  $\text{Sr}^{2+}$  и тада је сорбован велики удео стронцијума из раствора. При концентрацијама  $\text{Ca}^{2+}$  већим од  $10^{-4}$  М се може приметити смањена сорпција  $\text{Sr}^{2+}$  из чега се може закључити да рибље кости нису селективне за стронцијум у присуству калцијума. При вишој вредности концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  се сорбује јако мала количина стронцијума.

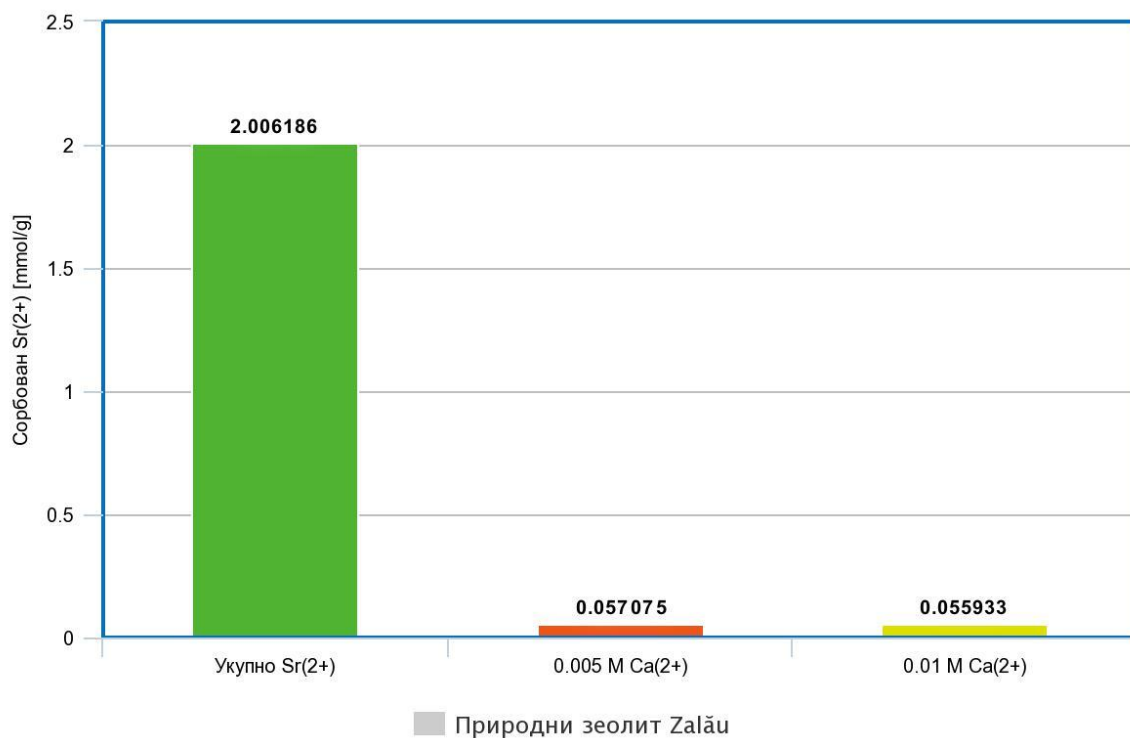


Слика 15. Сорпција  $\text{Sr}^{2+}$  рибљим костима из раствора иницијалне концентрације  $10^{-2}$  М  $\text{Sr}^{2+}$  у зависности од концентрације  $\text{Ca}^{2+}$ , при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

На сликама 16. и 17. представљени су резултати сорпције природним зеолитом Zalău. Природни зеолит је дао добре резултате сорпције при иницијалним вредностима концентрације  $10^{-4}$  М  $\text{Sr}^{2+}$ . При свим вредностима концентрације  $\text{Ca}^{2+}$  сем 0,01 М, зеолит је сорбовао готово сав стронцијум. Природни зеолит је при концентрацији  $\text{Ca}^{2+}$  од 0,01 М сорбовао мању, али и даље значајну количину стронцијума. При вишој вредности концентрације  $\text{Sr}^{2+}$  скоро да не долази до сорпције. Један од могућих разлога за то је да долази до засићења и да су попуњена сва „места” за сорпцију.

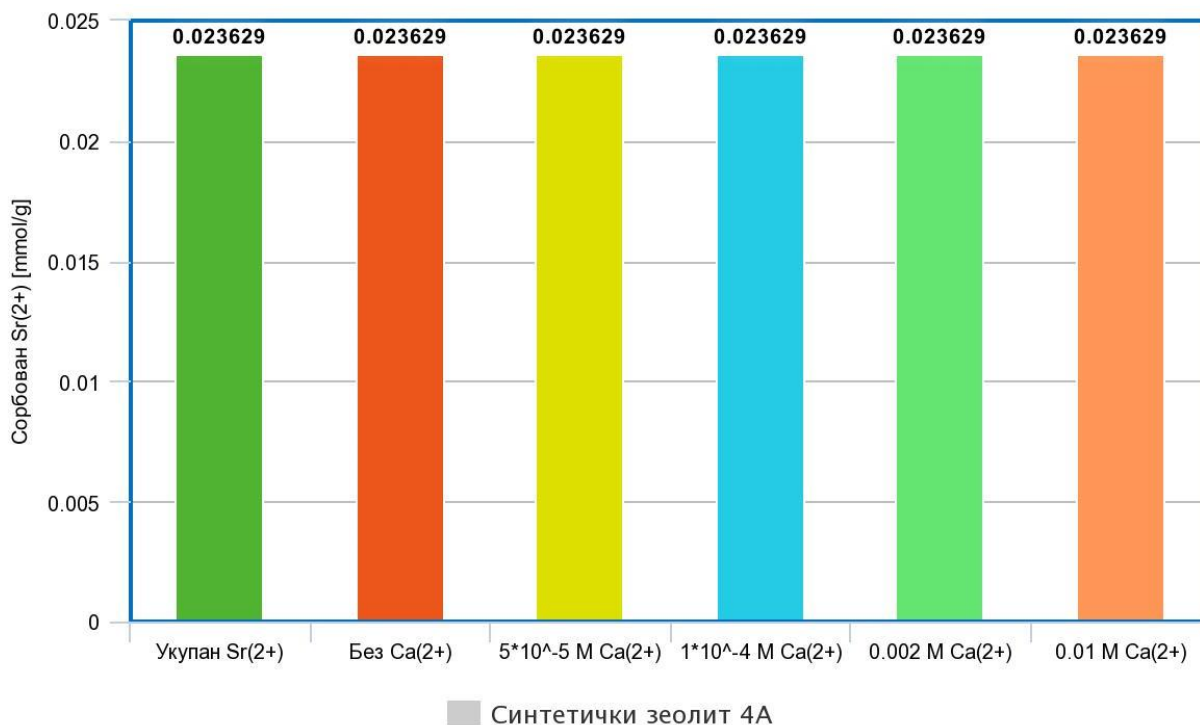


Слика 16. Сорпција Sr<sup>2+</sup> природним зеолитом из раствора иницијалне концентрације 10<sup>-4</sup> M Sr<sup>2+</sup> у зависности од концентрације Ca<sup>2+</sup>, при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

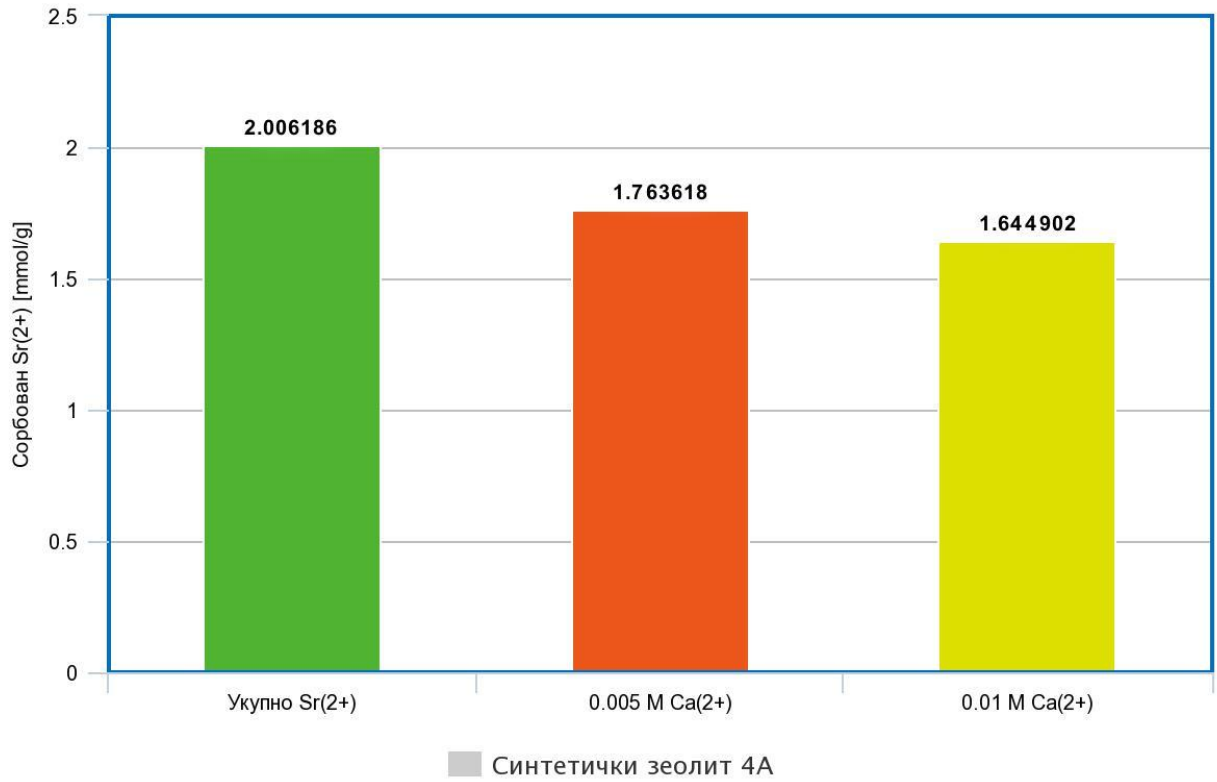


Слика 17. Сорпција Sr<sup>2+</sup> природним зеолитом из раствора иницијалне концентрације 10<sup>-2</sup> M Sr<sup>2+</sup> у зависности од концентрације Ca<sup>2+</sup>, при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

На сликама 18. и 19. представљени су резултати сорпције синтетичким зеолитом 4А. Синтетички зеолит је показао најбоље резултате сорпције и при нижој и при вишој иницијалној вредности концентрације  $\text{Sr}^{2+}$ . Из раствора где је почетна концентрација  $\text{Sr}^{2+}$  била  $10^{-4}$  М, зеолит 4А је сорбовао сав стронцијум из раствора. У растворима где је почетна концентрација  $\text{Sr}^{2+}$  била  $10^{-2}$  М, зеолит 4А је сорбовао више од 80% присутног стронцијума. Овај сорбент се показао као најперспективнији за сорпцију  $\text{Sr}^{2+}$  и на њему би у будућности требало вршити даља истраживања.



Слика 18. Сорпција  $\text{Sr}^{2+}$  синтетичким зеолитом из раствора иницијалне концентрације  $10^{-4}$  М  $\text{Sr}^{2+}$  у зависности од концентрације  $\text{Ca}^{2+}$ , при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL



Слика 19. Сорпција  $\text{Sr}^{2+}$  синтетичким зеолитом из раствора иницијалне концентрације  $10^{-2}$  M  $\text{Sr}^{2+}$  у зависности од концентрације  $\text{Ca}^{2+}$ , при односу сорбент/раствор 1 g / 20 mL

## 5. ЗАКЉУЧАК

Један од највећих проблема садашњице представља загађивање ресурса неопходног за живот – воде. Постоје разни загађивачи, а у овом раду је истакнута опасност од изливања радиоактивног изотопа  $^{90}\text{Sr}$  у конкретно морске воде. Изотоп стронцијум-90 је бета емитер са временом полураспада од 28,8 година. Његова опасност лежи у чињеници да се лако уграђује у скелет човека и других организама и индукује зрачење коштане сржи чиме повећава ризик од настанка рака костију и леукемије.

У овом раду су испитане сорпционе способности различитих материјала на растворе који су садржали  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$  јоне у различитим односима. Коришћени материјали су рибље кости, љуштуре шкољки, природни и синтетички зеолит. Концентрације јона заосталих у растворима познатих почетних концентрација су одређене атомском апсорпционом спектроскопијом. Најбоље резултате је дао синтетички зеолит који је сорбовао сав стронцијум из раствора са почетном концентрацијом 8 ppm, независно од присутне концентрације калцијума. Синтетички зеолит је из раствора почетне концентрације 800 ppm сорбовао преко 80% јона стронцијума. Код осталих сорбената се концентрација заосталог стронцијума у раствору повећавала са порастом концентрације калцијума тј. смањивала се сорпција. Синтетички зеолит је показао задовољавајуће резултате и у будућности би требало на њему базирати истраживања.

**Захвалност.** Захваљујем се ментору др Ивани Смичиклас, вишем научном сараднику у Институту за нуклеарне науке „Винча” на идеји за матурски рад, свим саветима и сугестијама, помоћи око извођења експерименталног дела рада и организовању резултата мерења.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

Бикит И. *et al.* 2008. Одређивање концентрације активности радионулида у пољопривредном и непољопривредном земљишту на територији града Новог Сада у 2008. години, Извештај за градску управу за заштиту животне средине града Новог Сада за 2008. годину, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Лабораторија за испитивање радиоактивности узорака јонизујућег и нејонизујућег зрачења

Bozbas S., Boz Y. 2016. Low-cost biosorbent: *Anadara inaequalis* shells for removal of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solution, *Process Safety and Environmental Protection*, **103**: 144-152

Chowdhury S., Saha P. 2010. Sea shell powder as a new adsorbent to remove Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Chemical Engineering Journal*, **164**: 168–177

Ђукић А. 2015. Адсорпција јона тешких метала из водених раствора на композиту монтморионит/каолинит глина-титан(IV)оксид, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију

Kizilkaya B. 2012. Usage of Biogenic Apatite (Fish Bones) on Removal of Basic Fuchsin Dye from Aqueous Solution, *Journal of Dispersion Science and Technology*, **33**: 1596–1602

Митић Д. 2012. Уклањање тешких метала из воде биосорбентом на бази *Lagenaria vulgaris*, Докторска дисертација, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет

Смичиклас И., Јовић М., Шљивић-Ивановић М., Мрвић В., Чакмак Д., Димовић С. 2015. Correlation of Sr<sup>2+</sup> retention and distribution with properties of different soil types, *Geoderma*, **253-254**: 21-29

Смичиклас И., Димовић С., Шљивић М., Плећаш И., Лончар Б., Митрић М. 2010. Resource recovery of animal bones: Study on sorptive properties and mechanism, *Journal of Nuclear Materials*: **400**: 15–24