

Факултет: Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

1/202Веће научних области техничких наука
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

(Датум)

18. 11. 2011**ЗАХТЕВ****за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, бр. 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Мр Драгана (Светозар) Радуловића, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ

Мр Драган (Светозар) Радуловић, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„УТИЦАЈ ЈОНА АПАТИТА И КАЛЦИТА НА ЊИХОВЕ ПОВРШИНСКЕ ОСОБИНЕ“Из научне области: РударствоУниверзитет је дана 06.12.2006. својим актом под бр. 05 Број: 150-14/41-06 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:„УТИЦАЈ ЈОНА АПАТИТА И КАЛЦИТА НА ЊИХОВЕ ПОВРШИНСКЕ ОСОБИНЕ“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Мр Драгана (Светозар) Радуловића, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)образована је на седници одржаној 27.10.2011., одлуком факултета под бр. 1/180, у саставу:

Име и презиме члана комисије

звање

научна област

1. др Душица Вучинић, ред. проф. Физичка хемија
2. др Динко Кнежевић, ред. проф. Рударство
3. др Славен Деушић, ред. проф. Рударство
4. др Живко Секулић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд - Рударство
5. др Слободан Радосављевић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд
научна област Геологија

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 17.11.2011.

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедба било.



ДЕКАН

РУДАРСКО-ГЕОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Владица Цветковић

Бр. 1/201
18. 11. 20 11. год.
БЕОГРАД, Бушина бр. 7

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 17.11.2011. године, сходно члану 175. став 4. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, донело је

ОДЛУКУ

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **мр Драгана Радуловића**, дипл. инж. рударства, под насловом *„Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине“*, на који није било примедаба.
2. Универзитет у Београду је дана 06.12.2006. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Именовани ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Душица Вучинић, ред. проф.; др Динко Кнежевић, ред. проф.; др Славен Деушић, ред. проф.; др Живко Секулић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд; др Слободан Радосављевић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд.
4. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
5. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.



ДЕКАН

Др Владислав Цветковић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Комисији
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

ПРИМЉЕНО: 08. II. 2011.			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	1/191		

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства (смер Припрема минералних сировина)

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине”, мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства, која је на седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној 27.10.2011. године, именована одлуком број 1/180, подноси Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Хронологија одобравања и израде дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 26.10.2006.године, број 1/203, именована је Комисија за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације мр Драгана Радуловића, дипл.инж.рударства, под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине”.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 30.11.2006. године, број 1/241, усвојен је позитиван извештај Комисије о научној заснованости предложене теме докторске дисертације (број 1/224).

Одлуком Стручног већа за рударске и геолошке науке Универзитета у Београду на седници одржаној 6.12.2006.године, 05 Број: 150-14/41-06, дата је САГЛАСНОСТ на предлог теме докторске дисертације мр Драгана Радуловића, дипл.инж.рударства, под називом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине”(РГФ, бр.1/266).

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 27.10.2011. године, број 1/180, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства, под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине ”.

Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства, под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине” написана је на 184 стране. Садржи 93 слике, 15 табела, 338 литературних цитата.

Биографски подаци о кандидату

Мр Драган С. Радуловић, дипл. инж. рударства је рођен 5.11.1966.године у Подгорици. Основну и средњу школу је завршио у Београду. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, смер припрема минералних сировина, уписао је 1985. године, а дипломирао 11.07.1994. године.

Од 01.09.1994. године ради у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, у Београду, Одсек за припрему минералних сировина и неорганску технологију, Лабораторија за ПМС.

Магистарске студије уписао је 1994. године на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на смеру припрема минералних сировина. Магистарски рад под насловом: “Могућност флотирања флуорита у условима селективног флотирања из полиметаличних руда” одбранио је 27.01.2000. године. У звање истраживач-сарадник изабран је 01.06.2000.године (реизабран 18.05.2005.), у коме се и сада налази.

Кандидат је у свом научно-истраживачком раду са коауторима објавио 82 рада штампана у целини у часописима или зборницима стручних и научних скупова. И пре пријаве теме докторске дисертације кандидат се бавио испитивањима минерала типа соли (апатит, флуорит и кречњак (калцит)) и у магистарској тези и у објављеним радовима: 11 саопштења са међународних скупова штампаних у целини (M₃₃), једно поглавље у књизи (M₄₂) и 1 рад у тематском зборнику националног значаја (M₄₅), 3 рада у часопису националног значаја (M₅₂), 4 саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M₆₃), 2 саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M₃₄).

После пријаве теме докторске дисертације кандидат има три рада из докторске дисертације, од тога један са SCI листе у истакнутом међународном часопису (M₂₂), један у часопису националног значаја (M₅₂) и један рад-саопштење са међународног скупа штампано у целини (M₃₃). После пријаве теме докторске дисертације има објављена и три рада M₃₃ која се односе на минерал калцит и у ширем смислу припадају области из које је тема дисертације, тј. из области испитивања особина минерала типа соли.

Кандидат има са коауторима укупно 13 техничко-технолошких решења. Девет је везано за фосфате, а од тога 5 за поступак флотирања апатита из руде фосфата лежишта „Лисина“-Босилеград. Од пријаве теме докторске дисертације има 6 техничко-технолошких решења везано за тему дисертације. Учествовао у изради две студије изводљивости експлоатације руде фосфата „Лисина“ и добијања концентрата тржишног квалитета (за капацитет прераде од 1 000 000 t и 1 500 000 t).

У оквиру Лабораторије за припрему минералних сировина као истраживач-приправник и касније истраживач-сарадник био је ангажован у оквиру пројеката Министарства за науку и технологију Републике Србије (3 пројекта основних истраживања, 7 пројекта технолошког развоја и 2 иновациона пројекта). Учествовао је у многим теренским активностима на снимањима података за пројектовање, као и на уходавању постројења пројектованих у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, у Београду. Као сарадник у садашњем циклусу пројеката финансираних од стране Министарства просвете и науке Републике Србије ангажован је на 2 пројекта (ТР 31003 и ТР 34013).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства, под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине ” написана је на 184 стране. Садржи 93 слике, 15 табела, 338 литературних цитата.

Докторску дисертацију чине следеће целине:

УВОД; 1. ОПШТИ ДЕО; 2. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО; 3. ЗАКЉУЧАК; 4. ЛИТЕРАТУРА.

Кратак приказ појединачних поглавља

УВОД – У уводном делу докторске дисертације под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине ” укратко су објашњени разлози избора теме и циљ рада и дата структура докторске дисертације. Наведено је да су испитиване површинске особине хидроксияпатита (минерал из групе апатита; формула $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) и калцита (CaCO_3) из руде фосфата лежишта “Лисина”-Босилеград, да би се одредили услови њиховог селективног раздвајања поступком флотацијске концентрације, а да су на узорку руде обављени лабораторијски опити и полуиндустријска проба у циљу утврђивања могућности примене резултата испитивања обављених на чистим минералима. Ова тема је изабрана с обзиром да је због сличних физичкохемијских особина хидроксияпатита и калцита као минерала типа соли, а пре свега њихове делимичне растворљивости у води, па тиме и сличних површинских особина (сличног афинитета према флотацијским реагенсима) велики проблем утврђивање услова њиховог селективног раздвајања. Да би се добила полазна основа за одређивање услова раздвајања ових минерала у засебне производе било је неопходно дефинисање физичкохемијских процеса у систему хидроксияпатит-калцит, механизма интеракције површине хидроксияпатита и јона присутних у раствору услед растварања калцита, и обрнуто, а затим и интеракције у присуству одређених флотацијских реагенаса.

1. ОПШТИ ДЕО- Као полазна сировина за испитивања у докторској дисертацији мр Драгана Радуловића, дипл.инж.рударства, под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине” је била руда фосфата лежишта „Лисина”-Босилеград, па је у делу **1.1 Минерали фосфата** речено да се у природи фосфор јавља у виду већег броја минерала, али су само два минерала економски значајна: апатит и фосфорит. Општа формула апатита је $A1_2A2_3(XO_4)_3Z$, где су $A1$ и $A2$ једновалентни (Li, Na, K, итд.), двовалентни (Ca, Sr, Pb, Ba, Cd, итд.) и тровалентни (Y, La, Ce, Nd, Sm, итд.) катјони који заузимају различите кристалографске положаје. Положај X обично је попуњен малим катјонима (P^{5+} , As^{5+} , V^{5+} , Si^{4+} , S^{6+} , итд.) високог оксидационог стања, док положај Z заузимају халогениди, OH^- или O^{2-} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , молекули воде, ваканције итд. С обзиром да су узорци за фундаментална испитивања били минерали хидроксияпатит, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, и калцит дат је и краћи опис њихове кристалне структуре (**1.2 Хидроксияпатит; 1.3 Калцит**), као и преглед најзначајних лежишта руде фосфата у свету (**1.4 Лежишта фосфата**). У делу **1.5 Припрема руда фосфата** кандидат је прво истакао да су фосфати стратешка сировина и дао приказ резерви руде фосфата у свету и произведене количине фосфата тржишног квалитета за период 2009-2010. Пољопривреда и употреба ђубрива диктира производњу фосфата. Данас око 35 држава експлоатише фосфате у циљу производње ђубрива, а највећи произвођачи су Кина, САД и Мароко. Цена концентрата фосфата се у задњих пет година мењала од 42 до 430 \$/t. Половином 2011. године била је око 180 \$/t. За производњу вештачког ђубрива квалитет руда и концентрата одређен је садржајем $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (најквалитетнији око 74 % и више). Поред садржаја P_2O_5 , на квалитет утиче садржај R_2O_3 (највише

2,5-4,0%), Cl_2 (<0,13%), MgO (<0,25%), однос $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$ (< 1,8), $\text{P}_2\text{O}_5:\text{F}_2$ (најмање 8:1). Зато је даље кандидат истакао значај припреме минералних сировина у циљу добијања концентрата тржишног квалитета. Поступци припреме битно се разликују у фазама извођења процеса зависно од садржаја P_2O_5 у руди, типа руде, садржаја минерала јаловине итд. Једноставни поступци припреме као што су прање, размуљивање и класирање примењују се код богатијих руда. Међутим, резерве богатих лежишта су у великој мери смањене, тако да значајан удео у експлоатацији имају сиромашне руде фосфата, које се као такве не могу користити без примене сложенијих поступака припреме. У процесу припреме сиромашнијих руда потребно је повећати садржај P_2O_5 и постићи што повољнији однос $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$. Данас се од укупне светске производње фосфата тржишног квалитета око 65% добија поступком флотацијске концентрације, коју могу да прате и други поступци припреме (магнетска, електростатичка сепарација, калцинација итд.). У овом делу је зато кандидат и дао преглед поступака припреме руде фосфата који се примењују у појединим постројењима у свету. У делу 1.6.

Литературни преглед испитивања флотацијских особина руда фосфата и чистих минерала кандидат је посебну пажњу посветио приказу радова из области којом се бавио, са посебним освртом на референтну литературу везану за фундаментална испитивања хидроксиапатита и калцита. Слабо растворни минерали типа соли, као што су апатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) (F, OH), флуорит (CaF_2), калцит (CaCO_3), шелит (CaWO_4), магнезит (MgCO_3), и барит (BaSO_4), су природно хидрофилни, али се могу успешно одвојити од оксидних и силикатних минерала поступком флотирања. Међутим, на основу резултата из литературе може се рећи да је тешко утврдити услове њиховог међусобног селективног флотирања. Кроз преглед литературе кандидат је сагледао да велики утицај на флотабилност минерала има хемијски састав пулпе и јонска јачина раствора, с обзиром да долази до делимичног растварања минерала типа соли и одигравања великог броја реакција у раствору, у којима учествују и јони растворени из минерала (нпр. реакције хидролизе, реакције комплексирања, адсорпција, преципитација, јонска измена итд.). На одигравање ових процеса у раствору (пулпи) може да утиче и начин припреме минералне сировине пре флотирања (млевење, класирање, кондиционирање...). На површинске особине минерала из групе апатита и пратећих минерала у руди, а самим тим и на ефикасност поступка флотирања, стога битно утичу и веома сложене међусобне интеракције у систему пре и при флотирању. Сходно томе селективно флотирање фосфата се много лакше постиже из руда у којима су присутни силикати, него из руда са карбонатном јаловином, каква је руда лежишта «Лисина». Кандидат је даље дао преглед флотацијских реагенса (колектора и деприматора) који се користе при флотацији минерала типа соли, уз приказ резултата из радова у којима су они коришћени. У овом делу је дат преглед резултата радова од броја 67-164, а који су касније послужили кандидату као референтна или литература из ове тематске области за дискусију резултата које је добио. Генерално колектори су површински активне материје, а то значи да имају хидрофобни и хидрофилни део у структури молекула, односно јона. Као колектори минерала типа соли се користе и анјонски и катјонски колектори. Кандидат је истакао да се најчешће користе масне киселине (монокарбоксилне киселине, чија је општа формула RCOOH , са алифатичним угљоводоничним ланцем R) и њихове соли (сапуни) из групе анјонски активних оксидрилних колектора. Као деприматори ове групе минерала користе се натријум-силикат, танин или квебрачо (садржи 70% танинске киселине), алуминијум-сулфат, лимунска киселина, декстрин, штирак, сулфатноцелулозна лужина, итд. Уколико је потребно као активатори се могу применити соли тешких метала, јони калцијума и магнезијума. Посебна пажња је посвећена радовима који се баве механизмом адсорпције олеинске киселине, односно Na-олеата на површини минерала (цитирани од

120-149), с обзиром да је кандидат у експериментима користио Na-олеат. У литератури је дато неколико модела који описују природу адсорпције површински активних материја са дугачким угљоводоничним ланцем на граници чврсто/течно. Истакнуто је да је један од првих дао *Fuerstenau* са сарадницима, према коме је асоцијација адсорбованих јона у монослојевима у облику дводимензионалних агрегата названа хемимицелама. И *Cases* и сарадници су такође претпоставили да су адсорбовани јони организовани у облику дводимензионалних агрегата (хемимицела), као последица бочних угљоводоничних интеракција. Такође се кандидат детаљније бавио и радовима о растворљивости минерала апатита и калцита, утицају односа чврсто/течно и Na-силиката на адсорпцију олеата на апатиту, утицају јонске јачине раствора, pH вредности, Na-олеата и Na-силиката на зета потенцијал апатита. У делу **1.7 Лежиште фосфата "Лисина" и приказ досадашњих резултата технолошких испитивања на руди** кандидат је дао основне карактеристике лежишта и кратак приказ досадашњих технолошких испитивања, са шемама технолошког процеса припреме руде фосфата лежишта „Лисина“.

2. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО (од 53. до 167 стране) садржи прво **2.1 Увод** у коме је кандидат истакао да је **Циљ** ове докторске дисертације био дефинисање површинских особина хидроксияпатита и калцита у флотацијским условима и утврђивање услова селективног флотирања хидроксияпатита, уз претпоставку да ће добијени резултати ових фундаменталних испитивања допринети утврђивању услова селективног флотирања хидроксияпатита из полиминералне руде фосфата лежишта "Лисина"-Босилеград. Затим је укратко описао шта је рађено у Специјалном делу. Прво су из расположивог узорка равне руде издвојени узорци чистих минерала и равне руде за експериментални рад, а затим је извршена њихова карактеризација. Затим је у води и у супернатанту другог испитиваног минерала одређивана њихова флотабилност и електрокинетички потенцијал у функцији pH средине и концентрације реагенса. Такође су испитиване и површинске особине ових минерала у зависности од концентрације јона Ca, PO₄ или CO₃, с обзиром да су ови јони конституенти кристала хидроксияпатита или калцита. На основу добијених резултата и њихове дискусије претпостављени су механизми интеракција које се одигравају у двојном електричном слоју на граници фаза, односно структура двојног електричног слоја на граници: а) минерал/вода; б) минерал/вода, флотацијски реагенс(и); в) минерал/вода, јон Ca (или PO₄ или CO₃); г) минерал/супернатант другог минерала; д) минерал/супернатант другог минерала, флотацијски реагенс(и); ђ) минерал/супернатант другог минерала, јон Ca (или PO₄ или CO₃). У делу **2.2 Преглед радова из литературе о утицају растворљивости калцита и хидроксияпатита на њихове површинске особине** издвојени су и приказани из литературе као једино доступни резултати за синтетички хидроксияпатит и калцит, а који су се односили на на растворљивост ових минерала и утврђивање међусобног утицаја на њихове површинске особине. Затим је кандидат дао приказ припреме узорака, експерименталних услова фундаменталних и технолошких испитивања и навео коришћене методе (**2.3 Узорци, методе испитивања и реагенси**). Као реагенси коришћени су: Na-олеат као колектор, танин, Na₂SiO₃, CaCl₂, Na₂CO₃, KH₂PO₄. Као регулатори pH средине коришћени су HCl, NaOH и Na₂CO₃, а за одржавање константне јонске јачине раствора NaNO₃.

У поглављу **2.4 Резултати и дискусија** кандидат је приказао веома обиман експериментални рад и дао врло детаљну дискусију добијених резултата, с освртом на коришћену литературу. У делу **2.4.1 Карактеризација узорака** хемијском анализом узорка хидроксияпатита (HA) утврђено је да узорак садржи 41,75% P₂O₅ (98,45% хидроксияпатит). Рендгенска дифракциона анализа, TG и DTA су потврдили да је узорак чист хидроксияпатит. Узорак калцита је имао 53,48% CaO (93,50% CaCO₃ и

3,10% MgCO_3) и 0,92% P_2O_5 . На ДТА дијаграму је уочен само један јак ендотермни пик на 872°C , који је приписан фазној трансформацији CaCO_3 у CaO , праћеној на ТГ дијаграму губитком масе од 44,08% у температурној области $650\text{--}880^\circ\text{C}$. Према садржају P_2O_5 у узорку руде садржај хидроксиапатита је био око 38,50%. Квалитативном микроскопском минералошком анализом у узорку руде утврђено је поред хидроксиапатита присуство и других минерала (кварц, серицит, калцит, биотит са хлоритом, ситнозрни епидот, турмалин, непровидни минерали-органска материја, доломит, лимонит и хематит). На рендгенском дифрактограму доминирају пикови кварца и хидроксиапатита, а уочавају се и пикови калцита, лискуна и фелдспата.

У делу **2.4.2 Испитивање флотабилности хидроксиапатита и калцита** прво су приказани и дискутовани резултати испитивања природне флотабилности хидроксиапатита и калцита у дестилованој води, у зависности од рН средине. Затим су дати и резултати испитивања флотабилности чистих минерала у дестилованој води у присуству регулатора рН средине и одређених флотацијских реагенса, деприматора (Na_2SiO_3 , танин) и колектора (Na-олеат) и њихова дискусија. Да би се приближили реалним условима у пулпи такође је испитивана и флотабилност хидроксиапатита у супернатанту калцита (раствор добијен растварањем калцита). На овај начин је утврђено како јони калцита који су прешли у раствор услед растварања калцита, утичу на хидрофобно/хидрофилне особине хидроксиапатита у присуству флотацијских реагенса, Na_2SiO_3 и Na-олеата. С обзиром да је калцит много растворљивији у води (производ растворљивости $K = 10^{-8.4}$) него хидроксиапатит ($K = 10^{-58.33}$) није испитиван утицај супернатанта хидроксиапатита на флотабилност калцита. У опитима флотирања кандидат је добио да су и хидроксиапатит и калцит у присуству регулатора рН средине природно нефлотабилни и у киселој и у базној средини (флотацијско искоришћење $I < 20\%$). У присуству Na-олеата као колектора оба минерала су добро флотирала. Успешна хидрофобизација хидроксиапатита на рН 9 (флотацијско искоришћење 100%) постигнута је при концентрацији $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата. Оптимално време флотирања је било 6 минута. У истим условима флотацијско искоришћење калцита је било око 90%. И натријум-силикат (од $10\text{--}150 \text{ mg dm}^{-3}$) и танин ($5\text{--}30 \text{ mg dm}^{-3}$) су појединачно депримирали калцит на рН = 9 у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата ($I_{\text{калцит, Na-силикат}} < 35\%$; $I_{\text{калцит, танин}} < 10\%$). Комбинацијом ових реагенса (10 mg dm^{-3} Na_2SiO_3 и $10\text{--}40 \text{ mg dm}^{-3}$ танина) постигнуто је још ефикасније депримирање калцита.

Даље је утврђено да натријум-силикат (од 20 до 130 mg dm^{-3}) у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата не депримира хидроксиапатит на рН=9 ($I > 97\%$). При концентрацији танина од 20 mg dm^{-3} и различитим концентрацијама Na_2SiO_3 (Na_2SiO_3 :танин од 1:2 до 6:1) и наведеној концентрацији колектора на рН=9 хидроксиапатит је био депримиран ($I < 30\%$ при свим односима Na_2SiO_3 и танина). Да би се на рН=9 добило флотацијско искоришћење хидроксиапатита преко 95% било је потребно повећање концентрације колектора 20 пута. Закључено је да се у систему калцит-хидроксиапатит танином као деприматором не постиже селективност, па је у даљим опитима флотирања коришћен само Na_2SiO_3 . Међутим, у испитивањима на узорку равне руде танин је коришћен за депримирање алумосиликатних минерала (лискуна). Натријум-силикат није утицао на кинетику флотирања хидроксиапатита са колектором, јер су добијени исти резултати у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата без и са 30 mg dm^{-3} Na_2SiO_3 . На основу опита кинетике флотирања хидроксиапатита и калцита (30 mg dm^{-3} Na_2SiO_3 и $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата, рН=9) закључено је да би и за 4 минута могао да се добије концентрат хидроксиапатита задовољавајућег квалитета ($I_{\text{HA}} > 95\%$; $I_{\text{калцит}} < 24\%$), с обзиром да је за 6 минута $I_{\text{HA}} = 100\%$, а $I_{\text{калцит}} < 30\%$. На основу ових резултата при флотирању руде фосфата време првог флотирања је било 4 минута.

Наредни експерименти су показали да супернатант калцита депримира хидроксиапатит у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата на $\text{pH}=9$. У засићеном супернатанту калцита флотацијско искоришћење хидроксиапатита је било око 38%, а у 60- и 30-min супернатанту око 48% и 50%. Додавањем Na_2SiO_3 флотацијско искоришћење хидроксиапатита је било још мање ($30 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SiO}_3$, $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеат; засићен супернатант калцита $I_{\text{HA}} < 10\%$, 60-min супернатант $I_{\text{HA}} < 20\%$; 30-min супернатант I_{HA} око 23%). Да би се флотацијско искоришћење хидроксиапатита у присуству Na_2SiO_3 у 30-min супернатанту калцита повећало са 23% на преко 99% била је потребна два пута већа концентрација Na-олеата ($2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$). Код калцита је добијено да се у присуству $30 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SiO}_3$ на $\text{pH}=9$ са порастом концентрације Na-олеата од $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ до $2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ флотацијско искоришћење повећава са 29% на 54%.

У делу **2.4.3 Зета потенцијал минерала у присуству флотацијских реагенса** одређиван је зета потенцијал хидроксиапатита и калцита у зависности од: pH средине без и у присуству Na-олеата; са Na_2SiO_3 без и у присуству Na-олеата. Зета потенцијал хидроксиапатита је негативан у целом испитиваном pH опсегу од 5,0 до 11,0 услед вишка негативно наелектрисаних јона у Штерновом делу двојног електричног слоја до хидродинамичке равни смицања. У оквиру ове докторске дисертације кандидат је претпоставио да потенцијалодређујући јони хидроксиапатита Ca^{2+} , PO_4^{3-} и OH^- , означени на површини као центри $\equiv\text{Ca}^+$, $\equiv\text{PO}_4^{2-}$ и $\equiv\text{OH}$ (" $\equiv$ " површина), учествују у површинским реакцијама сличним оним које се одигравају у раствору, формирајући нове површинске центре зависно од pH средине. Јони H^+ , као потенцијалодређујући јони другог реда, утичу на формирање површинских центара $\equiv\text{OH}_2^+$, $\equiv\text{OH}$, $\equiv\text{CaOH}$, $\equiv\text{CaOH}_2^+$. Генерално се може рећи да формирани површински центри хидроксиапатита у целом испитиваном pH опсегу чине минерал хидрофилним, а тиме и природно нефлотабилним. Смањење негативне вредности зета потенцијала хидроксиапатита од -10 mV на pH 7,3 (у дестилованој води) на -5 mV при $\text{pH}=5,0$ указује на адсорпцију водоничних јона и јона $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$ формираних у раствору. Активни површински центри за адсорпцију катјона на унутрашњој Хелмхолцовој равни двојног електричног слоја хидроксиапатита су $\equiv\text{PO}_4^{2-}$ и $\equiv\text{HPO}_4^-$ (или $\equiv\text{PO}^-$). У базној pH области ($7,3 < \text{pH} < 9,3$), са порастом pH средине негативно наелектрисање површине хидроксиапатита расте. То указује на адсорпцију јона OH^- и HPO_4^{2-} на површинским центрима $\equiv\text{Ca}^+$ и $\equiv\text{HPO}_4\text{Ca}^+$, и формирање нових површинских центара: $\equiv\text{CaOH}$, $\equiv\text{CaHPO}_4^-$, $\equiv\text{HPO}_4\text{CaOH}$ и $\equiv\text{HPO}_4\text{CaHPO}_4^-$. Изнад pH 9,3 јони HCO_3^- и/или CO_3^{2-} су присутни у отвореној суспензији хидроксиапатита (HA), тако да се и они могу адсорбовати на позитивним центрима негативно наелектрисаног HA формирајући површинске центре $\equiv\text{CaHCO}_3$ и/или $\equiv\text{CaCO}_3^-$, $\equiv\text{HPO}_4\text{CaHCO}_3$ и $\equiv\text{HPO}_4\text{CaCO}_3^-$. У базнијој средини ($\text{pH} > 9,3$) као могући процеси су и површинска преципитација $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 . Зета потенцијал калцита је позитиван у pH опсегу од 7,8 (15 mV) до изоелектричне тачке на $\text{pH}=11,17$, а у базнијој средини негативан. Осим утицаја потенцијалодређујућих јона (Ca^{2+} и CO_3^{2-} (или HCO_3^-)) парцијални притисак CO_2 из ваздуха утиче на површинско наелектрисање калцита јер CO_2 утиче на растворљивост калцита. На површини калцита се поред површинских центара $\equiv\text{Ca}^+$ и $\equiv\text{CO}_3^-$ у воденој средини формирају $\equiv\text{CaOH}^0$, $\equiv\text{CO}_3\text{H}^0$, као и други површински центри зависно од pH средине. Позитивни зета

потенцијал калцита кандидат је приписао вишку позитивних примарних центара $\equiv\text{Ca}^+$, затим формираним површинским центрима $\equiv\text{CaOH}_2^+$ и $\equiv\text{CO}_3\text{Ca}^+$, као и адсорпцији из раствора катјона Ca^{2+} , CaHCO_3^+ , CaOH^+ на негативним површинским центрима минерала: $\equiv\text{CaCO}_3^-$, $\equiv\text{CaO}^-$ и $\equiv\text{CO}_3^-$. У базној средини (изнад pH 11,17) адсорпција потенцијалодредјујућих јона CO_3^{2-} , HCO_3^- , као и OH^- јона на позитивним центрима на калциту по мишљењу кандидата одређује негативно наелектрисање површине минерала. Опити флотирања калцита су показали да је површина минерала у целом испитиваном pH опсегу хидрофилна (калцит нефлотабилан), а што је у сагласности са резултатима и дискусијом добијених вредности зета потенцијала. Na-олеат је повећавао негативни зета потенцијал хидроксиапатита у односу на вредности добијене само у присуству регулатора pH средине. Пораст негативне вредности од -14 mV на -23 mV у pH области од 4,8 до 6 приписан је адсорпцији јона олеата на позитивним површинским центрима $\equiv\text{Ca}^+$, $\equiv\text{HPO}_4\text{Ca}^+$ и $\equiv\text{OH}_2^+$, негативно наелектрисаног хидроксиапатита. Опити флотирања су показали да у присуству Na-олеата ($1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$), у киселој средини хидроксиапатит слабо флотира, јер је због мале концентрације јона олеата мала адсорпциона густина колектора. У pH области од 7 до 9, у којој се поред јона олеата, Ol^- , у раствору јавља у већој концентрацији и кисели сапун, H(Ol)_2^- и димер Ol_2^{2-} , флотацијско искоришћење хидроксиапатита се креће од 80 до 100%. Површинска активност киселог сапуна је пет пута већа него молекула олеинске киселине, а седам пута већа од мономера Ol^- . Велико флотацијско искоришћење хидроксиапатита је зато приписано хемисорпцији јона олеата и киселог сапуна, H(Ol)_2^- , који орјентисани угљоводоничним ланцима према воденој средини хидрофобизују површину минерала. Због веће адсорпционе густине највероватније постоји и интеракција између угљоводоничних ланаца, тако да у Штерновом слоју адсорбоване олеатне врсте формирају дводимензионалне кондензате, тзв. хемимицеле. Такође је могуће и одигравање реакција јонске измене између олеатног јона и површинских OH^- група, које, не мењају зета потенцијал, али утичу на хидрофобност површине минерала. У pH области од 9 до 10,5 јони Ol^- и димери Ol_2^{2-} доминантни у олеатном раствору, као и OH^- јони, адсорбовани на HA површини повећавају негативно наелектрисање минерала. У pH области изнад 9 долази до смањења флотацијског искоришћења хидроксиапатита услед хидрофилизације његове површине. Према производима растворљивости хидроксиапатита и калцијум-олеата нема довољно јона калцијума за преципитацију Ca(Ol)_2 у раствору, али је могућа површинска преципитација $\text{Ca(Ol)}_{2\text{повр.}}$, као и $\text{Ca}[\text{H(Ol)}_2^-]_{2\text{повр.}}$. У присуству Na-олеата калцит је у целом испитиваном pH опсегу од 7,5 до 10,5 имао негативан зета потенцијал, што је објашњено адсорпцијом анјона олеата и киселог сапуна у pH области у којој је присутан у раствору, на позитивним површинским центрима ($\equiv\text{CaOH}_2^+$, $\equiv\text{CO}_3\text{Ca}^+$ и $\equiv\text{Ca}^+$). На центрима $\equiv\text{CaHCO}_3^0$ и $\equiv\text{CaOH}^0$ се могу одиграти реакције јонске измене, које доприносе хидрофобизацији површине калцита, али не утичу на вредност зета потенцијала. Калцит добро флотира у киселој средини (pH око 5) што је приписано хемисорпцији олеатног јона и површинској преципитацији $\text{Ca(Ol)}_{2\text{повр.}}$, која је вероватно доминатна у киселој средини. Са порастом pH смањује се растворљивост калцита, али се концентрација Ol^- и H(Ol)_2^- повећава, па се на pH око 7 стварају услови и за преципитацију Ca(Ol)_2 у раствору. Ово доводи до потрошње колектора у раствору. Пад

флотацијског искоришћења у овим условима је вероватно последица мале адсорпционе густине хемисорбованог и површински преципитираног олеата. Од рН 7,3 до рН 9,3 расте флотацијско искоришћења од 78% до 92%, и негативни зета потенцијал, што се може приписати постизању потребне адсорпционе густине хемисорбованих јона олеата и киселог сапуна, уз површинску преципитацију $\text{Ca(OL)}_{2\text{повр.}}$ и $\text{Ca[H(OL)}_2^-]_{2\text{повр.}}$. Изнад рН 9,3 HCO_3^- и/или CO_3^{2-} јони су присутни у отвореној суспензији, тако да се и они могу адсорбовати на позитивним центрима калцита, дајући нове центре за интеракцију са олеатом. Зета потенцијал калцита је све негативнији. Флотацијско искоришћење у рН области од 10 до 12 је указало да вероватно доминира реакција јонске измене између бикарбоната са површине и јона OL^- , као и адсорпција OL^- на преосталим позитивним центрима. Даљи пораст рН доводи до пада флотабилности што је последица адсорпције OL_2^{2-} и јона OH^- , као и површинске преципитације Ca(OH)_2 и CaCO_3 . У присуству Na_2SiO_3 површина калцита је у целом испитиваном рН опсегу од 7,67 до 10,87 била негативна, што показује да је дошло до адсорпције силиката на површини калцита. У докторској дисертацији је претпостављен механизам интеракција између позитивног центра на калциту $\equiv\text{CaOH}_2^+$ и силикатних врста у раствору Si(OH)_4 и SiO(OH)_3^- , које доприносе негативном наслектрисању површине. Смањење негативне вредности зета потенцијала калцита изнад рН 9 је приписано површинском таложењу CaSiO_3 на калциту, као и одигравању реакције на површинском центру $\equiv\text{CaCO}_3^-$ у којој се формира $\equiv\text{CaOSi(OH)}_3$. Зета потенцијал хидроксиапатита је у присуству Na_2SiO_3 у рН опсегу од 7 до 11 нешто негативнији од зета потенцијала *HA* у присуству само регулатора рН средине, што говори о малом утицају силкатних врста на површину хидроксиапатита. Претпостављени механизам интеракције је слаба хемисорпција SiO(OH)_3^- на позитивним површинским центрима: $\equiv\text{Ca}^+$ ($\equiv\text{CaOH}_2^+$), $\equiv\text{HPO}_4\text{Ca}^+$ и $\equiv\text{OH}_2^+$. Такође је могућа физичка адсорпција водоничном везом Si(OH)_4 и јона SiO(OH)_3^- на центрима $\equiv\text{CaOH}$, $\equiv\text{HPO}_4\text{CaOH}$ и $\equiv\text{OH}$, као и реакције јонске измене силкатних врста из раствора анијона присутних на површини хидроксиапатита. На основу вредности зета потенцијала хидроксиапатита у присуству $30 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SiO}_3$ и $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \text{ Na}$ -олеата закључено је да Na -силикат не утиче на адсорпцију олеата на површини хидроксиапатита у целом испитиваном опсегу рН. Уколико и долази до слабе адсорпције силикатних врста према претпостављеном механизму у присуству Na -олеата највероватније долази до њихове десорпције услед већег афинитета позитивних површинских *HA* центара према олеатном јону, киселом сапуну и димеру олеата. Ови закључци су у складу са резултатима опита флотирања. Поређењем зета потенцијала калцита у базној средини у присуству $30 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Na}_2\text{SiO}_3$ и $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \text{ Na}$ -олеата и зета потенцијала калцита у присуству сваког реагенса појединачно, закључено је да већи утицај има Na_2SiO_3 . На калциту доминира хемисорпција силикатних анијона и површинска преципитација CaSiO_3 , а јачина везе је таква да у присуству Na -олеата или нема десорпције или је слаба. Претпостављени механизам интеракција површине калцита и ових реагенса када су оба присутна у пулпи објашњава мало флотацијско искоришћење калцита (рН око 9; $I < 30 \%$).

У делу **2.4.4 Зета потенцијал минерала у присуству јона калцита или хидроксиапатита и флотацијских реагенса** одређиван је зета потенцијал минерала хидроксиапатита и калцита у присуству јона конституената ових минерала и флотацијских реагенса: зета потенцијал хидроксиапатита у супернатанту калцита без

и са Na-олеатом; зета потенцијал хидроксиапатита у присуству јона калцијума и карбоната; зета потенцијал калцита у присуству PO_4^{3-} јона; зета потенцијал калцита у супернатанту хидроксиапатита; зета потенцијал калцита у супернатанту хидроксиапатита са Na-олеатом.

Пораст негативне вредности зета потенцијала хидроксиапатита у 30 min супернатанту калцита у области рН од 5,5 до 6,6 је највероватније последица адсорпције HCO_3^- јона на позитивним центрима HA ($\equiv \text{Ca}^+$, $\equiv \text{HPO}_4\text{Ca}^+$ и $\equiv \text{OH}_2^+$) и формирања нових центара $\equiv \text{CaHCO}_3$, $\equiv \text{HPO}_4\text{CaHCO}_3$ и $\equiv \text{OH}_2\text{HCO}_3$. Површина HA је мање негативна у супернатанту калцита, у рН области од 6,6 до 9,2, од површине минерала у присуству само регулатора рН средине. Ово се може објаснити хемисорпцијом Ca^{2+} , CaHCO_3^+ и CaOH^+ јона, присутних у супернатанту калцита, на негативним површинским центрима HA ($\equiv \text{HPO}_4^-$; $\equiv \text{PO}_4^{2-}$). При $\text{pH} > 9,2$ вредности зета потенцијала хидроксиапатита у супернатанту калцита су сличне онима добијеним за хидроксиапатит у присуству само регулатора рН средине.

Зета потенцијал хидроксиапатита у 30 min супернатанту калцита у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата у рН опсегу од 5,5 до 11 је нешто негативнији него у 30 min супернатанту калцита. Слаба хемисорпција јона OI^- и H(OI)_2^- (рН од рН 7 до 9) на хетерогеној површини минерала формираној у 30 min калцитном супернатанту је вероватно последица стерног ефекта. Могуће је и одигравање реакција јонске измене на центрима $\equiv \text{HPO}_4\text{CaOH}$ и $\equiv \text{PO}_4\text{CaOH}$, $\equiv \text{HPO}_4\text{CaHCO}_3$ и $\equiv \text{PO}_4\text{CaHCO}_3$ између OI^- и површинских OH^- и HCO_3^- , као и површинска и преципитација у раствору Ca(OI)_2 и $\text{Ca[H(OI)}_2\text{]}_2$. Опити флотирања су показали да супернатант калцита депримира хидроксиапатит у присуству Na-олеата (I око 50% на рН=9), што је у корелацији са тумачењима зета потенцијала.

Зета потенцијал хидроксиапатита у присуству $1 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ CaCl_2 , је сличан зета потенцијалу калцита у присуству регулатора рН, што се приписује површинској преципитацији калцита на хидроксиапатиту у отвореном систему. У присуству $10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ Na_2CO_3 , зета потенцијал хидроксиапатита у функцији рН средине је скоро исти као у присуству само регулатора рН средине. Закључено је да су у рН опсегу од 7,5 до 10,5 вероватно доминантне реакције јонске измене између HCO_3^- и/или CO_3^{2-} из раствора и одговарајућих површинских ањона, у којима настају површински калцијум-бикарбонат или калцијум-карбонат.

При концентрацији $1 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ PO_4^{3-} у рН опсегу 7,34 - 10,75 зета потенцијал калцита је негативан, услед адсорпције фосфатних јона на позитивним центрима $\equiv \text{CaOH}_2^+$ и $\equiv \text{CO}_3\text{Ca}^+$. По вредности је сличан зета потенцијалу хидроксиапатита, што указује да у овим условима долази до површинске преципитације хидроксиапатита на калциту.

Зета потенцијал калцита у супернатанту хидроксиапатита је мање позитиван у рН области 7,28 до 10,70 у односу на зета потенцијал калцита у присуству само регулатора рН средине, услед адсорпције јона HCO_3^- , CO_3^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , и PO_4^{3-} из супернатанта HA на позитивним површинским центрима калцита. У 30 min супернатанту хидроксиапатита концентрација фосфатних јона је недовољна за потпуну конверзију површине калцита у хидроксиапатит, али се минерална површина понаша као мешавина хидроксиапатита и калцита.

У рН области од 7,92 до 11,24 зета потенцијал калцита у супернатанту хидроксиапатита у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата је негативан, што се може објаснити адсорпцијом олеатних врста. С обзиром да је калцит растворљив, а да на њега делују и јони из супернатанта хидроксиапатита, број консекутивних и паралелних реакција у раствору и на измењеној површини калцита у присуству олеата је велики. Вероватно је да се олеат адсорбује на површини минерала на сличан начин како је то приказано код хидроксиапатита. Такође су могуће и реакције јонске измене, као и површинска преципитација $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Ca}[\text{H}(\text{OH})_2]_2$ у двојном електричном слоју.

У делу **2.4.5 Испитивања на руди** лабораторијски опити су показали да је могуће на основу резултата фундаменталних испитивања површинских особина минерала (флотабилност и зета потенцијал хидроксиапатита и калцита) модификовати и унапредити досадашњу утврђену шему технолошког поступка припреме руде фосфата „Лисина“, у односу на концентрацију депримира и време флотирања. На основу фундаменталних испитивања услова селективности у систему хидроксиапатит-калцит, у којима је утврђено да Na_2SiO_3 у опсегу концентрација од 20 до 130 mg dm^{-3} не депримира хидроксиапатит у присуству $1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ Na-олеата на $\text{pH} = 9$ ($I > 97\%$), у лабораториским опитима на руди кандидат је повећао концентрацију Na_2SiO_3 са 400 на 600 g/t , што је утицало на повећање флотацијског искоришћења и повећање квалитета концентрата. У лабораторијским опитима флотирања време флотирања хидроксиапатита из руде је скраћено (друго флотирање: са 10 min на 8 min), а што је у складу са фундаменталним испитивањима брзине флотирања хидроксиапатита и калцита у присуству Na_2SiO_3 . На основу резултата из литературе у овим опитима кандидат је повећао садржај чврсте фазе са 25% (ранија технолошка испитивања) на 35% у кондиционирању и флотирању, што је довело до смањења потрошње воде и регулатора рН средине. Најбољи резултати су добијени са 35% чврсте фазе, уз смањење потрошње Na-олеата, танина и пенушача, у односу на режим ових реагенаса при 25% чврсте фазе. Само је потрошња Na_2SiO_3 повећана из горе наведених разлога. Скупни концентрат фосфата је имао од 31,315% до 32,407% P_2O_5 , тако да је представљао дефинитивни концентрат, са искоришћењем P_2O_5 преко 91,5% и садржајем карбоната око 5,5% и Fe_2O_3 око 0,8%, одакле је кандидат закључио да није потребна магнетска сепарација. Кандидат је стога шему технолошког процеса примењену у овим опитима поједноставио у односу на досадашњу шему, што је повећало ефикасност процеса и смањило трошкове припреме руде. У полуиндустријским испитивањима, у којима је прерађено 1885 kg руде и произведен концентрат чији је квалитет изнад захтева тржишта (произведено преко 600 kg концентрата са 34,02% P_2O_5) кандидат је прилагодио дефинисане параметре лабораторијских испитивања континуалном процесу. Извршио је верификацију реагенсног режима примењеног у лабораторијским испитивањима. Постигнуто је селективно флотирање хидроксиапатита и депримирање калцита (садржај карбоната у скупном концентрату 3,75%) као и других минерала јаловине у руди (нпр. садржај Fe_2O_3 у скупном концентрату испод 0,7%). У овим испитивањима је добијен дефинитивни концентрат без пречишћавања. Пошто су минерали носиоци гвожђа депримирани и полуиндустријска проба је потврдила да није било потребно применити магнетску сепарацију, што поједностављује и појефтиније припрему руде фосфата „Лисина“.

Део 3. ЗАКЉУЧАК садржи сиже најзначајнијих резултата и њихове дискусије, са освртом на научни и практични допринос дисертације, уз предлог даљих фундаменталних и технолошких испитивања.

Део 4. ЛИТЕРАТУРА садржи 338 цитираних наслова.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај

1. Савременост теме докторске дисертације свакако потврђује чињеница да су фосфати стратешка сировина, посебно важна за пољопривреду и производњу вештачких ђубрива.

2. Оригиналност ове докторске дисертације се може сагледати са више аспеката:

а) Фундаментална испитивања о међусобном утицају хидроксиапатита и калцита на њихове површинске особине у флотацијским условима су обављена на природним минералима, а што су према нашем сазнању једина у односу на расположиву литературу у којој су испитивања вршена на синтетичким узорцима.

б) предложени механизми интеракција у испитиваном систему хидроксиапатит-калцит и структура двојног електричног слоја на граници: минерал/вода; минерал/вода, флотацијски реагенс(и); минерал/вода, јон Са (или PO_4 или CO_3); минерал/супернатант другог минерала; минерал/супернатант другог минерала, флотацијски реагенс(и); минерал/супернатант другог минерала, јон Са (или PO_4 или CO_3) су оригинални. Потврда оригиналности дела резултата је и категорисање објављеног рада (M_{22}) према BioMedLib (www.BioMedLib.com) у Top 10, All Time, у области којом се бави.

в) Дефинисани услови селективног раздвајања хидроксиапатита и калцита су такође оригинални.

3. Са становишта теорије флотирања минерала типа соли ови резултати имају велики значај с обзиром да су свеобухватно праћене особине реагенса Na-олеата и Na-силиката у функцији pH средине, утицај pH средине на растворљивост и површинске особине испитиваних минерала и појединачних јона (дистрибуција у раствору јонских и молекулских врста Са, фосфата и карбоната) и сагледане могуће интеракције у тако сложеним системима. Захваљујући таквом приступу кандидат је могао да дође до дефинисања услова при којима долази до селективног флотирања хидроксиапатита. Неопходан услов хидрофобизације површине минерала и успешног флотирања је хемисорпција колектора, која је у овој дисертацији потврђена у случају хидроксиапатита на pH око 9 где доминира хемисорпција јона олеата и киселог сапуна, $\text{H}(\text{Ol})_2^-$, у присуству натријум-силиката који депримира калцит, а који се слабо физички адорбован десорбује у присуству колектора са површине хидроксиапатита.

Значај ових резултата се огледа и у томе што могу да послуже другим кандидатима који би се бавили сличном проблематиком везаном за минерале типа соли, како због приступа експерименталном раду, добијених резултата и начина њихове дискусије, тако и због приказане литературе.

4. Савременост, оригиналност и значај ове докторске дисертације су посебно везани и за резултате добијене лабораторијским и полииндустријским испитивањима на узорку равне руде фосфата „Лисина“. Лабораторијски опити су показали да је могуће на основу резултата фундаменталних испитивања површинских особина минерала модификовати и унапредити досадашњу утврђену шему технолошког поступка припреме руде фосфата „Лисина“, у односу на концентрацију деприматора и време флотирања. Повећањем садржаја чврсте фазе смањена је потрошња воде и регулатора pH средине. Скупни концентрат је имао од 31,315% до 32,407% P_2O_5 , тако да је представљао дефинитивни концентрат, са искоришћењем P_2O_5 преко 91,5%, садржајем карбоната око 5,5% и Fe_2O_3 око 0,8%, што је значило да није потребна магнетска сепарација. У полуиндустријским испитивањима, у којима је произведен концентрат чији је квалитет био изнад захтева тржишта (34,02% P_2O_5), прилагођени су дефинисани параметри лабораторијских испитивања континуалном процесу. Постигнуто је

селективно раздвајање флотирањем хидроксиapatита и депримирањем калцита (садржај карбоната у скупном концентрату 3,75%) и других минерала јаловине у руди (нпр. садржај Fe_2O_3 у скупном концентрату испод 0,7%). У овим испитивањима је добијен дефинитивни концентрат без пречишћавања. Пошто су минерали носиоци гвожђа депримирани није било потребно применити магнетску сепарацију, што је поједноставило и појефтинило припрему руде фосфата „Лисина“.

Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је цитирано 338 наслова. Део литературе се може сматрати референтном за тему којом се кандидат бавио. То се односи на радове о растворљивости синтетичког хидроксиapatита и калцита, зета потенцијалу синтетичког хидроксиapatита у супернатанту калцита и обрнуто, адсорпцији Na-силиката на минералима и механизму адсорпције Na-олеата. Преостала литература је коришћена да се да јаснији преглед радова који се односе на површинске особине минерала типа соли и укаже на примену одређених реагенса у процесу њиховог селективног флотирања, на поступке припреме који се примењују за руде фосфата, затим литература о досадашњим технолошким испитивањима на руди фосфата «Лисина». Такође је коришћена литература о лежиштима руда фосфата у свету, као и литература о минералошким особинама хидроксиapatита и калцита. Међутим, механизам интеракције у системима хидроксиapatит-вода, хидроксиapatит-супернатант калцита, калцит-супернатант хидроксиapatита, односно структура двојног електричног слоја на граници чврсто/течно ових система који су дати у докторској дисертацији се могу сматрати оригиналним и као такви се могу надаље сматрати као референтна литература.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У делу **2.3 Узорци, методе испитивања и реагенси** у оквиру **2.3.3 Методе за карактеризацију узорака** наведено је да су коришћене метода: хемијске анализе, квалитативне микроскопске минералошке анализе, термогравиметрије (TG) и диференцијалне термичке анализе (DTA), рендгенске дифракционе анализе. Флотабилност хидроксиapatита и калцита је испитивана поступком безбеног флотирања у Лившицовој ћелији (**2.3.5 Флотабилност минерала**), а електрокинетички (зета) потенцијал минерала је одређиван је методом електрофорезе (**2.3.6 Одређивање електрокинетичког потенцијала хидроксиapatита и калцита**). Према расположивој литератури мишљења смо да су примењене методе адекватне за спроведено истраживање. Једино није могла да се примени инфрацрвена спектроскопска анализа јер РФФ не располаже инфрацрвеним спектрофотометром типа FTIR или DRIFT, а за рад у другој установи била су неопходна додатна материјална средства. Рефлексиона инфрацрвена спектроскопија би омогућила идентификацију површинских функционалних група, односно адсорбованих врста, што би допринело прецизнијем дефинисању услова хемисорпције и/или јонске измене, а у крајњој инстанци механизма интеракција у сложенем систему хидроксиapatит-калцит-вода. Технолошка испитивања су такође изведена на адекватан начин, применом адекватних метода и уређаја.

Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Применљивост резултата добијених у докторској дисертацији потврђује 6 техничко-технолошких решења која су дата на основу испитивања обављених у дисертацији. Даље ће кандидат стечено знање при изради дисертације користити у раду на 2 пројекта

Министарства просвете и науке Републике Србије, а који су везани и за минерале типа соли, односно проблематику којом се кандидат бавио у докторској дисертацији.

а) Техничко-технолошка решења произашла из резултата докторске дисертације и једно везано за практичну примену хидрокسياпатита као адсорбента (М-82, М-83, М-84):

1. Драган С. Радуловић, Живко Секулић, Јовица Стојановић (2010): Добијање новог производа-концентрата лискуна (мусковита) из фосфоритске руде „Лисина“, ИТНМС, М-82.
2. Драган С. Радуловић, Владимир Јовановић, Бранислав Ивошевић, Владан Милошевић, Љубиша Андрић, Зоран Бартуловић, Дејан Тодоровић, Ивана Илић (2010): Ефикасна примена новоосвојених технолошких знања у полу-индустријским условима рада у циљу добијања концентрата апатита из фосфатне руде „Лисина“, ИТНМС, М-83 (ново експериментално постројење).
3. Мирјана Стојановић, Драган Радуловић, Мирко Грубишић, Деана Илеш (2009): URANOFIX-реактивни материјал на бази домаћих фосфата намењен ремедијацији контаминираних земљишта уранијумом, ИТНМС, Т 1-5, М-84.
4. Драган С. Радуловић, Душица Вучинић (2010): Унапређење технологије ефикасним депримирањем минерала гвожђа у поступку флотирања апатита из фосфатне руде „Лисина“, ИТНМС, М-84 (битно побољшан технолошки поступак).
5. Драган С. Радуловић, Душица Вучинић, Бранислав Ивошевић (2010): Унапређење технологије добијања концентрата апатита, изменом процента чврсте фазе у поступку флотирања фосфатне руде „Лисина“, ИТНМС, М 84 (битно побољшан технолошки поступак).
6. Драган С. Радуловић, Дејан Тодоровић, Бранислав Ивошевић, Владан Кашић (2010): Унапређење технологије прераде фосфатне руде „Лисина“ изменом шеме флотирања, ИТНМС, М-84 (битно побољшан технолошки поступак).

б) Пројекти Министарства просвете и науке Републике Србије:

1. Пројекат ТР 31003: “Развој технологија и производа на бази минералних сировина и отпадне биомасе у циљу заштите ресурса за производњу безбедне хране“, (2011-2014).
2. Пројекат ТР 34013: “Освајање технолошких поступака добијања еколошких материјала на бази неметаличних минералних сировина”(2011-2014).

в) Кандидат је стечено знање кроз рад на докторској дисертацији већ применио у пракси и верификовао кроз израду Студије изводљивости експлоатације фосфоритне руде лежишта „Лисина“ 2008. године (1) и као руководиоца технолошко-машинског дела Иновиране студије изводљивости из 2009. године (2) :

1. С. Милошевић, Д. С. Радуловић, Б. Ивошевић, В. Антанасковић, Д. Видановић, В. Ђошић, Студија Изводљивости: “Експлоатација Фосфоритне Руде из Лежишта “Лисина” код Босилеграда и Производња Концентрата Фосфата (K/P_2O_5) Тржишног Квалитета”, Књига 2: “Примарна Прерада Фосфоритне Руде “Лисина” – Производња Концентрата Фосфата (K/P_2O_5) Тржишног Квалитета”, Технолошко-машински део, ИТНМС, Београд, 2008.
2. Д. С. Радуловић, Б. Ивошевић, В. Антанасковић, Д. Видановић, В. Ђошић, Иновирана Студија Изводљивости: “Експлоатација Фосфоритне Руде из Лежишта “Лисина” код

Босилеграда и Производња Концентрата Фосфата (K/P_2O_5) Тржишног Квалитета”, Књига 2: “Примарна Прерада Фосфоритне Руде “Лисина”– Производња Концентрата Фосфата (K/P_2O_5) Тржишног Квалитета за капацитет од 1.500.000 t”, Технолошко-машински део, ИТНМС, Београд, 2009.

Оцена способности кандидата за самосталан рад

Мр Драган Радуловић је у току рада показао изузетну заинтересованост за проблематику којом се бавио у оквиру докторске дисертације. То се огледа пре свега у прегледу веома обимне литературе која се односи на фундаментална испитивања везана за тему дисертације, самосталност у проучавању и коришћењу одговарајуће литературе, самосталност у експерименталном раду и тумачењу добијених резултата. Кроз фундаментална испитивања кандидат је стекао знања која је самостално и успешно применио у технолошким испитивањима на руди фосфата, у оквиру веома обимних лабораторијских испитивања и у испитивањима у индустријским условима, а што претставља квалитет више за његов рад. Као први аутор дао је 5 техничко-технолошких решења из области коју је третирао у докторској дисертацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

Иако је кроз претходни део Извештаја већ истицано, овде ће се поновити шта по мишљењу Комисије представља научни допринос ове дисертације:

1. Прво научни допринос ове докторске дисертације представљају фундаментална испитивања обављена на природним минералима хидроксиапатиту и калциту о међусобном утицају ова два минерала на њихове површинске особине у флотацијским условима. Утврђивање површинских особина минерала у присуству регулатора рН средине без и са одговарајућим реагенсима, омогућило је дефинисање интеракција у тако поједностављеним системима у односу на систем каква је флотацијска пулпа. Њихов научни значај је у томе што је сагледавањем утицаја рН средине на врсту површинских центара на минералима и дистрибуцију јонских и молекулских врста у раствору реагенса било могуће претпоставити механизме интеракција у испитиваним системима. Међутим, велики научни допринос имају испитивања у којима су коришћени супернатанти минерала (раствор добијен растварањем хидроксиапатита или раствор добијен растварањем калцита) јер су са становишта течне фазе то услови сличнији течној фази у пулпи. Ова испитивања су дала нови квалитет дисертацији, где је сагледан утицај јона из супернатанта на површинске особине минерала у зависности од рН средине и присутног реагенса. Да би се утврдили услови површинске конверзије хидроксиапатита у калцит и обрнуто, испитиване су и површинске особине ових минерала у зависности од концентрације јона Ca , PO_4 или CO_3 , с обзиром да су ови јони конституенти кристала хидроксиапатита или калцита. Све ово потврђује да је кандидат успео кроз резултате и њихову дискусију да да у складу са темом докторске дисертације одређени научни допринос.

2. Оригинални претпостављени механизми интеракција које се одигравају у двојном електричном слоју на граници фаза, односно предложена структура двојног електричног слоја на граници: минерал/вода; минерал/вода, флотацијски реагенс(и); минерал/вода, јон Ca (или PO_4 или CO_3); минерал/супернатант другог минерала; минерал/супернатант другог минерала, флотацијски реагенс(и); минерал/супернатант другог минерала, јон Ca (или PO_4 или CO_3) имају у овој докторској дисертацији највећи научни допринос.

Потврда тога је 5 позива за одржавање предавања по позиву (Кина, Индија, Канада, Италија, Турска) на основу рада објављеног у часопису *Journal of Colloid and Interface Science* (M₂₂), а који је категорисан према BioMedLib (www.BioMedLib.com) у Top 10, All Time, у области којом се бави.

3. Са становишта теорије флотирања и испитивања површинских особина минерала типа соли ови резултати имају научни допринос с обзиром да су свеобухватно праћене особине реагенаса, Na-олеата и Na-силиката у функцији pH средине, утицај pH средине на растворљивост и површинске особине испитиваних минерала и појединачних јона и сагледане могуће интеракције у тако сложеним системима. Захваљујући таквом приступу кандидат је дошао до оригиналних закључака и дефинисања услова при којима долази до селективног флотирања хидроксиапатита. Неопходан услов хидрофобизације површине минерала и успешног флотирања је хемисорпција колектора, која је у овој дисертацији потврђена у случају хидроксиапатита на pH око 9 где доминира хемисорпција јона олеата и киселог сапуна, H(OL)_2^- , у присуству натријум-силиката који депримира калцит, а који се слабо физички адорбован десорбује у присуству колектора са површине хидроксиапатита.

4. Са становишта техничко-технолошких наука као оригинални научни допринос може се сматрати то што су дефинисани лабораторијски и полуиндустријски услови припреме руде фосфата «Лисина», при којима је дошло до депримирања минерала гвожђа, а добијени концентрат фосфата квалитета који је бољи од захтеваног тржишног квалитета.

Научни допринос докторске дисертације верификован је и радовима који су публиковани у часописима и у зборницима конференција у целини. Од пријаве теме докторске дисертације кандидат из материјала докторске дисертације има 1 рад са SCI листе (M₂₂), 1 рад објављен у часопису националног значаја (M₅₂) и 1 рад на међународном скупу штампан у целини (M₃₃):

1. Рад у часопису националног значаја, M₅₂

Драган С. Радуловић, Душица Р. Вучинић, Електрокинетичке особине апатита у условима његовог флотирања, **Техника**, 5 (2009) 1-5, YU ISSN 0040-2176, Часопис Савеза инжењера и техничара Србије.

2. Рад у истакнутом међународном часопису, M₂₂

1. Dušica R. Vučinić, Dragan S. Radulović, Slaven Đ. Deušić, Electrokinetic properties of hydroxyapatite under flotation conditions", *Journal of Colloid and Interface Science*, ISSN 0021-9797, 343, Issue 1, (2010) 239-245 (IF = 3,068).

3. Саопштење са међународног скупа штампано у целини, M₃₃

Dragan S. Radulović, Dušica Vučinić, Živko Sekulić, Mirjana Stojanović: „ Zeta potential of apatite: measurements under flotation conditions", **XIV Balkan Mineral Processing Congress** (14-16 June 2011) 242-249, Tuzla, BiH, ISBN 978-9958-31-038-6.

Следећа три рада M₃₃ се односе на минерал калцит. Такође су објављена после пријаве теме докторске дисертације и у ширем смислу имају везе са облашћу којој припада тема дисертације, односно са особинама минерала типа соли.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини, M₃₃

1. Vladimir Jovanović, Živko Sekulić, Dragan Radulović, Slavica Mihajlović, Branislav Ivošević: „ Investigation of mechanical properties of limestone briquettes for agricultural

purposes", XIV Balkan Mineral Processing Congress, (14-16 June 2011) 415-419, Tuzla, BiH, ISBN 978-9958-31-038-6.

2. **Dragan S. Radulović**, Velimir Antanasković, Branislav Ivošević, Živko Sekulić: „Waste removal in primary crushing at limestone and stone aggregates processing plant from deposit “Suvodo” a.d. – Jelen Do”, XIV Balkan Mineral Processing Congress, (14-16 June 2011) 808- 814, Tuzla, BiH, ISBN 978-9958-31-038-6.

3. **Dragan S. Radulović**, Vladimir Jovanović, Slavica Mihajlović, Branislav Ivošević “*The possibility of getting pellets from the fine grained Ca-carbonate sample*” 4th Balkan Mining Congress, ISBN 978-961-269-534-7, M.Medved (Ed.), 1960-258079488, Ljubljana, Slovenia, (18th-20th October 2011) 485-489.

Критичка анализа резултата истраживања

Комисија сматра да је у овој докторској дисертацији испитивање обављено систематично, према одређеним хипотезама које су дате у пријави теме, применом одређених физичкохемијских и других метода, уз јасну и веома обимну дискусију и са дефинисаним закључцима. Мишљења смо да по обиму приказаних резултата и фундаменталних и технолошких испитивања и њиховој дискусији, докторска дисертација кандидата мр Драгана Радуловића, дипл. инж. рударства, представља рад који у потпуности испуњава, па чак и превазилази захтеве дисертације. Већ је речено да би инфрацрвена спектроскопска анализа (FTIR или DRIFT), допринела детаљнијем дефинисању адсорбованих врста на површини минерала, посебно олеатних врста (олеатни јон са функционалном групом $-\text{COO}^-$ која има траку у инфрацрвеном спектру на око 1550 cm^{-1} ; молекула олеинске киселине, тј. функционална група $-\text{COOH}$ са траком на око 1710 cm^{-1}), а преко вибрације C-H везе у функционалним групама $-\text{CH}_3$ и $>\text{CH}_2$, и дефинисању површинске уређености адсорбоване површински активне материје и оријентације њихових угљоводоничних ланаца у адсорбованом слоју. Међутим, то би захтевало велики број експеримената, па смо мишљења да би то превазишло обим докторске дисертације, али може да буде смер за даља испитивања у овој области.

Очекивана примена резултата у пракси

1. Применљивост резултата добијених у овој докторској дисертацији прво потврђује 6 техничко- технолошких решења произашлих из докторске дисертације, од тога 5 код којих је кандидат први аутор (списак дат у делу **Оцена применљивости и верификације остварених резултата**, под а).

2. Кандидат је стечено знање кроз рад на докторској дисертацији већ применио у пракси и верификовао кроз израду Студије изводљивости експлоатације фосфоритне руде лежишта „Лисина“ 2008. године и као руководиоца технолошко-машинског дела Иновираних студија из 2009. године (у делу **Оцена применљивости и верификације остварених резултата** називи студија дати под в).

3. Даље ће кандидат стечено знање при изради дисертације користити у раду и у области фундаменталних и у области технолошких испитивања предвиђених у оквиру 2 пројекта Министарства просвете и науке Републике Србије, а који су везани тематски за минерале типа соли или неметаличне минералне сировине, односно за сличну проблематику којом се кандидат бавио у докторској дисертацији (у делу **Оцена применљивости и верификације остварених резултата** називи пројеката дати под б).

4. Кандидат у свом домену рада у ИТНМС-у учествује у активностима везаним за отварање рудника фосфата „Лисина“–Босилеград. Ово се пре свега односи на технолошка испитивања везана за утврђивање дефинитивне технолошке шеме процеса

припреме репрезентативних узорака руде фосфата лежишта „Лисина“, којом ће се на најједноставнији начин добити концентрат хидроксиапатита комерцијалног квалитета. Осим тога настављају се испитивања на дефинисању услова за добијање још једног производа (концентрата лискуна) из руде, који има своју тржишну вредност. Како је отварање рудника „Лисина“-Босилеград блиско повезано са концептом заштите животне средине и одрживог развоја, предлаже се да погон припреме ради са 95% повратних вода. То ће захтевати технолошка испитивања оваквог начина рада, посебно испитивања у којима би се симулирали зимски услови везано за температуру повратне воде и утицај на припрему руде, а посебно при флотирању. Такође ће у овим условима бити дефинисан режим реагенса и упоређен са режимом примењеним у оквиру докторске дисертације.

Даље објављивање радова

У оквиру докторске дисертације, поред већ објављених резултата, већи део резултата није објављен због времена посвећеног обимним испитивањима обављеним у оквиру дисертације. Ти необјављени резултати се могу презентовати на конференцијама и публиковати у часописима. Ово се пре свега односи на резултате флотабилности хидроксиапатита и калцита, кинетику флотирања, зета потенцијал калцита, утицај хидроксиапатита на површинске особине калцита и утицај фосфатних јона на површинске особине калцита у флотацијским условима. Такође, резултати добијени у технолошким испитивањима на руди ће бити објављивани на стручним скуповима и у стручним часописима. Даљи истраживачки рад кандидата у овој области, уз стечено знање кроз рад на дисертацији, би дао нове резултате који би могли да се на адекватан начин објављују, а и примењују у пракси.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом докторске дисертације мр Драгана Радуловића, дипл.инж.рударства под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине”, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључује следеће:

1. Докторска дисертација по свом садржају одговара теми која је прихваћена од Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и на коју је Одлуком Стручног већа за рударске и геолошке науке Универзитета у Београду дата САГЛАСНОСТ.

2. Докторска дисертација је концизно написана, јасним стилем и коришћењем прихваћене терминологије, уз коришћење стандардних ознака и мерних јединица по SI систему или допуштених јединица ван SI система.

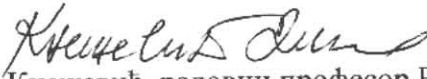
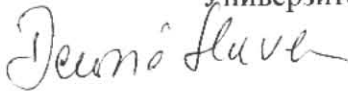
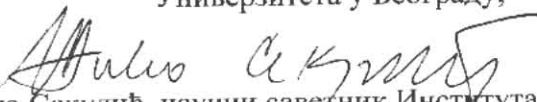
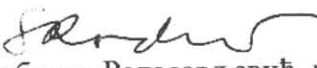
3. Систематичним приступом теми, анализом и коришћењем актуелне и референтне литературе у циљу дефинисања експерименталног рада, коришћењем адекватних метода, квалитетом експерименталног рада, добијеним резултатима фундаменталних испитивања и њиховом обимном и садржајном дискусијом, кандидат је дао прво велики научни допринос у дефинисању сложеног флотацијског система какав је систем хидроксипатит-калцит. Применом резултата фундаменталних испитивања у технолошким испитивањима на руди фосфата докторска дисертација је добила још већи значај и потврдила своју савременост и оригиналност. На овај начин кандидат је показао да је способан да самостално решава како научне тако и инжењерске проблеме, и да стечена знања синергетски примењује.

4. Научни допринос ове докторске дисертације представљају фундаментална испитивања обављена на природним минералима хидроксипатиту и калциту о међусобном утицају ова два минерала на њихове површинске особине у флотацијским условима и оригинални претпостављени механизми интеракција које се одигравају у систему хидроксипатит-калцит-флотацијски реагенс(и), а што је од великог значаја са становишта теорије флотирања. Научни допринос докторске дисертације верификован је и радовима који су публиковани у часописима и у зборницима конференција у целини. Од пријаве теме докторске дисертације кандидат из материјала докторске дисертације има 1 рад са SCI листе (M_{22}), 1 рад објављен у часопису националног значаја (M_{52}) и 1 рад на међународном скупу штампан у целини (M_{33}).

Са становишта техничко-технолошких наука као оригинални научни допринос може се сматрати то што су дефинисани лабораторијски и полуиндустријски услови припреме руде фосфата «Лисина», при којима је дошло до депримирања минерала гвожђа, а добијени концентрат фосфата квалитета који је бољи од захтеваног тржишног квалитета. Примењивост резултата добијених у докторској дисертацији потврђена је са 6 техничко-технолошких решења која су дата на основу испитивања обављених у дисертацији. Кандидат је стечено знање применио у пракси и верификовао кроз израду Студије изводљивости експлоатације фосфоритне руде лежишта „Лисина“ 2008. године и као руководиоца технолошко-машинског дела Иновиране студије изводљивости из 2009. године.

На основу свега изложеног Комисија са задовољством констатује да докторска дисертација кандидата мр Драгана Радуловића, дипл.инж. рударства под насловом: „Утицај јона апатита и калцита на њихове површинске особине”, има значајан научни и стручни допринос и предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати Извештај и у складу са законском процедуром закаже усмену јавну одбрану пред Комисијом у истом саставу.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:

1.  Др Душица Вучинић, редовни професор Рударско-геолошког факултета
Универзитета у Београду, ментор;
2.  Др Динко Кнежевић, редовни професор Рударско-геолошког факултета
Универзитета у Београду;
3.  Др Славен Деушић, редовни професор Рударско-геолошког факултета
Универзитета у Београду;
4.  Др Живко Секулић, научни саветник Института за технологију нуклеарних
и других минералних сировина у Београду;
5.  Др Слободан Радосављевић, научни саветник Института за технологију нукле-
арних и других минералних сировина у Београду.

Београд, 7.11.2011.