

## РЕЦЕНЗИЈА

### НА ДОКТОРСКАТА ДИСЕРТАЦИЈА СО НАСЛОВ „МОЖНОСТИ ЗА ПРИМЕНА НА ПРИРОДНИ СУРОВИНИ ПРИ ПРОЧИСТУВАЊЕ НА РУДНИЧКИ ВОДИ ЗАГАДЕНИ СО ТЕШКИ МЕТАЛИ” ОД КАНДИДАТКАТА М-Р АФРОДИТА ЗЕНДЕЛСКА, ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ, УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП

Наставно-научниот совет на Факултетот за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип со Одлука бр. 1702-180/17 од 17.6.2015 год., донесена на 9. седница одржана на 16.6.2015 год., формира Рецензентска комисија за оценка на докторската дисертација со наслов „*Можности за примена на природни сировини при прочистување на руднички води загадени со тешки метали*”, изработена од кандидатката м-р Афродита Зенделска, во состав:

- проф. д-р Борис Крстев – претседател,
- проф. д-р Мирјана Голомеова – член,
- проф. д-р Крсто Блажев – член,
- проф. д-р Благој Голомеов – член,
- доц. д-р Ацо Јаневски – член.

Комисијата во наведениот состав, по прегледувањето на докторската дисертација, го поднесува следниов

## ИЗВЕШТАЈ

Докторската дисертација со наслов „*Можности за примена на природни сировини при прочистување на руднички води загадени со тешки метали*”, изработена од кандидатката м-р Афродита Зенделска е напишана на вкупно 169 страници, во кои се вклучени 6 поглавја, 33 табели, 56 слики и користена литература.

Горенаведената докторска дисертација, со согласноста на проф. д-р Мирјана Голомеова, редовен професор на Факултетот за природни и технички науки, како ментор на дисертацијата и проф. д-р Крсто Блажев, вонреден професор на Технолошко-технички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, како екстерен ментор, е успешно завршена и извршени се сите научни истражувања предвидени во образложението од пријавата за обработената докторска дисертација.

Од реализираните научни истражувања за време на работата на дисертацијата се добиени значајни резултати за примена на природни минерални сировини при отстранување на тешки метали од загадени руднички води.

### ***Докторската дисертација ја има следнава содржина:***

1. Вовед;
2. Преглед на литературата;
3. Цел на истражувањето;
4. Методи на научноистражувачката работа;
5. Истражување и резултати;
  - 5.1. Истражувања со клиноптилолит;
  - 5.2. Истражувања со стилбит;
  - 5.3. Истражувања со опализиран туф;
  - 5.4. Испитување на загадени руднички води;
6. Заклучок.

Во понатамошниот текст од овој извештај ќе биде даден краток осврт за секое поглавје од докторската дисертација.

Во воведот на докторската дисертација кандидатката го дефинира научниот проблем и ги презентира предметот и целта на научното истражување.

Во ова поглавје е укажано дека рудничките дренажни води кои заедно со водата која што се користи во технолошкиот процес на преработката на минералната суровина и водата од јаловиштата спаѓаат во групата на индустриски отпадни води, кои може да бидат загадени со високи концентрации на токсични и бионеразградливи метали. Со цел да се исполнат повеќе строги стандарди за квалитетот на животната средина, тешките метали треба да се отстранат од загадените води.

Во второто поглавје кандидатката дава преглед на литературата која го обработува проблемот на рудничките води загадени со тешки метали, како и технологиите кои се применуваат за нивно третирање, со цел истите да може да се испуштат во природните водотеци без да предизвикаат нивно недозволено загадување. Опишани се технологиите за активен и пасивен третман, реверсна осмоза, електродијализа, јонска размена, атсорпција и видови атсорбенти. Авторот посебно зборува за карактеристиките и примената на зеолитите кои се предмет на истражување во дисертацијата.

Во третото поглавје - Цел на истражувањето е даден осврт на насоките во истражувањето со примена на природните суровини како што се: природен зеолит (клиноптилолит 90-94%), зеолитизиран туф (стилбит 27%) и опализиран туф, за отстранување на тешките метали (Pb, Zn, Mn и Cu) од загадени води. Меѓу другото целта е да се одреди максималниот капацитет на наведените атсорбенти и да се определат серии на селективност за соодветните катјони. За да се оцени соодветноста на атсорбентите за отстранување на наведените тешки метали во ќе се испита кинетиката на атсорпција, со што ќе се открие и природата на основните механизми за движењето на јоните кои придонесуваат за брзината на реакцијата.

Во четвртото поглавје - *Методи на научноистражувачка работа* детално се опишани методите и материјалите коишто се користени во текот на истражувањето. За испитување на карактеристиките на атсорбентите се користени: електронски микроскоп за оптичко скенирање, енергетско дисперзивен спектрометар и x-гау дифракција, а за испитувањето на содржината на тешки метали во растворот е користен атомско-емисионен спектрометар со индуктивно спрегната плазма. Во ова поглавје се објаснети и користените модели за интерполација на добиените резултати (Ленгмирови и Фројндлихови атсорпциони изотерми, псевдокинетички модел од втор ред, Моделот на Weber и Morris и моделот на Furusawa и Smith.

Петтото поглавје - *Истражување и резултати* содржи детален опис на сите лабораториски истражувања со клиноптилолит, стилбит и опализиран туф, поделени во четири потпоглавја.

Во првото потпоглавје се презентирани резултати од испитувања направени со помош на клиноптилолит.

Дадени се карактеристиките на клиноптилолитот, резултати од испитувањето на хемиската рамнотежа, испитувањето на кинетиката во зависност од масата на атсорбентот, почетната рН вредност на растворот и концентрацијата на тешки метали во растворот. Резултатите од испитувањето на хемиската рамнотежа (прикажани табеларно и графички) се интерполирани со Ленгмирови и Фројндлихови атсорпциони изотерми.

Моделирањето на кинетиката врз основа на добиените резултати е извршено со псевдокинетички модел од втор ред, моделот на Weber и Morris и моделот на Furusawa и Smith.

Во второто потпоглавје се презентирани резултати за отстранување на избраните тешки метали со стилбит, при што се опфатени идентични истражувања, како и со клиноптилолитот.

Третото потпоглавје содржи основни карактеристики за опализираниот туф и резултати од прелиминарни испитувања со истиот. На крајот од ова потпоглавје е дадена споредба на сите три испитувани природни суровини и заклучок за нивната ефикасност.

Треба да се напомене дека по секое истражување со поединечните атсорбенти дадена е дискусија за добиените резултати.

Во четвртото потпоглавје се прикажани резултати од испитувања направени со води земени од рудници во Република Македонија, при што како атсорбент е користен стилбитот, кој во претходните испитувања со синтетички еднокомпонентни и мултикомпонентни раствори покажа најголема ефикасност.

Шестото и последно поглавје претставува Заклучок од целокупното истражување, каде авторот концизно ги коментира и споредува резултатите од истражувањата кои беа предмет на оваа докторска дисертација.

При тоа констатирани се следните заклучоци:

Најголема порозност има стилбитот 48.4%, следува клиноптилолитот 20.2% и опализираниот туф со порозност од 17.89%. Според максималниот капацитет на клиноптилолитот е добиена селективна серија:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Mn^{2+} > Zn^{2+}$ , за стилбитот:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}$  и селективна серија на опализираниот туф:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}$ .

Добиените резултати од испитувањата за хемиската рамнотежа успешно се моделирани со помош на Ленгмирови и Фројндлихови атсорпциони изотерми, при што Ленгмировата изотерма дава подобра интерполација на резултатите.

Брзината на реакција, која може да биде под влијание на повеќе фактори, е испитувана во однос на: масата на атсорбентот, почетната рН вредност на растворот, почетната концентрација на тешки метали во растворот и присуството на конкурентни јони.

Во однос на почетната концентрација на метални јони во растворот може да се заклучи дека поголемата концентрација на метални јони во растворот доведува до зголемена количина на атсорбирани тешки метали. Истовремено тоа резултира со намалена ефикасност на отстранување на истите.

Истражувањата за влијанието на масата на атсорбентот покажуваат дека со зголемување на истата се зголемува атсорпцијата на тешки метали, затоа што поголемата маса на атсорбент значи дека за атсорпција се достапни повеќе места по единица маса на атсорбент

Со намалувањето на рН вредноста на растворот, од 4.5 до 2.5, се намалува ефикасноста на отстранување на тешките метали како со клиноптилолит, така и со стилбит.

Следејќи ја кинетиката на атсорпција заклучено е дека со клиноптилолитот висок процент на отстранети јони се постигнати во првите 20 до 60 минути, во зависност од останатите работни услови, додека со стилбитот во сите испитувани случаи се добиени податоци кои покажуваат дека високиот процент на отстранети јони се постигнува уште во првите 20 минути

Присуството на конкурентни јони, исто така, влијае врз атсорпцијата кај клиноптилолитот и стилбитот. Атсорпцијата во мултикомпонентен раствор во споредба со атсорпцијата во еднокомпонентен раствор е значително намалена кај испитуваните тешки метали, освен кај оловото, каде што разликата е минимална, скоро незабележителна.

Моделирањето на резултатите добиени од кинетиката на атсорпција е извршено со: псевдокинетички модел од втор ред, моделот на Weber и Morris и моделот на Furusawa и Smith.

Применувајќи го стилбитот како атсорбент за отстранување на тешки метали од загадени руднички води (дренажни води од Рудникот за олово и цинк „САСА“ и Рудникот за бакар „Бучим“) резултатите покажуваат дека поголема ефикасност на отстранување се добива за оловото и бакарот во однос на отстранувањето на цинкот и манганот, како кај водите од „САСА“, така и кај водите од „Бучим“. Истото е очекувано според резултатите добиени од истражувањата со едно и мултикомпонентни синтетички раствори. Спред тоа може да се констатира дека со стилбитот, кој е домашна природна минерална суровина, успешно може да се отстранат испитуваните тешки метали и кај води од реални услови.

## ЗАКЛУЧОК И ПРЕДЛОГ

Врз основа на гореизнесеното може да се заклучи дека докторската дисертација со наслов *„Можности за примена на природни сировини при прочистување на руднички води загадени со тешки метали“* изработена од кандидатката **м-р Афродита Зенделска** се карактеризира со систематичност, сеопфатност и оригиналност на добиените научни резултати. Дисертацијата обработува актуелен проблем, кој се однесува на третирање на води загадени со тешки метали, како што се рудничките дренажни води, водата којашто се користи во технолошкиот процес на преработката на минералната сировина и водата од јаловиштата, кои спаѓаат во групата на индустриски отпадни води.

Изработената докторска дисертација претставува значаен и оригинален научен придонес во областа на рударското инженерство. Добиените резултати од истражувањето претставуваат нови сознанија и укажуваат дека испитуваните природни минерални сировини може да се применат за отстранување на тешки метали од загадени руднички води.

Во контекст на претходното, Комисијата му предлага на Наставно-научниот совет на Факултетот за природни и технички науки во Штип да ја прифати позитивната рецензија на докторската дисертација со наслов *„Можности за примена на природни сировини при прочистување на руднички води загадени со тешки метали“* од кандидатот **м-р Афродита Зенделска** и да одобри јавна одбрана на истата.

## РЕЦЕНЗЕНТСКА КОМИСИЈА

Проф. д-р Борис Крстев – претседател, с.р.  
Проф. д-р Мирјана Голомеова – член, с.р.  
Проф. д-р Крсто Блажев – член, с.р.  
Проф. д-р Благој Голомеов – член, с.р.  
Доц. д-р Ацо Јаневски – член, с.р.