

Институт за рударство и металургију Бор  
Председнику Научног већа  
Датум: 26.09.2024. године

Поштовани,

На основу Вашег захтева број 1136/24 од 23.05.2024. године од за потврду категорије техничког решења под називом **„Развој нове технологије добијања фери-фосфата за примену у производњи литијумских батерија“** аутори Драгана Божић, Весна Цонић, Љиљана Аврамовић, Зоран Стевановић, Радмила Марковић, Емина Пожега и Вања Трифуновић из 2024. године,

Обавештавам Вас следеће:

Након прибављених мишљења о наведеном техничким решењима, чланови МНО за материјале и хемијске технологије су их, на седници одржаној 26.09.2024. године разматрали и сачинили предлог да техничко решење под називом **„Развој нове технологије добијања фери-фосфата за примену у производњи литијумских батерија“** аутори Драгана Божић, Весна Цонић, Љиљана Аврамовић, Зоран Стевановић, Радмила Марковић, Емина Пожега и Вања Трифуновић из 2024. године, **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене *Правилником о стицању истраживачких и научних звања* („Службени гласник РС“, број 159/20 и 14/2023) за доделу категорије **М82 - Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу.**

Предлог се доставља Министарству науке, технолошког развоја и иновација РС ради процене и прихватања истог.

Председник МНО  
за материјале и хемијске технологије

Др Јасна Стајић Трошић

**ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ**  
НОВО ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ПРИМЕЊЕНО НА НАЦИОНАЛНОМ  
НИВОУ  
(M82)

**``РАЗВОЈ НОВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ДОБИЈАЊА ФЕРИ-  
ФОСФАТА ЗА ПРИМЕНУ У ПРОИЗВОДЊИ  
ЛИТИЈУМСКИХ БАТЕРИЈА``**

Мај, 2024.

## САДРЖАЈ

Захтев за покретање поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења.....	4
1. Име и презиме аутора решења.....	5
2. Назив техничког решења.....	5
3. Кључне речи.....	5
4. За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде) – корисник.....	5
5. Година када је решење комплетирано.....	5
6. Година када је почело да се примењује и од кога.....	5
7. Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи.....	5
8. Проблем који се техничким решењем решава.....	5
9. Стање решености тог проблема у Свету.....	7
10. Опис техничког решења.....	7
10.1. Увод.....	7
10.2. Карактеризација чврстог остатка добијеног прерадом нестандардног јарозит-PbAg талоба.....	8
10.2.1. Хемијска анализа чврстог остатка.....	8
10.2.2. Минералозна анализа чврстог остатка након пржења и лужења.....	8
10.3. Испитивање кључних параметара процеса растварања излуженог прженца јарозита у хлороводоничној киселини (утицај концентрације HCl, време процеса, однос Ч:Т) како би се утврдио максимални степен растварања Fe.....	8
10.4. Одређивање потребне количине натријум-хидроксида и дефинисање оптималних параметара процеса преципитације гвожђа, олова и сребра из хлоридног раствора.....	10
10.4.1. Хидроксидна преципитација метала.....	10
10.4.2. Одређивање потребне количине сумпорне киселине и услова процеса превођења метала Fe из преципитата у растворни фери-сулфат.....	10
10.5. Дефинисање параметара квантитативног таложења фери-фосфата.....	13
10.5.1. Добијање фери-фосфата из раствора фери-хлорида применом поступака преципитације Fe, растварања преципитата у H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , те превођењем фери-сулфата у фери-фосфат.....	13
10.5.2. Директно таложење FePO <sub>4</sub> из раствора FeCl <sub>3</sub> коришћењем 1M Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	13
10.5.3. Директно таложење FePO <sub>4</sub> из раствора FeCl <sub>3</sub> са 0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> при различитим рН вредностима.....	13
10.5.4. Директно таложење FePO <sub>4</sub> из раствора FeCl <sub>3</sub> са 0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> при различитим рН вредностима.....	14
10.5.5. Директно таложење FePO <sub>4</sub> из раствора FeCl <sub>3</sub> са 0,5M NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> при различитим рН вредностима.....	14
10.5.6. Добијање фери-фосфата из раствора фери-хлорида применом поступака преципитације Fe, растварања преципитата у H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , корекције рН вредности и превођењем фери-сулфата у фери-фосфат.....	15
10.6. Потребне количине реагенаса за добијање фери-фосфата.....	17
10.7. Хемијска карактеризација свих течних и чврстих међупродуката насталих у току процеса.....	17
10.8. Хемијска карактеризација талоба насталог након растварања у HCl ради дефинисања којој групи отпада припада.....	18
10.9. Израда материјалног биланса предложеног технолошког процеса третмана излуженог прженца јарозита у циљу добијања концентрата олова и сребра и фери-фосфата.....	18
10.9.1. Технолошка шема процеса добијања FePO <sub>4</sub> ·xH <sub>2</sub> O из прженца јарозита, који је претходно излужен у води.....	18

10.9.2	Опис технолошког поступка процеса добијања $FePO_4$ из прженца јарозита, који је претходно излужен у води.....	20
10.9.3	Материјални биланс предложеног поступка.....	20
10.10.	Норматив сировина и електроенергије за дефинисани поступак прераде излуженог прженца јарозита.....	20
10.11.	Предлог поступака за пречишћавање отпадних вода које настају у предложеном процесу прераде излуженог прженца јарозита .....	21
11.	Техничка документација.....	22
11.1.	Прилог 1. Резултати LP и TCLP теста.....	22
11.2.	Прилог 2. Резултати карактеризације отпадних вода према стандарду за испуштање у реципијент.....	26
11.3.	Валидан доказ о примени техничког решења.....	31
11.4.	Рад у часопису ``Minerals`` категорије M22.....	33
11.5.	Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-, „Metal recovery,, д.о.о. Београд.....	49
11.6.	Уговор и Анекс уговора о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-, „Metal recovery,, д.о.о. Београд.....	60
11.7.	Рачун ``Metal Recovery d.o.o. Beograd`` .....	69
11.8.	Извод банке.....	71
12.	Листа раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно.....	72
	ЗАХВАЛНОСТ.....	78
	РЕФЕРЕНЦЕ.....	78

## Захтев за покретање поступка за валидацију и верификацију техничког решења

### НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

#### Предмет: Покретање поступка за валидацију и верификацију техничког решења

У складу са Правилником о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник РС”, бр. 159/20 и 14/23), обраћамо се Научном Већу Института за рударство и металургију Бор, са молбом да покрене поступак за валидацију и верификацију техничког решења под називом:

#### “РАЗВОЈ НОВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ДОБИЈАЊА ФЕРИ-ФОСФАТА ЗА ПРИМЕНУ У ПРОИЗВОДЊИ ЛИТИЈУМСКИХ БАТЕРИЈА”

Аутора:

1. Др Драгана Божић, дипл.инг.мет.
2. Др Весна Цонић, дипл.инг.мет.
3. Др Љиљана Аврамовић, дипл.инг.техн.
4. Др Зоран Стевановић, дипл.инг.руд.
5. Др Радмила Марковић, дипл.инг.техн.
6. Др Емина Пожега, дипл.инг.мет.
7. Вања Трифуновић, дипл.инг.техн.

Техничко решење – (М82) резултат је финансијски подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, уговор бр. 451-03-66/2024-03/ 200052.

Пријава техничког решења Матичном научном одбору за материјале и хемијске технологије Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

У Бору, 08.05.2024.

Подносилац захтева:



Др Драгана Божић, виши научни сарадник

**1) Име и презиме аутора решења**

- 1.1) Др Драгана Божић, дипл.инг.мет.
- 1.2) Др Весна Цонић, дипл.инг.мет.
- 1.3) Др Љиљана Аврамовић, дипл.инг.техн.
- 1.4) Др Зоран Стевановић, дипл.инг.руд.
- 1.5) Др Радмила Марковић, дипл.инг.техн.
- 1.6) Др Емина Пожега, дипл.инг.мет.
- 1.7) Вања Трифуновић, дипл.инг.техн.

**2) Назив техничког решења**

**РАЗВОЈ НОВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ДОБИЈАЊА ФЕРИ-ФОСФАТА ЗА ПРИМЕНУ У ПРОИЗВОДЊИ ЛИТИЈУМСКИХ БАТЕРИЈА**

**3) Кључне речи**

Металургија, фери-фосфат, литијумске батерије

**4) За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде)**

METAL RECOVERY d.o.o.  
Књегиње Зорке бр.2, 11000 Београд, Србија  
Матични број:21035939  
ПИБ: 108622149

**5) Година када је решење комплетирано**

2024. година.

**6) Година када је почело да се примењује и од кога**

Ново техничко решење реализовано је у Институту за рударство и металургију Бор и комерцијализовано 2023. године у компанији Зорка Обојена металургија-Шабац, која послује у саставу ``Metal Recovery d.o.o Vеograd``.

**7) Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи**

Техничко решење припада областима: Материјали и хемијске технологије

**8) Проблем који се техничким решењем решава**

Експлоатацијом богатих руда све више опада квалитет руда које се даље експлоатишу па долази до повећања цене метала. Јачи еколошки прописи и све већа свест о здрављу и сигурности тренутно су неки од главних изазова с којима се суочава индустрија цинка.

Са експлоатацијом и прерадом руде цинка применом хидрометалуршког поступка прераде долазило је до стварања и нагомилавања нус продукта који садржи сконцентрисане вредносне метале. На тај начин, овим поступком прераде сировине, ресурси су претварани у резерве.

Све већа сложеност рудних лежишта, опадање квалитета руда и већа глобална потражња за цинком резултирали су повећаном прерадом руде широм Света. Искрпљивање висококвалитетних руда, повећана потражња за металима и потешкоће у одвајању повезане са нискоквалитетним или комплексним рудама, резултирале су новим изазовима у смислу економске и одрживе прераде истих.

Концентрати цинка, у себи садрже и читав низ комерцијално значајних метала као што су бакар, олово, сребро, германијум, индијум, галијум и тд. Ови метали не стварају сопствена минерална лежишта, већ се као пратиоци цинка, у хидрометалуршкој производњи цинка, пржењем, лужењем и електролитичком екстракцијом, концентришу у излазним талозима, тзв. јарозитима као нуспродукти [1,2]. Прерадом нуспродуката могу се валоризовати многи метали што повољно утиче на економију основног процеса, јер су цене ових метала релативно високе [3-5].

Јарозит, као новонастала хемијска структура, веома је стабилан и слабо је растворан у разблаженим киселинама [6]. Пратећи метали цинка из јарозита обично се добијају ``Waelz`` пирометалуршким поступком. Пирометалуршки процеси прераде секундарних сировина из руде цинка и отпадних талога из хидрометалургије руде цинка су веома ефикасни, али подразумевају скупа индустријска постројења великог капацитета, да би могла бити економична. При овим процесима ослобађају се штетни гасови који могу да имају озбиљан утицај на животну средину [7]. Неки аутори приказали су да се применом пирометалуршких процеса као што су ``Waelz`` и ``Ausmelt``, троши огромна количина угља да би се обезбедила снага потребна за постизање високе радне температуре (1100-1300°C). Ове методе нису економски исплативе па се због тога јарозити обично депонују.

Литијум-фери-фосфатна батерија (често скраћена својим хемијским саставом, LiFePO<sub>4</sub> батерија; или скраћено још даље на LFP батерију, што значи литијум-фери-фосфат) је врста литијум-јонске батерије која има катодне материјале направљене од литијум-фери-фосфата. LiFePO<sub>4</sub> има много предности у односу на друге дизајне литијум-јонских батерија и старије оловне (LA) батерије. Мање су тежине, не захтевају одржавање, имају боље карактеристике пуњења и пражњења и много дужи животни век, што их чини једним од најбољих решења за електрични погон за чамце.

Остале кључне предности LiFePO<sub>4</sub> укључују високу струјну снагу, дужи животни век циклуса, нулту опасност од цурења и пожара и толеранцију на неоптималне циклусе пуњења и пражњења.

Време пуњења за LiFePO<sub>4</sub> батерије је краће него за оловне или друге литијумске батерије, типично LiFePO<sub>4</sub> јединице имају четири пута већу густину енергије и пуне се пет пута брже од оловних батерија. Животни век LiFePO<sub>4</sub> батерије је до пет пута дужи од неких литијум-јонских батерија, често достижући до 5000 циклуса без значајног пада перформанси. За разлику од литијумских и оловних батерија, LiFePO<sub>4</sub> батерије не садрже токсичне, тешке или ретке земне метале попут кобалта, никла или олова. LiFePO<sub>4</sub> се састоји од уобичајених материјала као што су графит, гвожђе и бакар. Дакле, литијум-фери-фосфатне батерије су „eco friendly“, за производњу, али такође представљају и много мањи ризик за животну средину током свог радног века у поређењу са другим литијум батеријама. Фосфатне соли које се користе у LFP батеријама су далеко мање растворљиве од металних оксида који се користе у другим литијумским батеријама. Ово чини много мањом вероватноћом да LiFePO<sub>4</sub> јединице испуштају хемикалије у околину, чак и ако је батерија непрописно одбачена. Исто се не може рећи за LA батерије чија се структура временом може деградирати, што доводи

до цурења отровних хемикалија. За разлику од других батерија,  $\text{LiFePO}_4$  батерије се такође лако рециклирају на крају радног века.

## 9) Стање решености тог проблема у Свету

Фери-фосфати доступни од многих добављача хемикалија у расутом стању (Noah Chemical, Strem Chemical, Alpha Aesar Chemical итд.) садрже релативно високе нивое сулфатног или нитратног анјона (0,1-2 теж. % анјона нечистоћа), што је показано хемијском анализом фери-фосфата од ових добављача. Ово сугерише да уобичајени пут који користе ови добављачи за производњу фери-фосфата укључује раствор соли гвожђа, најчешће гвожђе сулфат или гвожђе нитрат. Ферифосфат са високим нивоом анјонске нечистоће није погодан као сировина за производњу литијум фери-фосфата за употребу у литијум-јонским батеријама јер су нечистоће подложне реакцијама које су штетне за рад батерије и/или не подржавају електрохемијски циклус хелије. Друге синтетичке методе за синтезу фери-фосфата користе оксид гвожђа (Fe (II), Fe (III) или Fe (II/III)), гвожђе хидроксид, гвожђе карбонат или њихову комбинацију, као полазни материјал гвожђа. У таквим методама, оксид гвожђа или карбонат реагује са разблаженим раствором фосфорне киселине и оксидационим агенсом (ако је потребно) и загрева се да би се добило кристално једињење фери-фосфата. Упркос недавним покушајима да се побољша квалитет производа од фери-фосфата, комерцијално доступни фери-фосфат још увек није оптимизован за употребу у литијум-јонским батеријама.

Стога, пошто су пожељне карактеристике фери-фосфата за синтезу LFP-а за батерије често различите или су у супротности са онима за друге намене, постојеће хемијско тржиште је непрактичан извор за фери фосфат као једињења за синтезу LFP. Поред тога, фери фосфат из комерцијалних извора синтетизован постојећом методом у једном ланцу често садржи нечистоће, на пример, сулфате, хлориде и нитрате, које су штетне за литијум-јонске батерије. Штавише, различите серије комерцијално доступног материјала од фери-фосфата често имају недоследна својства. Стога, остаје потреба за развојем нове синтетичке методе за производњу високо чистог фери фосфата са доследним и пожељним својствима за синтезу LFP-а за батерије [8].

## 10. Опис техничког решења

### 10.1. Увод

У овом Техничком решењу развијена је нова технологија добијања фери-фосфата за примену у производњи литијумских батерија. Као полазна сировина коришћен је чврсти остатак добијен током прераде нестандардног јарозит-PbAg талога из процеса производње цинка у ``Елихиру``, Шабац. Испитивања третмана нестандардног јарозит-PbAg талога у циљу валоризације корисних и високовредних компонената, урађена су и систематизована у форми Извештаја, од стране Института за рударство и металургију Бор (ИРМ Бор), под називом: ``Технолошка испитивања прераде нестандардног јарозит PbAg талога на увећаном лабораторијском нивоу``, Извештај (линк: <https://plus.cobiss.net/cobiss/sr/sr/bib/ubsm/65960969>). Испитивања третмана насталог чврстог остатка реализована су у складу са предметом новог Уговора бр.1612/22 од 07.02.2022. год., закљученог између Института за рударство и металургију Бор и ``Metal Recovery`` Београд.

У циљу раздвајања Fe од Cu, Zn, In и осталих корисних и високо вредних компонената урађена су детаљна лабораторијска испитивања комбинованог поступка који

укључује пржење јарозит-PbAg талога и лужење насталог продукта. Након пржења узорка Pb-Ag јарозита у времену од 4 часа на температури од 530°C и лужења насталог продукта пржења водом при односу фаза Ч:Т=1:5 за време од 1 часа добијена су висока излужења испитиваних метала: Cu (91,07%), Zn (91,97%), In (99,95%) и ниско излужење Fe (9,6%). Ови технолошки параметри усвојени су за даља испитивања.

На слици 1. приказани су узорци нестандардног јарозит-PbAg талога и чврстог остатка добијеног након комбинованог третмана (пржења и лужења).



Слика 1. а) нестандардни јарозит-PbAg талог б) чврсти остатак након пржења и лужења

Након пржења јарозита и лужења насталог продукта пржења, филтрирањем је одвојен лужни раствор од чврстог остатка.

Предмет овог техничког решења је третман чврстог остатка ради добијања фери-фосфата.

## 10.2 Карактеризација чврстог остатка добијеног прерадом нестандардног јарозит-PbAg талога

### 10.2.1 Хемијска анализа чврстог остатка

Чврсти остатак прженца јарозита након лужења у води имао је следећи хемијски састав, [%]: Fe - 49,3; Pb - 12,0; Ag - 0,014; Cu - 0,087; Zn - 0,93.

## 10.3 Испитивање кључних параметара процеса растварања излуженог прженца јарозита у хлороводоничној киселини (утицај концентрације HCl, време процеса, однос Ч:Т) како би се утврдио максимални степен растварања Fe

Резултати лабораторијских истраживања лужења чврстог остатка прженца јарозита (након лужења водом) у раствору сумпорне киселине концентрације 10% и 65% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и уз увођење оксиданаса (ваздуха и озона) су показала низак степен излужења гвожђа. Резултати

су показали мах. излужење Fe 0,6 - 1%. Из тог разлога наредна испитивања лужења вршена су са хлороводоничном киселином техничког квалитета при различитим условима (Табела 1.).

Табела 1. Приказ резултата лужења чврстог остатка у хлороводоничној киселини, при различитим односима Ч:Т, различитим температурама и при различитим временима трајања лужења

Број узорка	Услови лужења				% Излужења		
	Маса узорка (g)	Време лужења (h)	Темп. (°C)	Однос фаза (Ч:Т)	Fe	Ag	Pb
1.	50	1	80	1:2	72,23	92,05	30,94
2.	50	1	50-60	1:3	62,9	92,6	26,6
3.	50	1	80	1:3	91,41	96,40	/
4.	50	2	80	1:3	97,65	97,62	/
5.	50	2	собна	1:3	36,7	83,46	28,42
6.	50	2	50-60	1:3	68,1	94,4	25,4
7.	50	3	собна	1:3	35,9	85,2	30,7
8.	50	4	собна	1:3	48,6	86,3	30,6
9.	50	1	50-60	1:4	78,95	95,28	46,31
10.	50	2	50-60	1:4	82,96	96,61	48,69
11.	50	2	собна	1:5	48,84	90,4	64,7
12.	50	2	собна	1:5	57,7	89,51	54,45
13.	50	1	50-60	1:5	77,0	96,3	47,2
14.	50	2	50-60	1:5	85,1	98,1	51,3
15.	50	3	собна	1:5	59,3	88,8	51,8
16.	50	4	собна	1:5	64,2	91,3	51,1
17.	50	1	80	1:5	98,52	99,92	59,84
18.	50	2	80	1:5	98,73	99,94	72,54
19.	50	1h	50-60	1:6	89,51	98,01	69,41
20.	50	2h	50-60	1:6	92,71	99,45	68,02
21.	50	1h	50-60	1:7	92,19	99,02	93,67
22.	50	2h	50-60	1:7	93,70	99,72	93,94
23.	50	2	собна	1:10	69,2	93,8	98,1
24.	50	2	собна	1:10	64,8	91,35	96,0
25.	50	2	50-60	1:10	31,8	86,9	43,9
26.	50	2	собна	1:15	68,6	93,1	98,7
27.	50	2	собна	1:15	72,5	92,8	98,7
28.	50	2	собна	1:20	79,1	93,7	98,8

На основу резултата приказаних у *Табели 1.*, може се закључити да је у експерименту број 3 постигнут степен излужења Fe од 91,41%, при следећим условима: однос фаза Ч:Т=1:3, температура  $t=80^{\circ}\text{C}$  и време лужења 1 час и представљају оптималне услове процеса лужења прженца у HCl.

Такође, на основу резултата приказаних у *Табели 1.*, може се закључити да је у експерименту број 4 постигнут још већи степен излужења Fe од 97,65%, али с обзиром да је време трајања лужења у овом експерименту било 2 часа, па је потрошња енергије знатно већа, за даља експериментална лабораторијска испитивања усвојени су параметри лужења који су приказани у експерименту број 3.

Применом наведених оптималних параметара, урађен је експеримент на увећаном узорку од 500 g прженца јарозита-PbAg који је претходно лужен у води. Након лужења, добијено је укупно 3000 ml раствора фери-хлорида заједно са испирним водама. Овај раствор је дат на хемијску анализу и коришћен је у даљим експериментима. На основу хемијске анализа раствора израчуната су следећа излужења: Fe=71,78%; Pb=8,45%; Ag=99,1%.

#### 10.4 Одређивање потребне количине натријум-хидроксида и дефинисање оптималних параметара процеса преципитације гвожђа, олова и сребра из хлоридног раствора

##### 10.4.1 Хидроксидна преципитација метала

Хидроксидна преципитација метала из лужног раствора је вршена на различитим рН вредностима приказаним у *Табели 2.* За експерименте је коришћено по 100 ml лужног раствора, а као неутрализационо средство је коришћен 2M NaOH. Након преципитације извршено је филтрирање насталог преципитата и исти је дат на хемијску анализу. Процент преципитираних метала из раствора фери-хлорида у зависности од рН вредности раствора приказан је у *Табели 2.*

Табела 2- Процент преципитираних метала из раствора фери-хлорида

рН	Fe, %	Pb, %	Ag, %
4	100	100	15,26
5	100	100	16,01
6	99,99	100	16,97
7	100	100	18,61
8	99,99	99,91	19,14
9	99,90	99,87	26,09
10	99,90	99,80	28,78

На основу резултата приказаних у *Табели 2* закључује се да се сребро и при високим рН- вредностима (рН=10) само делимично преципитира. Из *Табеле 2* се може видети да гвожђе и олово при процесу преципитације потпуно прелазе у хидроксидни талог док сребро само делимично (мах 28,78%), а већи проценат сребра остаје у раствору након преципитације (71,22%). За даља истраживања усвојени су параметри преципитације на рН=4. Филтрирањем се раздвајају чврста и течна фаза. Чврста фаза се раствара у сумпорној киселини ради превођења гвожђа у растворну форму.

#### 10.4.2 Одређивање потребне количине сумпорне киселине и услова процеса превођења метала Fe из преципитата у растворни фери-сулфат

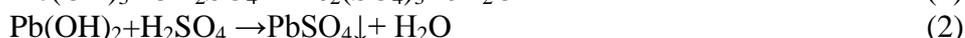
Потребна количина сумпорне киселине за растварање Fe из преципитата приказана је у Табели 10 у којој је приказан процес добијања и квалитет  $FePO_4 \cdot xH_2O$  при различитим условима таложења.

#### 10.5 Дефинисање параметара квантитативног таложења фери-фосфата

Сви експерименти таложења фери-фосфата су рађени на собној температури. Време трајања процеса зависи од брзине додавања таложног средства и оно је врло кратко. Сви остали параметри су приказани у наредним табелама.

##### 10.5.1 Добијање фери-фосфата из раствора фери-хлорида применом поступака преципитације Fe, растварања преципитата у $H_2SO_4$ , и превођењем фери-сулфата у фери-фосфат

Настали хидроксидни талог из 100 ml лужног раствора третиран је са минималном количином концентроване сумпорне киселине до потпуног растварања преципитата гвожђа. Потрошња 96%  $H_2SO_4$  била је 12 ml. У реакцији са сумпорном киселином преципитат гвожђе-хидоксида се растворио, док су олово и сребро остали нерастворени, и то у облику олово- и сребро-сулфата, према следећим реакцијама:



Настали раствор фери-сулфата је филтриран, филтрату је подешавана рН вредност са 1М раствором NaOH и то на вредности рН: 1,5; 2, 2,5 и 3, а затим је додата фосфорна киселина увећана за 20% у односу на стехиометријски потребну количину у циљу превођења фери-сулфата у фери-фосфат. Пошто је рН раствора додатком фосфорне киселине достигла вредност  $pH < 1$ , поново је извршена корекција рН са 1М NaOH до  $pH = 1,5$ . Добијени талози су сушени у сушници на  $105^\circ C$  до константне масе. У Табели 3. приказани су резултати таложења  $FePO_4$  при различитим условима.

Табела 3. Садржај Fe у узорцима  $FePO_4$  који су добијени при различитим условима

Р. бр.	рН вредност фери-сулфата	Запремина фосфорне киселине за превођење фери-сулфата у фери-фосфат, (ml)	рН вредност фери-фосфата након корекције	Садржај Fe у производу (фери-фосфат), (%)
1.	1,5	2	1,5	27.93
2.	2	2	1,5	29.02
3.	2,5	2	1,5	30.89
4.	3	2	1,5	35.31

Према литературним подацима применом овог поступка добија се  $FePO_4 \cdot xH_2O$ , док се безводни  $FePO_4$  добија при сушењу на температури већој од  $180^\circ C$ . Према стандарду

добијеног од Инвеститора (HG/T 4701-2021 China Chemistry Industry Standards), а који се односи на потребан квалитет фери-фосфата за производњу литијумских батерија, садржај гвожђа у производу  $\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  треба да буде у опсегу од 28,5 до 30,0%. Из резултата приказаних у Табели 3. може се видети да је у експерименту бр. 2 добијен производ задовољавајућег квалитета који садржи 29,02% Fe.

Овај експеримент је поновљен и добијени фери-фосфат је дат на хемијску анализу како би био тестиран према стандарду. У Табели 4. дат је упоредни садржај примеса у добијеном фери-фосфату у односу на потребан квалитет предвиђен стандардом HG/T 4701-2021 China Chemistry Industry Standards.

Табела 4. Хемијска анализа добијеног фери-фосфата у односу на квалитет захтеван стандардом

Елемент, (%)	$\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Стандард HG/T 4701-2021 за $\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
Fe	28,94	28,5-30,0
Cu	0,0047	0,005
Pb	0,025	0,01
Na	2,85	0,01
Zn	0,014	0,005
P	14,25	16,2-17,2
S	3,84	-

Из Табеле 4. може се видети да садржаји Fe и Cu одговарају стандарду, садржај P је нижи од стандарда, док су садржаји Pb, Na и Zn повећани. Пошто тражени квалитет није био задовољавајући вршена су даља лабораторијска експериментална истраживања у циљу постизања траженог квалитета  $\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

У даљим експериментима у лужни раствор  $\text{FeCl}_3$  додаван је најпре 1M NaOH до задатих вредности. Настали хидроксидни талог из 100 ml лужног раствора третиран је са минималном количином концентроване сумпорне киселине до потпуног растварања преципитата гвожђа. Настали раствор  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , заједно са испирним водама, третиран је додавањем  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и корекцијом рН пре или после додавања  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Добијени резултати приказани су у Табели 5.

Табела 5. Услови извођења експеримента и добијени резултати таложјења фери-фосфата при различитим условима

Број узорка	Раствор $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , (ml)	рН вредност након додавања 1M NaOH	Запремина $\text{H}_3\text{PO}_4$ , (ml)	рН вредност након додавања 1M NaOH	Садржај Fe у $\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , (%)
1.	100	1,5	2	/	27,93
2.	100	/	2	1,2	27,37
3.	100	/	3	1,5	25,49
4.	100	2	3	1,5	29,02
5.	100	2,5	3	1,5	30,89
6.	100	3	3	1,5	35,31
7.	400	2	12	1,5	28,94

Анализом добијеног  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из увећаног узорка у експерименту број 7 (Табела 5) утврђен је следећи квалитет:  $\text{Fe}=28,94\%$ ,  $\text{Pb}=0,025\%$ ,  $\text{Na}=2,85\%$ ,  $\text{Cu}=0,0047\%$ ,  $\text{Zn}=0,014\%$ ,  $\text{P}=14,25\%$ ,  $\text{S}=3,84\%$ .

Може се видети да садржаји  $\text{Fe}$  и  $\text{Cu}$  одговарају стандарду (по стандарду  $\text{Fe}=28,5-30,0\%$ ,  $\text{Cu}=0,005\%$ ), садржај  $\text{P}$  је нижи од стандарда (по стандарду  $\text{P}=16,2-17,2\%$ ), док су садржаји  $\text{Pb}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{S}$  и  $\text{Zn}$  повећани (по стандарду  $\text{Pb}=0,01\%$ ,  $\text{Na}=0,01\%$ ,  $\text{Zn}=0,005\%$ ).

### 10.5.2. Директно таложјење $\text{FePO}_4$ из раствора $\text{FeCl}_3$ коришћењем $1\text{M Na}_3\text{PO}_4$

На основу резултата приказаних у Табели 5. види се да су у производу  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  повећани садржаји  $\text{Pb}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{S}$ , а нижи садржаји  $\text{P}$  па су зато рађена додатна експериментална истраживања. Направљен је  $1\text{M}$  раствор  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  који је директно додаван у хлоридни раствор. У  $100\text{ ml}$  хлоридног раствора додато је  $180\text{ ml}$   $1\text{M Na}_3\text{PO}_4$  до  $\text{pH}=1$ . Добијени талог је исфилтриран и опран врућом водом ради уклањања присутног олово хлорида из талобага  $\text{FePO}_4$ . Резултати хемијске анализе приказани су у Табели 6. Директно таложјење фери-фосфата из раствора фери-хлорида са натријум-фосфатом дато је једначином:



Табела 6. Услови извођења експеримента и добијени резултати

Број. узор ка.	Раствор $\text{FeCl}_3$ , (ml)	pH вредност након додавања $1\text{M Na}_3\text{PO}_4$	Садржај елемената у $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , (%)					
			Fe	P	Pb	Na	Cu	Zn
1.	100	pH=1	27,11	18,25	0,46	0,56	0,0013	0,0049
Стандард HG/T 4701-2021, ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )			28,5-30,0	16,2-17,2	0,01	0,01	0,005	0,005

Из Табеле 6. може се видети да садржаји  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  одговарају стандарду, садржај  $\text{Fe}$  је нижи од стандарда, док су садржаји  $\text{Pb}$ ,  $\text{Na}$  и  $\text{P}$  повећани.

### 10.5.3. Директно таложјење $\text{FePO}_4$ из раствора $\text{FeCl}_3$ са $0,5\text{M (NH}_4)_3\text{PO}_4$ при различитим pH вредностима

Како је у претходним експериментима у производима  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  био повишен садржај  $\text{Na}$ , одлучено је да се за добијање  $\text{FePO}_4$  уместо  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  користи  $0,5\text{M (NH}_4)_3\text{PO}_4$ . Директно таложјење фери-фосфата из раствора фери-хлорида са амонијум-фосфатом дато је једначином:



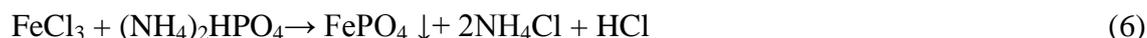
Табела 7. Услови извођења експеримента и добијени резултати

Број узорка	Раствор FeCl <sub>3</sub> , (ml)	pH вредност након додавања 0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Садржај елемената у FePO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, (%)			
			Fe	P	Pb	Na
1.	100	2	31,42	13,12	0,36	0,0095
2.	100	3,36	24,63	11,95	0,65	0,005
Стандард HG/T 4701-2021 (FePO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)						
			28,5-30,0	16,2-17,2	0,01	0,01

Из Табеле 7. може се видети да садржаји испитиваних елемената Fe, P, Pb не одговарају стандарду, док је садржај Na у складу са стандардом.

#### 10.5.4. Директно таложјење FePO<sub>4</sub> из раствора FeCl<sub>3</sub> са 0,5M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> при различитим pH вредностима

Како у претходним експериментима у производима FePO<sub>4</sub> није постигнут одговарајући садржај Fe и P, одлучено је да се за таложјење FePO<sub>4</sub> из хлоридног раствора уместо 0,5M (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> користи 0,5M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.



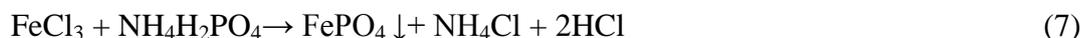
Табела 8. Услови извођења експеримента и добијени резултати

Број узорка	Раствор FeCl <sub>3</sub> , (ml)	pH вредност након додавања 0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Садржај елемената у FePO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, (%)			
			Fe	P	Pb	Na
1.	100	2	23,73	16,57	0,62	0,005
2.	100	3	22,81	16,64	0,61	0,005
Стандард HG/T 4701-2021 (FePO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)						
			28,5-30,0	16,2-17,2	0,01	0,01

Из Табеле 8. може се видети да садржаји P и Na одговарају стандарду, док садржаји Fe и Pb нису у складу са стандардом.

#### 10.5.5. Директно таложјење FePO<sub>4</sub> из раствора FeCl<sub>3</sub> са 0,5M NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> при различитим pH вредностима

Како у претходним експериментима у производима FePO<sub>4</sub> није био одговарајући садржај Fe одлучено је да се за таложјење FePO<sub>4</sub> из хлоридног раствора уместо 0,5M (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> користи 0,5M NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.



Табела 9. Услови извођења експеримента и добијени резултати

Број узорка	Раствор FeCl <sub>3</sub> , (ml)	pH вредност након додавања 0,5M NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Садржај елемената у FePO <sub>4</sub> x2H <sub>2</sub> O, (%)			
			Fe	P	Pb	Na
1.	100	pH=2	19,03	19,28	0,58	0,005
2.	100	pH=3	17,88	18,4	0,54	0,005
Стандард HG/T 4701-2021 (FePO <sub>4</sub> x2H <sub>2</sub> O)			28,5-30,0	16,2-17,2	0,01	0,01

Из Табеле 9. може се видети да је једино садржај Na у складу са стандардом. Анализом резултата приказаних у табелама 6., 7. и 8. закључено је да се применом амонијум фосфата и киселих соли амонијум-фосфата при повећању pH вредности добија све мањи садржај Fe у производу и незадовољавајући садржај P.

**10.5.6.** Добијање фери-фосфата из раствора фери-хлорида применом поступака преципитације Fe, растварања преципитата у H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, корекције pH вредности и превођењем фери-сулфата у фери-фосфат

У циљу добијања фери-фосфата захтеваних карактеристика, у складу са стандардом HG/T 4701-2021 предвиђеним за производњу литијумских батерија, урађен је велики број експерименталних испитивања примене различитих таложних реагенаса. У сваком експерименту анализиран је садржај Fe и P у добијеном производу FePO<sub>4</sub>x 2H<sub>2</sub>O. У Табели 10. приказани су услови при којима је вршено таложење FePO<sub>4</sub>x2H<sub>2</sub>O и садржај Fe и P у производу.

Табела 10. Приказ процеса добијања и квалитета FePO<sub>4</sub>x2H<sub>2</sub>O при различитим условима таложења

Број узорка	Раствор FeCl <sub>3</sub> (ml)	pH вредност након корекције 25%NH <sub>4</sub> OH	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> за растварање, (ml)	pH након корекције са			H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , (ml)	pH вредност након корекције са NH <sub>4</sub> OH	Садржај елемената у фери-фосфату (%)	
				0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,5M (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> OH			Fe	P
1.	100	2	/	/	/	/	12	1,5	26,5	14,35
2.	100	3	/	/	/	/	12	/	29,99	14,26
3.	300	3	/	/	/	/	52	/	/	/
3.1.	150	/	/	/	/	/	/	1,2	20,45	16,45
3.2.	150	/	1	/	/	/	/	1,2	25,97	19,4
4.	50	3	1	/	/	/	26	0,8	22,16	17,47
5.	50	4	1	/	/	/	20	3	23,73	18,95
6.	50	7	1	/	/	/	35	3	25,04	19,05

7.	50	4		/	/	/	15	3,2	24,91	19,10
8.	50	4	1	/	/	/	15	3,4	23,00	18,94
9.	50	/	/	/	/	/	15	3,2	23,17	19,19
10.	50	/	/	/	/	/	12	4,1	20,57	18,15
11.	50	/	/	/	/	/	12	7	20,34	17,58
12.	50	/	/	/	/	/	12	2,2	20,51	18,06
13.	50	/	/	/	/	/	10	7	19,76	15,17
14.	50	/	/	/	/	/	12	1,2	21,05	16,5
15.	50	/	/	/	/	/	12		23,31	16,53
16.	50	4	/	/	/	/	30	1,5	19,64	18,50
17.	50	4	/	/	/	/	5	1,5	24,79	14,84
18.	50	4	/			2	4	1,5	24,51	14,28
19.	50	4	/	/	/	/	7	1,5	23,51	19,29
20.	50	4	8	/	/	/	7	1	26,14	19,25
21.	50	4	8	/	/	/	7	1,2	27,36	19,31
22.	50	4	8	/		2	5	1,5	25,42	17,58
23.	50	4	8	/	1,5	/	/	/	31,37	15,62
24.	50	4	6	/	2	/	/	/	30,12	12,4
25.	50	4	6	/	3,6	/	/	/	31,91	15,46
26.	50	4	6	2	/	/	/	/	27,03	17,42
27.	600	4	72	/	/	2	65	2	26,76	19,92
28.	50	4	8	/	/	2	5	2,5	27,6	19,53
29.	50	4	8	/	/	2	4	2,5	28,04	16,68
30.	50	4	8	/	/	2	5	3	23,75	16,74
31.	50	4	6	/	/	2	4	2	25,78	15,15
32.	50	4	6	/	/	2	4	3	24,74	15,53
<b>33.</b>	<b>300</b>	<b>4</b>	<b>36</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>2</b>	<b>24</b>	<b>2,5</b>	<b>28,5</b>	<b>17,1</b>

Узорак 33. дат је на комплетну хемијску анализу према стандарду чији су резултати приказани у Табели 11.

Табела 11. Приказ постигнутог квалитета у односу на стандард за  $FePO_4 \cdot 2H_2O$

Елемент, %	$FePO_4 \cdot 2H_2O$ добијен у експерименту бр.33	Стандард HG/T 4071-2021 ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ )
Fe	28,5	28,5-30,0
P, %	17,1	16,2-17,2
Mg, %	0,0045	0,005
Na	<0,01	0,01
K	<0,001	0,01
Cu	0,0048	0,005
Zn	0,005	0,005
Mn	<0,0001	0,02
Al	0,02	0,03
Ti	-	0,15
Co	<0,0001	0,005
Pb	0,001	0,001
Cr	0,00183	0,005
S	-	-

Из Табеле 11. се може видети да је постигнут квалитет  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  који је задовољио тражени стандард HG/T 4071-2021 намењеног за производњу литијумских батерија. На Слици 2. је приказан добијени фери-фосфат.



Слика 2. Фери-фосфат

#### 10.6. Потребне количине реагенаса за добијање фери-фосфата

Полазни узорак од 50 g Јарозита који је претходно лужен у води, лужен је у 150 ml HCl, техн. квалитета, при дефинисаним условима (Ч:Т=1:3, Т=80 °С, време 1h). Након филтрирања и испирања добијено је 300 ml раствора  $\text{FeCl}_3$ . Добијени лужни остатак, који представља концентрат олова био је масе 16 g (32% од улаза). Из 300 ml раствора вршена је преципитација  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , на рН=4 са 222 ml 25%  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Добијени талог  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , након филтрирања и испирања водом је растворен у 36 ml 96%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Раствор фери-сулфата добијен након растварања фери-хидроксида у сумпорној киселини је исфилтриран, јер је садржао и мешавину талога олово-сулфата и сребро-сулфата (0,72 g). Пошто је раствор фери-сулфата садржао и слободну сумпорну киселину (рН=0,4), неутрализација вишка сумпорне киселине до рН=2, вршена је са 114 ml 25%  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Након тога додато је 24 ml 85% фосфорне киселине (14% вишак у односу на стехиометријски потребну количину) и на тај начин гвожђе преведено у фери-фосфат (рН=0,97). Како је фери-фосфат растворан у киселинама да би га исталожили додато је 120 ml 25%  $\text{NH}_4\text{OH}$  до рН=2,5. Добијени талог фери-фосфата је исфилтриран, опран водом и осушен на 105 °С. Маса сувог талога фери-фосфата ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) износила је 60 g.

#### 10.7 Хемијска карактеризација свих течних и чврстих међупродуката насталих у току процеса

У току процеса прераде прженца јарозита који је претходно лужен у води, а у циљу добијања фери-фосфата настају следећи течни и чврсти међупродукти:

1. Раствор након хлоридног лужења, следећег хемијског састава: Fe=57 g/l; Pb=1,7 g/l; Ag=23 g/l;
2. Чврсти остатак од хлоридног лужења, следећег хемијског састава: Fe=47,41%; Pb=34,49%; Ag=8,1 mg/kg

3. Отпадни гасови у количини од 5,65 g HCl/kg произведеног фери-фосфата
4. Fe(OH)<sub>3</sub>, који након неутрализације није сушен већ је влажан третиран у циљу добијања раствора фери-сулфата
5. Филтрат од Fe(OH)<sub>3</sub> који иде на даљи третман-Отпадна вода I следећег хемијског састава: Fe=0,95 mg/l; Pb=56 mg/l; Ag=4,2 mg/l.
6. Раствор фери-сулфата следећег хемијског састава: Fe=50,9 g/l; Pb=20,4 mg/l; Ag=0,88 mg/l
7. Талог од растварања фери-хидроксида у сумпорној киселини следећег хемијског састава: Fe=0,67%; Pb=66,33%; Ag=0,12%
8. Отпадна вода II следећег хемијског састава: Fe=24,2 mg/l; Pb=0,36 mg/l; Ag<0,005 mg/l
9. Отпадна вода I након неутрализације на pH=9
10. Талог од неутрализације отпадне воде I: Fe=1,4%; Pb=81,69%; Ag=1,94%
11. Отпадна вода II након неутрализације на pH=9
12. Талог од неутрализације отпадне воде II: Fe=52,08%; Pb=0,7%; Ag<0,005

За течне међупродукте наведене под бројевима 9. и 11. резултати су приказани у Прилогу 2. Пошто је количина талого од неутрализација вода I и II до pH=9 била недовољна за хемијску анализу састав истих је обрачунат на основу разлике садржаја присутних метала у водама неутралисаним на pH=9 и водама пре неутрализације. С обзиром да отпадне воде I и II након неутрализације на pH=9 садрже високе концентрације NH<sub>4</sub>OH исте је потребно прикључити амонијачним водама које настају абсорпцијом гасова од пржења јарозита. Отпадне гасове наведене под бројем 3. је потребно абсорбовати у скрубери који је напуњен са 10% NaOH. Потрошња NaOH за абсорпцију HCl увећана за 60% приказана је у нормативу сировина и електроенергије.

### 10.8. Хемијска карактеризација талого насталог након растварања у HCl ради дефинисања којој групи отпада припада

Узорак у тесту лужљивости показује повећану концентрацију јона антимиона, арсена, бакра, кадмијума у односу на границе за одлагање отпада на депонију за неопасан отпад, а концентрације јона олова и хлорида су у тесту лужљивости изнад граница за одлагање на депонију за опасан отпад. С обзиром да је и у тесту токсичности повећана концентрација јона олова испитивани отпад није могуће одложити без претходног третмана. Предлаже се да се талог добијен након лужења користи као концентрат олова, с обзиром да садржи 34,5% Pb.

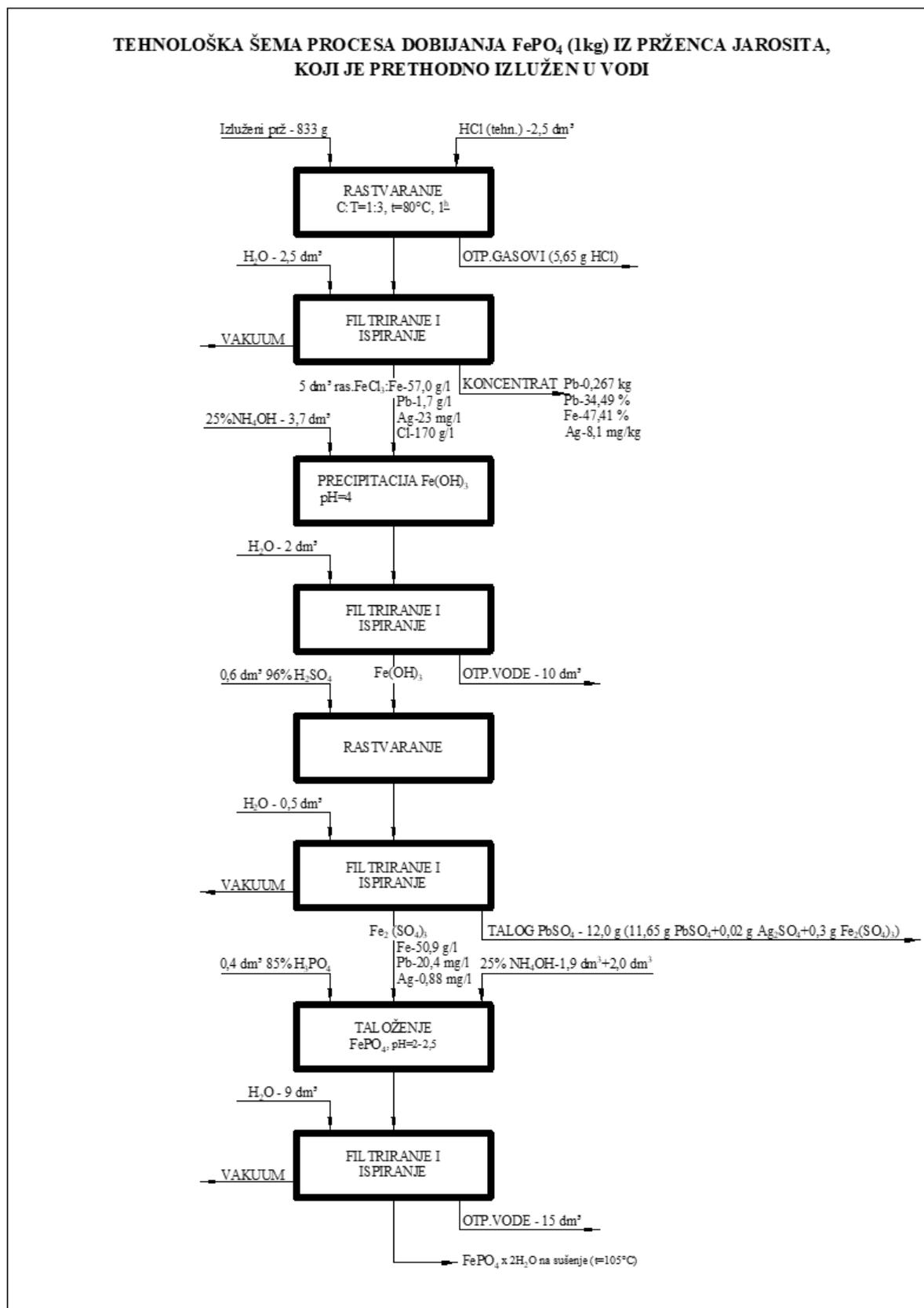
У прилогу 1. Приказани су резултати LP и TCLP теста.

### 10.9 Израда материјалног биланса предложеног технолошког процеса третмана излуженог прженца јарозита у циљу добијања концентрата олова и сребра и фери-фосфата

Материјални биланс је приказан за добијање 1 kg производа FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O.

#### 10.9.1 Технолошка шема процеса добијања FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O из прженца јарозита, који је претходно излужен у води

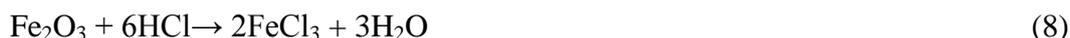
Технолошка шема процеса добијања FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O из прженца јарозита, који је претходно излужен у води приказана је на слици 3.



Слика 3. Технолошка шема процеса добијања 1 kg фери-фосфата ( $\text{FePO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ )

### 10.9.2 Опис технолошког поступка процеса добијања $FePO_4$ из пржења јарозита, који је претходно излужен у води

Полазни узорак јарозита који је претходно лужен у води, лужи се у  $HCl$  техничког квалитета при дефинисаним условима ( $C:T=1:3$ ,  $T=80^\circ C$ , време 1h). Након филтрирања и испирања добија се раствор  $FeCl_3$  и лужни остатак, који представља концентрат олова. Из раствора  $FeCl_3$  врши се преципитација  $Fe(OH)_3$ , на  $pH=4$  са  $25\% NH_4OH$ . Добијени талог  $Fe(OH)_3$ , се филтрира и испира водом, при чему настаје филтрат који представља отпадну воду I. Преципитат  $Fe(OH)_3$  се раствара у  $96\% H_2SO_4$ . Раствор фери-сулфата који се добија након растварања фери-хидроксида у сумпорној киселини се филтрира и испира. Талог који се добија при растварању преципитата  $Fe$  у сумпорној киселини је мешавина олово-сулфата и сребро-сулфата и он се прикључује концентрату олова. Пошто раствор фери-сулфата садржи и слободну сумпорну киселину ( $pH=0,4$ ), неутрализација вишка сумпорне киселине до  $pH=2$ , врши се са  $25\% NH_4OH$ . Након тога  $Fe$  се преводи у фери-фосфат са  $85\%$  фосфорном киселином. Како је фери-фосфат растворан у киселинама да би га исталожили додаје се  $25\% NH_4OH$  до  $pH=2-2,5$ . Добијени талог фери-фосфата се филтрира и испира водом, а затим суши на  $105^\circ C$ . Овим поступком се добија аморфни  $FePO_4 \cdot xH_2O$ , према следећим једначинама:



### 10.9.3 Материјални биланс предложеног поступка

У Табели 12. приказан је материјални биланс за  $Fe$ ,  $Pb$  и  $Ag$  по предложеном поступку за добијање  $FePO_4 \cdot xH_2O$ .

Табела 12. Материјални биланс за  $Fe$ ,  $Pb$  и  $Ag$  у процесу добијања  $1 \text{ kg } FePO_4 \cdot xH_2O$

Елемент	Улаз	Раствор $FeCl_3$	Чврсти остатак	Талог $Fe(OH)_3$	Отпадна Вода I	$Fe_2(SO_4)_3$	Талог $PbSO_4$ и $Ag_2SO_4$	$FePO_4 \cdot xH_2O$	Отпадна Вода II
$Fe, g$	411,42	284,89	126,53	284,88	0,006	248,88	0,08	284,8	0,13
$Pb, g$	100,54	8,5	92,04	8,16	0,339	0,2	7,96	0,2	0,002
$Ag, g$	0,116	0,115	0,001	0,02	0,095	0,005	0,015	0,005	-

### 10.10. Норматив сировина и електроенергије за дефинисани поступак прераде излуженог пржења јарозита

У Табели 13. дат је норматив сировина и електроенергије потребних за процес добијања  $FePO_4 \cdot xH_2O$ .

Табела 13. Норматив сировина и електроенергије за добијање производа  $FePO_4 \cdot 2H_2O$

Редни број	Сировина	Јединица мере	Јединица мере по kg $FePO_4 \cdot 2H_2O$
1.	Излужени прженац	kg	0,833
2.	HCl, техн.	dm <sup>3</sup>	2,5
3.	NH <sub>4</sub> OH, техн.	dm <sup>3</sup>	7,6
4.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 96% техн.	dm <sup>3</sup>	0,6
5.	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 85% обезбојена	dm <sup>3</sup>	0,4
6.	NaOH	kg	0,01
7.	Вода	dm <sup>3</sup>	14
8.	Електроенергија	kWh	3,6

### 10.11. Предлог поступака за пречишћавање отпадних вода које настају у предложеном процесу прераде излуженог прженца јарозита

У процесу производње фери-фосфата из прженца јарозита који је претходно излужен у води настају две врсте отпадних вода:

- Отпадна вода I – представља отпадну воду након преципитације и филтрирања  $Fe(OH)_3$  у количини од 10 dm<sup>3</sup>/kg. Ова отпадна вода је третирана 1M NaOH до рН=9 и дата на хемијску карактеризацију. Маса талоба добијеног након неутрализације воде износила је 2,2 g/kg  $FePO_4 \cdot 2H_2O$  и он се може прикључити концентрату Pb.
- Отпадна вода II – представља отпадну воду након филтрирања добијеног готовог производа фери-фосфата у количини од 15 dm<sup>3</sup>/kg. Ова отпадна вода је третирана 1M NaOH до рН=9 и дата на хемијску карактеризацију. Маса талоба добијеног након неутрализације воде износила је 3,5 g/kg  $FePO_4 \cdot 2H_2O$  и он се може прикључити концентрату Pb.

У прилогу 2. Приказани су резултати карактеризације отпадних вода према стандарду за испуштање у реципијент.

### ЗАКЉУЧАК

На основу урађених експерименталних испитивања и добијених резултата, предложен је технолошки поступак за добијање фери-фосфата који обухвата следеће фазе процеса:

- Лужење чврстог остатка у HCl - Ч:Т=1:3, Т=80°C, време 1h
- Преципитација Fe на рН=4 са 25% NH<sub>4</sub>OH
- Растварање у 96% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Филтрирање раствора фери-сулфата, ради одвајања мешавине талоба олово-сулфата и сребро-сулфата
- Неутрализација вишка сумпорне киселине до рН=2 са 25% NH<sub>4</sub>OH
- Превођење Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> са H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> до фери-фосфата
- Таложење фери-фосфата са 25% NH<sub>4</sub>OH до рН=2-2,5

Према предложеном технолошком поступку, добијен је производ  $FePO_4 \cdot 2H_2O$  који је задовољио стандард HG/T 4701-2021.

## 11. Техничка документација

### 11.1. Прилог 1.

 www.irmbor.co.rs	ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР - ИРМ БОР Зелени булевар 35, п.ф.152, 19210 Бор, Србија, Тел: +381(0)30-436-826, факс: +381(0)30-435-175, E-mail: <a href="mailto:institut@irmbor.co.rs">institut@irmbor.co.rs</a> , ПИБ-100627146, Банка Интеса 160-42434-38	 АТЦ 01-398 ЛАБОРАТОРИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ ISO/IEC 17025
	Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК, Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор) E-mail: <a href="mailto:htk@irmbor.co.rs">htk@irmbor.co.rs</a>	
Датум формирања: 09.02.2023.		Бр.извештаја: интерно 02.2023.-1

## ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ

Бр./Год. ИНТЕРНО 02.2023.-1

Извештај преиспитао: \_\_\_\_\_

Одобрио: \_\_\_\_\_

Главни инжењер  
 Војка Гардић, дипл.инж.технол.  
 Главни координатор ХТК  
 Јелена Петровић, дипл.хем.

М.Р.

Дата резултата валидна је само на испитиваним узорцима / Подаци се не могу узимати из базе података управљиве лабораторије. / Жалбе и рекламације на наш рад молимо упутити директно ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Насловна страна - Издање обр: 3  
 Матични документ QF.959.34 Издање: 3; Прилог: 4

Стр 1 од 4

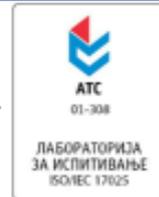


Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК,  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор)  
E-mail: [hk@irmbor.co.rs](mailto:hk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
09.02.2023.

Бр.извештаја:  
ИНТЕРНО 02.2023.-1

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



#### ПОДАЦИ О КОРИСНИКУ

Корисник:
Адреса:
Контакт/mail/телефон:
Број понуде, уговора/датум:
Број јединица одређивања дефинисан је по важећем ценовнику:/
Извештај је достављен:
2 × Кориснику
1 × Архиви ИРМ Бор

#### ОПШТИ ПОДАЦИ О ПРЕДМЕТУ УЗОРКОВАЊА И ИСПИТИВАЊА

1. Датум пријема узорака: 07.02.2023.
2. Врста/шифра/порекло узорака: Остатак после лужења/ИНТЕРНО
3. Посебни услови/допуна/одступања везана за узорковање: Резултати се примењују на узорак онакав како је примљен/достављен од стране корисника
4. Допуне изузимања или одступања везана за испитивања: *Методe које нису дате у оквиру обима акредитације
<b>Напомена:</b> Узорци се чувају десет дана након издавања Извештаја о испитивању, изузев уколико корисник другачије није уговором прописао.

#### ПАРАМЕТРИ, ТЕХНИКЕ, И МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Параметар	Техника	Метода
Одређивање садржаја метал у ЕП екстракту	ICP	SRPS EN ISO 11885
Електрична проводљивост	Потенциометрија	EPA 120.1
pH вредност	Потенциометрија	SRPS EN ISO 10523
Садржај сулфата	Турбидиметрија	EPA 375.4
Садржај хлорида	Јонска хрматографија	VMK D.d.1
Садржај флуорида	Јонска хрматографија	VMK D.d.1

Одступања везана за испитивање: \*означене су методе које нису у оквиру Обима акредитације  
Приликом одлучивања о услагашености не узима се у обзир мерна несигурност.  
Уколико корисник није другачије дефинисао, оцену услагашености у зависности од добијеног резултата испитивања, лабораторија исказује на основу ПРАВИЛА 1-правила подељеног ризика (дато у оквиру смерница ILAC G8 03/2019, односно Упутства за извештавање о резултатима испитивања са изјавом о услагашености – доступно на увид на сајту [https://irmbor.co.rs/laboratorije/javna\\_dokumenta](https://irmbor.co.rs/laboratorije/javna_dokumenta))

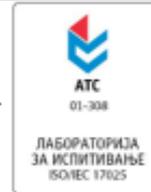


Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК,  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор)  
E-mail: [htk@irmbor.co.rs](mailto:htk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
09.02.2023.

Бр.извештаја:  
ИНТЕРНО 02.2023.-1

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



### Резултати физичко-хемијских испитивања елуата за L/S = 10 L/kg (SRPS EN 12457-2:2008)

Параметар	Ознака методе	Ознака узорка
		02.2023.-1
Температура (елуата) (°C)	EPA 170.1	22
Електрична проводљивост (μS/cm)	EPA 120.1	8970
pH	SRPS EN ISO 10523	2.35

Референтна вредност за pH према Правилнику ( Сл.Гл. РС 56/2010, 93/2019, 39/2021), Прилог 10, износи >6. Измерена вредност pH је у дозвољеном опсегу.

### Резултати хемијског испитивања отпада према SRPS EN 12457-2:2008

Параметар	Јединица	Нађена вредност	Референтна вредност за инертан отпад <sup>1)</sup>	Референтна вредност за неопасан отпад <sup>2)</sup>	Референтна вредност за опасан отпад <sup>3)</sup>	Ознака методе
		Ознака узорка 02.2023.-1 L/kg				
<b>Садржај у ЕП екстракту (неутрални тест, L/S=10/1)</b>						
Антимон, Sb	mg/kg dm	2.4	0.06	0.7	5	SRPS EN ISO 11885
Арсен, As	mg/kg dm	8.6	0.5	2	25	SRPS EN ISO 11885
Бакар, Cu	mg/kg dm	19	2	50	100	SRPS EN ISO 11885
Баријум, Ba	mg/kg dm	6.4	20	100	300	SRPS EN ISO 11885
Кадмијум, Cd	mg/kg dm	1.8	0.04	1	5	SRPS EN ISO 11885
Молибден, Mo	mg/kg dm	<0.07	0.5	10	30	SRPS EN ISO 11885
Никл, Ni	mg/kg dm	0.43	0.4	10	40	SRPS EN ISO 11885
Олово, Pb	mg/kg dm	62550	0.5	10	50	SRPS EN ISO 11885
Селен, Se	mg/kg dm	<0.04	0.1	0.5	7	SRPS EN ISO 11885
Хром, Cr	mg/kg dm	0.14	0.5	10	70	SRPS EN ISO 11885
Цинк, Zn	mg/kg dm	282	4	50	200	SRPS EN ISO 11885
Жива, Hg	mg/kg dm	<0.005	0.01	0.2	2	VMK C.h.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/kg dm	85.1	1000	20000	50000	EPA 375.4
Cl <sup>-</sup>	mg/kg dm	31025.4	800	15000	25000	VMK D.d.1
F <sup>-</sup>	mg/kg dm	0.2	10	150	500	VMK D.d.1

<sup>1), 2), 3)</sup> Прилог 10 Правилника о категоријама, испитивању и класификацији отпада (Сл гл РС 56/2010, 93/2019, 39/2021), члан 2, Параметри за испитивање отпада и процедурних вода из депоније инертног отпада<sup>1)</sup> неопасног отпада<sup>2)</sup> и опасан отпада<sup>3)</sup>

Дати резултати одговарају само на испитиване узорке / Извештај се не може употребити без садржаја управљања лабораторијом / Жалбе и рекламације на наш рад молимо упутирати директору ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Остале стране - Издање обр: 3  
Матични документ QF-959.34 Издање: 3; Прилог: 4

Стр 3 од 4

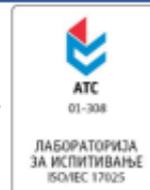


Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК,  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорка), 454-140 (координатор)  
E-mail: [htk@irmbor.co.rs](mailto:htk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
09.02.2023.

Бр.извештаја:  
ИНТЕРНО 02.2023.-1

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



Резултати физичко-хемијских испитивања токсичних карактеристика отпада  
намењеног одлагању-ТCLP тест (ЕРА 1311)

Параметар	Јединица	Нађена вредност	Референтна вредност за неопасан отпад <sup>4)</sup>	Ознака методе
		Ознака узорка 02.2023.-1-TCLP		
<b>Садржај у ЕП екстракту (ТCLP тест)</b>				
Антимон, Sb	mg/L	0.22	15	SRPS EN ISO 11885
Арсен, As	mg/L	0.35	5	SRPS EN ISO 11885
Бакар, Cu	mg/L	3.8	25	SRPS EN ISO 11885
Баријум, Ba	mg/L	0.67	100	SRPS EN ISO 11885
Кадмијум, Cd	mg/L	0.36	1	SRPS EN ISO 11885
Молибден, Mo	mg/L	<0.007	350	SRPS EN ISO 11885
Никл, Ni	mg/L	0.053	20	SRPS EN ISO 11885
Олово, Pb	mg/L	3280.2	5	SRPS EN ISO 11885
Селен, Se	mg/L	<0.004	1	SRPS EN ISO 11885
Хром, Cr	mg/L	0.027	5	SRPS EN ISO 11885
Цинк, Zn	mg/L	54.6	250	SRPS EN ISO 11885
Жива, Hg	mg/L	<0.0005	0.2	SRPS EN ISO 11885
Ванадијум, V	mg/L	<0.007	24	SRPS EN ISO 11885
Сребро, Ag	mg/L	0.051	5	SRPS EN ISO 11885

<sup>4)</sup> Прилог 10 Правилника о категоријама, испитивању и класификацији отпада (Сл гл РС 56/2010, 93/2019, 39/2021), члан 1, Параметри за испитивање токсичних карактеристика отпада намењеног одлагању

НАПОМЕНА:

Узорак ознаке 02.2023.-1 показује у тесту лужљивости повећану концентрацију јона антимона, арсена, бакара, кадмијума у односу на границе за одлагање отпада на депонију за неопасан отпада, а концентрације јона олова и хлорида су у тесту лужљивости изнад граница за одлагање на депонију за опасан отпада. С обзиром да је и у тесту токсичности повећана концентрација јона олова испитивани отпад није могуће одложити без претходног третмана.

Крај извештаја о испитивању

## 11.2. Прилог 2.

Стр 1 од 4

	ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР - ИРМ БОР Зелени Булевар 35, п.ф.152, 19210 Бор, Србија Тел: +381(0)30-436-826, факс:+381(0)30-435-175 E-mail: institut@irmbor.co.rs, ПИБ-100627146, Банка Интеса 160-42434-38	
	Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор) E-mail: htk@irmbor.co.rs	
www.irmbor.co.rs	Датум формирања: 10. 02. 2023.	Бр.извештаја: 367/23

**ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ**

бр. 367/23

**Воде за испуштање у канализацију V1 и V2**

Извештај припремио:	Водећи инжењер др Стефан Ђорђевић, дипл. хем., научни сарадник
Одобрио:	Главни координатор ХТК Јелена Петровић, дипл. хем.

Дата резултата односи се само на испитиван узорак / Извештај се не може умножавати без одобрења управника лабораторије. / Жалба и рекламација на наш рад молимо упутити директору ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Насловна страна - Издање обр: 3  
Матични документ QF-959.34 Издање: 3; Прилог: 4



Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор)  
E-mail: [htk@irmbor.co.rs](mailto:htk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
10. 02. 2023.

Бр.извештаја:  
367/23

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



АТК  
01-308

ЛАБОРАТОРИЈА  
ЗА ИСПИТИВАЊЕ  
ISO/IEC 17025

САДРЖАЈ ИЗВЕШТАЈА О ИСПИТИВАЊУ:		Датум формирања 10. 02. 2023.
1. Основни подаци о кориснику, узорцима, узорковању, испитивању		
2. Резултати испитивања		
Овлашћење:	Овлашћење за узорковање и физичко-хемијска испитивања површинских, поземних и отпадних вода, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, Републичка дирекција за воде, број овлашћења: 325-00-44212022-07, важи од 02. јуна 2022. до 04. маја 2026.	
Акредитација:	Обим акредитације број 01-308 издат од стране Акредитационог Тела Србије (АТЦ), ознака предмета 2-01-148, важи од 05. 05. 2022. до 04. 05. 2026.	
Извештај је достављен: 2 × др Весна Цонић, Центар за развојне технологије у металургији, Ш 194110 1 × Архиви ХТК		
Напомена: Испитивање се сматра завршеним, уколико у року од 15 дана од дана достављања Извештаја о испитивању, не добијемо технички приговор на исти. *Методe које нису дате у оквиру Обима акредитације Лабораторија се одриче одговорности за садржај текста (**) који је доставио корисник, а саставни је део извештаја о испитивању.		

**ПОДАЦИ О КОРИСНИКУ	
др Весна Цонић, Центар за развојне технологије у металургији, Ш 194110	
Адреса: Институт за рударство и металургију Бор, Зелени Булевар 35, 19210 Бор	Контакт лице: Весна Цонић Email: <a href="mailto:vesna.conic@irmbor.co.rs">vesna.conic@irmbor.co.rs</a> Тел: +381 61 1618224
Број понуде/уговора:	Датум:

** ПРЕДМЕТ ИСПИТИВАЊА / ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС / ПОТРОШЊА ВОДЕ / СИТУАЦИОНИ ПЛАН са местима за узорковање / подаци о ПОСТРОЈЕЊУ ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА / капацитети / ускладиштење
Киселе отпадне воде неутралисане амонијаком.

ОПШТИ ПОДАЦИ О ПРЕДМЕТУ ИСПИТИВАЊА:	
Рађено на основу захтева корисника Усклађеност са:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Службени гласник РС”, бр. 67/2011, 48/2012 и 01/2016, прилог 2, Ш Комуналне отпадне воде, Табела 1)<sup>1</sup>.</li> </ul>	
Место узорковања: Институт за рударство и металургију Бор Координате: 44.060407, 22.102119	Датум: 26. 01. 2023.
Временски услови и количина отпадне воде током узорковања: - / 2 × 1500 mL	
Начин узорковања и руковања узорком до анализе: - Узимање узорака-Део 1: Смернице за израду програма узимања узорака и поступке узимања узорака - SRPS EN ISO 5667-1, Смернице за заштиту узорака и узимање узорака - SRPS ISO 5667-3, Смернице за узимање узорака из отпадних вода SRPS ISO 5667-10, Смернице за узимање узорака из река и потока SRPS ISO 5667-6.	

Дати резултати односе се само на испитиване узорке / Извештај се не може узимати без одобрења управника лабораторије. / Жалба и рекламације на наш рад можете упутирати директору ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Остале стране - Издање обр: 3  
Матични документ QF.959.34 Издање: 3; Прилог: 4



Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор)  
E-mail: [htk@irmbor.co.rs](mailto:htk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
10. 02. 2023.

Бр.извештаја:  
367/23

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



<b>Узорковао:</b> Весна Цонић		
<b>Испитивање на терену:</b> -		
<b>У присуству:</b> -		
<b>Врста, порекло и број узорака:</b> Отпадна вода, тренутни узорак, 2 узорка		
<b>Област испитивања:</b> Физичко-хемијска испитивања		
<b>Циљ испитивања:</b> Заштита животне и радне средине-усклађеност са законском регулативом		
<b>Датум/-и пријема:</b> 26. 01. 2023.		
<b>Почетак и крај испитивања:</b>	26. 01. 2023.	10. 02. 2023.
<b>Допуне / датум предходног узорковања и испитивања/ одступања везана за узорковање:</b> -		
<b>Напомена:</b> Узорци се чувају десет дана након издавања извештаја о испитивању.		

Испитивања / Врсте испитивања / Коришћена техника	Метода испитивања (стандард, валидована метода)
pH / Директна потенциометрија	SRPS EN ISO 10523
ХПК / спектрофотометријска метода	*HACH Method LCI400
NH <sub>4</sub> -N / спектрофотометријска метода	*HACH 8155
Таложне материје након 10 минута	*SMEWW 2540F
Феноли / спектрофотометријска метода	*SRPS ISO 6439:1997
Укупне соли / гравиметријска метода	APHA 2540B
F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / Јонска хроматографија	VMK C.d.1
Cl <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> / Јонска хроматографија	*VMK C.d.1
Fe, Mn, As, Ba, Ag, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu, Ni, Mo Co, Sn, P / Атомска емисиона спектрометрија са индуктивно куплованом плазмом	SRPS EN ISO 11885:2011
Изјава о усаглашености: дата је према законској регулативи која се односи на испитивање вода Приликом одлучивања о усаглашености не узима се у обзир мерна несигурност. Уколико корисник није другачије дефинисао, оцену усаглашености у зависности од добијеног резултата испитивања, лабораторија исказује на основу ПРАВИЛА 1- правила подељеног ризика (дато у оквиру смерница ПЛАС G8 03/2019, односно Упутства за извештавање о резултатима испитивања са изјавом о усаглашености – доступно на увид на сајту <a href="https://irmbor.co.rs/laboratorije/javna_dokumenta">https://irmbor.co.rs/laboratorije/javna_dokumenta</a> ).	
<b>УЧЕСНИЦИ У ИСПИТИВАЊУ</b>	
Одговорно лице за испитивање квалитета вода / Израда извештаја	др Стефан Ђорђевић, дипл. хем, научни сарадник
Заменик технички одговорног лица	др Драгана Адамовић, дипл. хем, научни сарадник
Сарадници	др Рената Ковачевић, дипл. хем. научни сарадник Зорица Соврић, дипл. хем.
Техничко особље	Снежана Драгићевић, хем. тех. Слађана Кретић, хем. тех. Светлана Пајић, хем. тех. Бранкица Јакша, хем. тех.

Дати резултати односе се само на испитивање узорка / Извештај се не може узимати без одобрења управника лабораторије. / Жалба и рекламација на наш рад можда упути директору ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Остале стране - Издање обр: 3  
Матични документ QF.959.34 Издање: 3; Прилог: 4



Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања – ХТК  
Тел: +381 (0) 454-134 (пријем узорака), 454-140 (координатор)

E-mail: [htk@irmbor.co.rs](mailto:htk@irmbor.co.rs)

Датум формирања:  
10. 02. 2023.

Бр.извештаја:  
367/23

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)



РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА				
Параметар	Јединица мере	V1	V2	Гранична вредност емисије
pH		9.81	9.73	6.5-9.5
Хемијска потрошња кисеоника ХПК	mg/L	сметње од СГ	170	1000
Таложне материје након 10 минута	mL/L	<1.0	<1.0	150
Амонијум јон, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg/L	12250	11750	100
Хлориди, Cl <sup>-</sup>	mg/L	21048	1178	/
Сулфати, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	7	34000	400
Укупне соли	mg/L	41320	60650	5000
Феноли	mg/L	<1.0	<1.0	50
Фосфор, P	mg/L	0.032	963.0	20
Гвожђе, Fe	mg/L	<0.007	4.8	200
Манган, Mn	mg/L	0.071	0.063	5
Арсен, As	mg/L	<0.020	<0.020	0.2
Баријум, Ba	mg/L	0.026	<0.009	0.5
Сребро, Ag	mg/L	2.6	0.31	0.2
Цинк, Zn	mg/L	163.0	16.5	2
Кобалт, Co	mg/L	0.036	<0.007	1
Хром, Cr	mg/L	<0.005	0.39	1
Олово, Pb	mg/L	0.067	0.10	0.2
Калај, Sn	mg/L	<0.012	<0.012	2
Бакар, Cu	mg/L	5.3	14.5	2
Никл, Ni	mg/L	0.21	0.028	1
Молибден, Mo	mg/L	<0.007	<0.007	0.5
Кадмијум, Cd	mg/L	0.98	0.046	0.1
Граничне вредности емисије за одређене групе или категорије загађујућих материја за технолошке отпадне воде пре њиховог испуштања у јавну канализацију, прописане Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Службени гласник РС”, бр. 67/2011, 48/2012 и 01/2016), III. Комуналне отпадне воде, Табела 1.				

Крај Извештаја о испитивању.



www.irmbor.co.rs

## ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР - ИРМ БОР

Зелени булевар 35, п.ф.152, 19210 Бор, Србија  
Тел: +381 (0) 30-454-131, 454-134 Факс: +381 (0) 30-435-216  
E-mail: htk@irmbor.co.rs

Центар за лабораторије, Лабораторија за хемијска испитивања - ХТК

Датум: 16. 11. 2022.

Бр. Изјаве: 3461/22

## ИЗЈАВА О УСАГЛАШЕНОСТИ РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА:

Измерене вредности следећих параметара прекорачиле су граничне вредности из Уредбе о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Службени гласник РС”, бр. 67/2011, 48/2012 и 01/2016), прилог 2, III Комуналне отпадне воде, Табела 1:

- Амонијум јон,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  у узорцима V1 и V2,
- Сулфати,  $\text{SO}_4^{2-}$ , у узорку V2,
- Укупне соли у узорцима V1 и V2,
- Фосфор, P у узорцима V1 и V2,
- Сребро, Ag у узорцима V1 и V2,
- Цинк, Zn у узорцима V1 и V2,
- Бакар, Cu у узорцима V1 и V2.

Водећи инжењер

др Стефан Ђорђевић, дипл. хем.  
научни сарадник

Дати резултати односе се само на испитиване узорке / Извештај се не може унапредити без одобрења управника лабораторије. / Жалбе и рекламације на наш рад молимо упутити директору ИРМ Бор.

QF-957.344 Извештај о испитивању Остале стране - Издање обр: 3

Матични документ QF.959.34 Издање: 3; Прилог: 4

### 11.3. Валидан доказ о примени техничког решења

## METAL RECOVERY D.O.O.

Predmet: Dokaz o verifikaciji Tehničkog rešenja pod nazivom:

**RAZVOJ NOVE TEHNOLOGIJE DOBIJANJA FERI-FOSFATA ZA PRIMENU U PROIZVODNJI LITIJUMSKIH BATERIJA**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor je za potrebe METAL RECOVERY d.o.o. Beograd izradio Tehničko rešenje pod nazivom:

**RAZVOJ NOVE TEHNOLOGIJE DOBIJANJA FERI-FOSFATA ZA PRIMENU U PROIZVODNJI LITIJUMSKIH BATERIJA**

Ustanova/Autori rešenja:

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor/ dr Dragana Božić, dipl.ing.met., dr Vesna Conić, dipl.ing.met., dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.tehn., dr Zoran Stevanović, dipl.ing.rud., dr Radmila Marković, dipl.ing.tehn., dr Emina Požega, dipl.ing.met., Vanja Trifunović, dipl.ing.tehn.

### POTVRDA O IZVRŠENOJ USLUZI (METAL RECOVERY d.o.o. Beograd)

U ovom Tehničkom rešenju razvijena je nova tehnologija dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija. Kao polazna sirovina korišćen je čvrsti ostatak dobijen tokom prerade nestandardnog jarosit-PbAg taloga iz procesa proizvodnje cinka u Elixiru, Šabac. Ispitivanja tretmana nestandardnog jarosit-PbAg taloga u cilju valorizacije korisnih i visokovrednih komponenata, urađena su i sistematizovana u formi izveštaja, od strane Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor (IRM Bor), pod nazivom: Tehnološka ispitivanja prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou: Izveštaj (link: <https://plus.cobiss.net/cobiss/sr/sr/bib/ubsm/65960969>). Ispitivanja tretmana nastalog čvrstog ostatka realizovana su u skladu sa predmetom Aneksa Ugovora br. 1612/22 od 07.02.2022. god., zaključenog između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Metal Recovery Beograd.

U cilju razdvajanja Fe od Cu, Zn, In i ostalih korisnih i visoko vrednih komponenata urađena su detaljna laboratorijska ispitivanja kombinovanog postupka koji uključuje prženje Jarosit PbAg taloga i luženje nastalog produkta. Nakon prženja uzorka Pb-Ag jarosita u vremenu od 4h na temperaturi od 530°C i luženja nastalog produkta prženja vodom pri odnosu faza Č:T=1:5 za vreme od 1h dobijena su visoka izluženja ispitivanih metala Cu (91,07%), Zn (91,97%), In (99,95%) i nisko izluženje Fe (9,6%). Ovi tehnološki parametri usvojeni su za dalja ispitivanja. Nakon prženja jarosita i luženja nastalog produkta prženja filtriranjem je odvojen lužni rastvor od čvrstog ostatka. Predmet tehničkog rešenja je tretman ovog čvrstog ostatka radi selektivnog izdvajanja gvožđa i dobijanja proizvoda feri-fosfata koji ima primenu u proizvodnji litijumskih baterija.

## METAL RECOVERY D.O.O.

Ovim se potvrđuje da je u okviru Tehničkog rešenja razvijena nova tehnologija dobijanja proizvoda feri fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija. Rezultati eksperimenata potvrdili su predloženi tehnološki postupak. Prema predloženom tehnološkom postupku, dobijen je proizvod na laboratorijskom nivou  $\text{FePO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$  koji je u skladu sa predviđenim standardom za kvalitet namenjen za proizvodnju litijumskih baterija: HG/T 4701-2021.

METAL RECOVERY d.o.o. Beograd će nastaviti sa neophodnim aktivnostima radi stvaranja uslova za pocetak proizvodnje  $\text{FePO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$  primenom navedene tehnologije.

U Beogradu, 10.01.2024.godine

 METAL RECOVERY doo  
Samir Krak, direktor/

## 11.4. Рад у часопису ``Minerals`` категорије M22



Article

### Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1)

Miloš Janošević<sup>1</sup>, Vesna Conić<sup>1,\*</sup>, Dragana Božić<sup>1</sup>, Ljiljana Avramović<sup>1</sup>, Ivana Jovanović<sup>1</sup>,  
Željko Kamberović<sup>2</sup> and Saša Marjanović<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Mining and Metallurgy Institute Bor, Zelene Bulevar 35, 19210 Bor, Serbia  
<sup>2</sup> Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karmegijeva 4, 11120 Belgrade, Serbia  
<sup>3</sup> Technical Faculty in Bor, University in Belgrade, Vojvode Jugoslovića 12, 19210 Bor, Serbia  
\* Correspondence: vesna.conic@irnbob.co.rs; Tel.: +383-61-1618-224

**Abstract:** The processing of zinc ore using hydrometallurgical methods leads to the formation and accumulation of a by-product called jarosite, which contains concentrated precious metals. In this study, we propose the recovery of In and its separation from Cu, Zn, Fe, Pb, and Ag. This study also presents a proposal for a new technological procedure for jarosite treatment. First we roasted the jarosite, and then the calcine collected was leached in water. The leaching extraction values obtained for Cu, Zn, Fe, and In were 91.19%, 91.99%, 9.60%, and 100.0%, respectively. Following the leaching of the roasted material in water, Pb, Ag, and most of the Fe obtained remained in the solid residue. The leaching solution was treated further by a precipitation process using NaOH, where In and Fe were precipitated and consequently separated from Cu and Zn. The In(OH)<sub>3</sub> and Fe(OH)<sub>3</sub> precipitates were dissolved further in a diluted H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution, and then the cementation of In with Al was performed. We used HCl acid to remove Al from the In, after which unwrought In was obtained.

**Keywords:** hydrometallurgy; jarosite treatment; roasting; water dissolution (water leaching); precipitation; indium recovery



Citation: Janošević, M.; Conić, V.; Božić, D.; Avramović, L.; Jovanović, I.; Kamberović, Ž.; Marjanović, S. Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1). *Minerals* **2023**, *13*, 540. <https://doi.org/10.3390/min13040540>

Academic Editor: Rajesh Kumar Jyothi, Nawabshah Haque, Mohan Velisshetty and Yong Nguyen Vu

Received: 4 March 2023  
Revised: 3 April 2023  
Accepted: 5 April 2023  
Published: 12 April 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### 1. Introduction

Increased ore-processing activity and the demand for metals worldwide have inevitably led to the depletion of high-grade ore resources. The new challenges faced by the industry, in terms of the economic and sustainable exploitation of complex low-content ore deposits, are the subject of research being conducted by many scientists to date [1,2].

In addition to zinc, zinc concentrates also contain several commercially important metals, one of which is indium. This metal does not occur in its own mineral deposit, but rather as a companion with zinc. During the hydrometallurgical production of zinc by roasting, leaching, and electrolytic extraction processes, indium is concentrated in the output sediments of so-called jarosite as a by-product [3,4]. Thus, the by-product creates a new resource and forms a reserve [5,6]. In Serbia, this by-product occurs throughout a large area of the country, the processing of which, in addition to Cu, Zn, Pb, Ag, and Au, can also produce indium, which favorably affects its overall economic value, since the price of these metals is relatively high [7,8].

Jarosite, as a newly formed mineral, is very stable and poorly soluble in diluted acid [9]. The accompanying zinc metal collected from jarosite is usually obtained using the Waelz pyrometallurgical process. The pyrometallurgical methods of processing the secondary raw materials and waste sludge produced by zinc hydrometallurgies are very efficient; however, they involve the use of expensive, high-capacity industrial plants in order to be economical. These processes release harmful gases that can have a serious impact on the environment. Some authors have shown in the literature that the application of pyrometallurgical processes, such as the Waelz and Austmelt methods, expends a considerable amount of coal to provide the power required to attain a high operating temperature (1100–1300 °C) [10,11].

These methods are not economically viable in the industry; therefore, jarosite is usually deposited as a waste product.

Additionally, in a study conducted by a group of authors [12], the processes of treating Pb–Ag jarosite sludge using magnetic separation, flotation, and melting are presented. From the results, it can be concluded that none of the applied procedures produced satisfactory results because it was not possible to achieve metal selectivity.

There are several studies that present different procedures useful for the treatment of jarosite-rich raw materials. Some authors have shown the processes of acid and brine leaching for the extraction of Zn and Pb [13], whereas other authors successfully developed a mixing process using  $H_2SO_4$ , roasting, water leaching, and finally leaching with NaCl to obtain Zn and Pb [14]. In India and Italy, some researchers, at present, intend to produce construction and ceramic materials with jarosite [15–18]. This activity creates a risk of environmental pollution, and valuable elements can be lost in the process. The extraction of lead and silver using brine leaching and then  $Na_2S$  precipitation to obtain the Pb–Ag concentrate is also one of the methods proposed by the authors [19]. The Jarogain hydrometallurgical process produces additional metals; however, it requires sulfide precipitation, dissolution in the  $NH_4$  solution, and hot  $H_2SO_4$ . Working in such an aggressive environment is unsafe and can lead to environmental damage.

Data from the literature show that liquid extraction enables the isolation and separation of almost all metals with high efficiency and selectivity [20]. Moreover, these data also show that using amino acids to conduct the extraction process requires a long time to establish an extraction equilibrium in the form of stable complexes, and the amino acids produced are toxic. They accumulate in the environment and are not readily biodegradable. The use of oxime and azomethine for the extraction of heavy metals, especially those present in multimetallic solutions, showed that the extraction was not complete.

Our study also incorporated the SX extraction process; however, since high selectivity and utilization parameters were not achieved, we did not conduct additional tests. In addition, extraction was used for an unlimited quantity of raw materials that can be exploited for many years. Since the extractants used in the research are very expensive, we decided to continue the research by adopting the classic hydrometallurgical treatment method. Since the jarosite used in the study was not formed naturally, but as a by-product during the production of Zn, its quantity was limited because the production of Zn was terminated. For such a limited quantity of the product, the extraction procedure using organic extractants was expensive, and the hydrometallurgical procedure we utilized presented good selectivity and relatively high utilization properties.

Indium is an important metal that is widely used in the fields of electronics, medicine and healthcare, photo-electronics, and computers. It is predominantly one of the most widely dispersed metals and is found mainly in sphalerite as an isomorphic impurity. For this reason, sphalerite is the most important source of indium, which is required for improving the national economy [21].

To successfully produce a very pure form of indium, such as that used in the semiconductor industry, the following raw-metal-refining processes were used: chemical, electrolytic refining, vacuum distillation, and zonal refining.

Chemical purification processes, in which indium is obtained with only 10<sup>−3</sup>–10<sup>−4</sup>% impurities, include (a) melting under a layer of sodium hydroxide, where, at 320–350 °C, most of the remaining zinc, aluminum, lead, and tin obtained from indium are converted into sodium hydroxide slag; (b) melting under a layer of ammonium chloride and glycerin where, at 160–170 °C, impurities with affinities closer to chlorine than indium (zinc, cadmium, iron) are converted into chlorides; and (c) melting under a layer of potassium iodide and glycerin, where indium is purified from cadmium and thallium, which form very stable iodides [22].

Ordinary electrolytic refining processes using unwrought indium anodes are generally performed in weakly acid chloride solutions, which usually contain 40–60 g/L In and 30–80 g/L NaCl. Sheets of pure indium, aluminum, or titanium, on which indium is

deposited, can serve as cathodes. This process can produce indium that does not contain more than  $10^{-4}\%$  of any impurities [23].

Amalgam refining occurs in a three-part electrolyzer with a mercury bipolar electrode. The unwrought indium at the anode first becomes an electrolyte and then forms an amalgam on a mercury cathode. In the middle space, the amalgam is decomposed anodically and then indium is converted back into an electrolyte. These amalgamations and dissolutions are repeated until indium, cleansed of any impurities, finally settles on the platinum. This procedure produced a product containing 99.999% indium [24].

The vacuum-refining process conducted at 600–900 °C and  $1.3 \times 10^3$  Pa pressure removes any evaporable impurities, such as zinc, cadmium, and mercury [25].

The zonal-refining process is usually used in the final stage of obtaining a high-purity form of indium. In this way, nickel, silver, and copper can be almost completely removed; however, this method is not suitable for the removal of lead, cadmium, and zinc [26].

This paper describes a hydrometallurgical method for processing jarosite Pb–Ag tailings waste. The present study presents the possibility of separating the metals and obtaining commercial, unwrought In. Jarosite + Pb–Ag sludge, obtained from the Elixir Zorka factory in Šabac, Serbia, is the residue produced by hot-acid leaching. The product is obtained by using traditional refining technology to obtain zinc, where, in addition to Pb–Ag precipitates, jarosite is also obtained. The jarosite + Pb–Ag sludge obtained from the factory, presented in Figure 1, was the residue produced by the hot-acid leaching process. It was obtained according to the traditional refining method used to obtain zinc, where, in addition to Pb–Ag precipitates, jarosite was also obtained.



Figure 1. View of jarosite waste tailings at the Elixir Zorka Šabac factory.

## 2. Materials and Methods

The sample of jarosite tailings waste used in this study was a by-product collected from the Elixir Zorka Šabac factory. The sample was homogenized, dried, and re-homogenized, followed by exposure to granulometric, mineralogical, SEM-EDS, and chemical analyses.

### Analytical Determinations

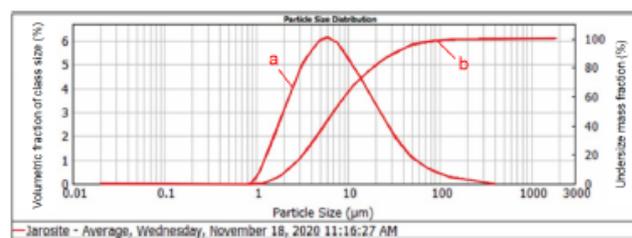
The solution acidity was measured using a combined pH electrode produced in Germany. Zinc, copper, and iron present in the solution were measured by absorption spectrometry (PerkinElmer 403, USA). The concentration of indium in the solution was determined by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES; Spectro Arcos model) manufactured in Germany. X-ray diffraction (XRD) analysis was performed on a Rigaku MiniFlex 600 instrument produced in Japan with a D/tex Ultra 250 high-speed detector and an X-ray tube with a copper anode. The recording conditions were the following: angle range:  $3^{\circ}$ – $90^{\circ}$ , step:  $0.02^{\circ}$ , and recording rate:  $10^{\circ}/\text{min}$ . The X-ray tube's voltage was 40 kV and the current was 15 mA. Mineral identification was performed using PDXL 2 Version 2.4.2.0 software, and the diffractograms we obtained were compared to the data obtained from the ICDD database (PDF-2 Release 2015 RDB). The detection limit for the XRD analysis was approximately 1%. The elemental analyzer LECO CHN 628, produced in the USA, was used to determine the presence of  $N_2$ , C, and  $H_2$  in the jarosite sample. Thermogravimetric analysis was performed using an SDT Q600 V20.9 Build 20 instrument (Milford, MA, USA), with the temperature ranging from

25 to 700 °C. TGA analysis was performed in a stream of nitrogen with a flow rate of 100 mL/min and heating value of 10 °C/min using a ceramic pot. Particle size distribution measurement of the jarosite sample was performed using an optical laser particle size analyzer (MASTERSIZER 2000, Hydro2000MU) produced in the United Kingdom, which could determine grain sizes ranging from 20 nanometers to 100 microns. For the analysis of the samples, a scanning electron microscope (JSM IT 300 LV (JEOL, Japan)) was used, which can function in both low- and high-vacuum conditions, achieving high image resolutions with magnifications of up to 300,000× by using a tungsten filament as an electron source (cathode). The microscope was equipped with a detector for the secondary electrons (SEs) and backscattered electrons (BEDs), and with a modern energy-dispersive spectrometer (EDS).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Grain Size Distribution of the Jarosite Sample

The particle size distribution measurement of the jarosite sample was performed on an optical laser particle size analyzer. The sample was measured three times and the average value of the three measurements was used as the final result. The particle size distribution of the jarosite sample is presented in Figure 2.



**Figure 2.** Graphical presentation of the identified size classes and particle size distribution of the jarosite sample: (a) incremental (direct) curve values that correspond to the left axis; (b) undersize distribution curve values that correspond to the right axis.

It can be observed from the graph that the size class of 31.467 µm is represented by 90%, the size class of 7.258 µm is represented by 30%, and the size class of 2.307 µm is represented by 10%.

It can also be observed in Figure 2 that a fine jarosite size was obtained as an intermediate during the production of zinc. This fine size of jarosite does not need to be exposed to additional crushing or pulverizing for further treatment.

#### 3.2. Mineralogical Composition of the Jarosite Sample

The XRD pattern obtained for the jarosite sample is presented in Figure 3. The XRD of the pulverized samples was performed prior to and following the roasting process of the jarosite.

The diffractogram produced by the XRD analysis of the jarosite tailings waste sample is presented in Figure 2. The following minerals were identified in the sample: (a) jarosite, in the form of  $(KFe_3(SO_4)_2(OH)_6)$  and/or  $(NH_4Fe_3(SO_4)_2(OH)_6)$ ; (b) magnetite ( $Fe_3O_4$ ); and (c) anglesite ( $PbSO_4$ ). Jarosite and magnetite were the most prevalent minerals in the sample, while anglesite was less abundant. For the analyzed sample of jarosite, the peaks of potassium jarosite and ammonium jarosite matched each other because their angles also matched one another; therefore, these minerals presented the same crystal structures.

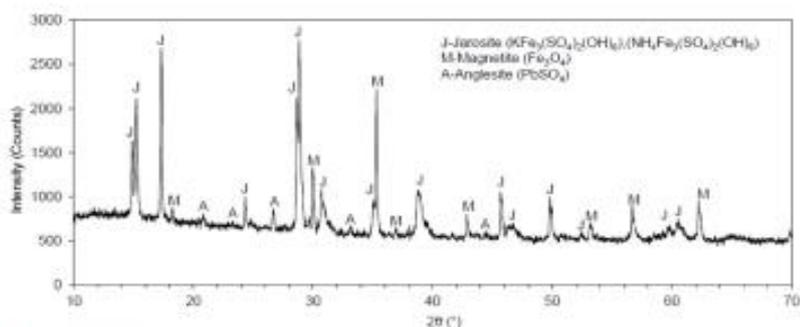


Figure 3. Diffractogram of the jarosite tailings waste sample.

### 3.3. SEM-EDS Analysis

SEM-EDS analysis was performed on the jarosite sample. Figure 4 presents the SEM images (a: SED image; b: BED) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification at two different positions.

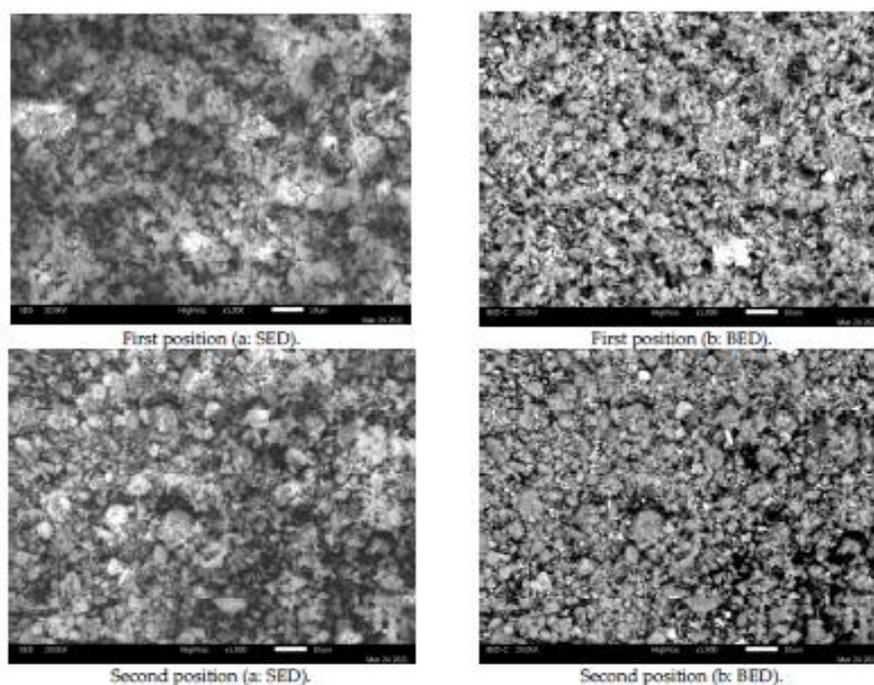


Figure 4. SEM (a: SED; b: BED) images of the jarosite sample recorded at 1000× magnification at two different positions.

Clearly visible in the SEM images is that most particles range between approx. 1 and 10 μm in size, with a few exceeding 10 μm. The results of the SEM analysis are in good agreement with the laser diffraction grain size analysis results, when considering the difference between the volume fraction (obtained using the laser-diffraction method) and numerical frequency (observable when using SEM).

The BED images, acquired in the compositional mode, present a distinct domination by a single mineral phase: jarosite (observe EDS spectra in Figures 5 and 6). However,

numerous bright particles can be observed in these images corresponding to magnetite and anglesite, the two phases also identified by XRD analysis. Moreover, a few dark particles are evident in the images, corresponding to silicate residuum.

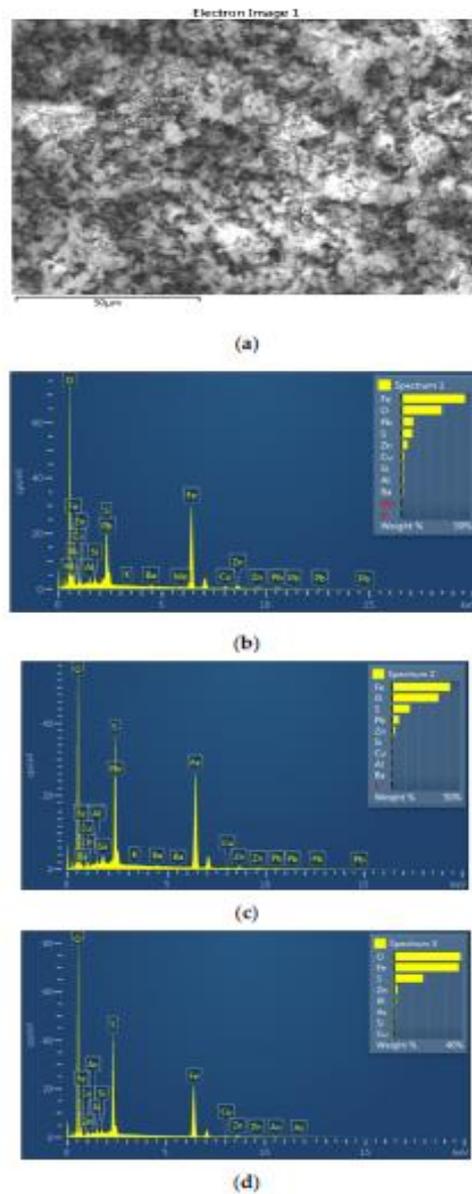
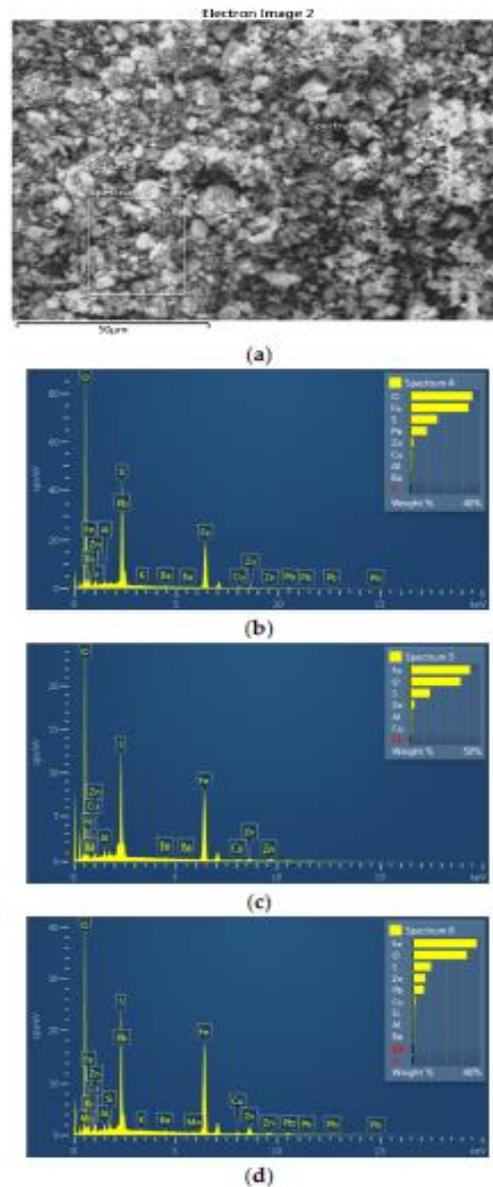


Figure 5. EDS image (a) with EDS spectra (b–d) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification; first position.



**Figure 6.** EDS image (a) with EDS spectra (b–d) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification; second position.

Jarosite occurs in generally irregular, tabular, and pseudo-cubic crystals, unevenly fractured and frequently rounded. The presence of well-developed hexagonal crystals, revealing its true hexagonal scalenohedral symmetry, is quite rare.

Based on the SEM EDS analysis of the jarosite sample, it can be observed in Table 1 that the jarosite sample contains 33.35% to 45.97% iron, 0.65% to 1.48% copper, 5.11% to

9.85% lead, and 2.04% to 7.44% zinc, in the form of oxides and sulfates. Indium and silver were not detected when using the EDS method of analysis because their content in the sample was less than the detection limit.

**Table 1.** EDS analysis of jarosite sample recorded at 1000× magnification (Figures 4 and 5).

	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4	Spectrum 5	Spectrum 6
O (%)	28.95	34.25	39.29	35.88	36.21	32.22
Al (%)	1.14	0.66	1.11	0.94	1.38	0.86
Si (%)	1.14	0.81	0.65	-	-	0.93
S (%)	7.50	12.91	17.15	15.92	14.39	11.07
K (%)	0.11	0.07	-	0.12	-	0.10
Mn (%)	0.22	-	-	-	-	0.29
Fe (%)	45.97	42.72	38.24	33.35	42.81	38.19
Cu (%)	1.48	0.74	0.65	1.19	1.31	1.43
Zn (%)	4.22	2.09	2.08	2.04	3.15	7.44
As (%)	-	-	0.83	-	-	-
Ba (%)	0.90	0.64	-	0.71	0.75	0.71
Pb (%)	8.37	5.11	-	9.85	-	6.76
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

"-" indicates that there are no values of those elements in those spectrums.

### 3.4. Chemical Analyses

The chemical analysis of jarosite is presented in Table 2.

**Table 2.** Element content values (wt% dry basis) for the jarosite sample.

Element	Cu %	Zn %	Fe %	Ag %	Pb %	In %	S %
Content	0.7	5.39	30.61	0.034	5.68	0.034	9.61

### 3.5. Jarosite Roasting

Previous research has shown that the leaching of jarosite in 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> under the conditions of 90 °C, 6 h, and S:L = 1:10 produces the best leaching results for Cu, Zn, and In, namely, 93.76%, 91.64%, and 97.59%, respectively [27]. However, in addition to this high leaching capacity of the metals of interest, the leaching of Fe over 80% also occurs. Studies have also shown that the precipitation of Fe with NaOH produces a large mass of precipitates. When this occurs, a significant amount of Cu and Zn is occluded and, together with Fe, settles in the precipitate as an irreversible loss. For this reason, the jarosite sample was subjected to roasting processes.

#### 3.5.1. Roasting Pb–Ag Jarosite Sludge

XRD analyses for each roasted sample were performed to determine the relevant decomposition effect. Diffractograms, obtained by the XRD analysis of a sample roasted at 530, 570, and 630 °C, are presented in Figure 7.

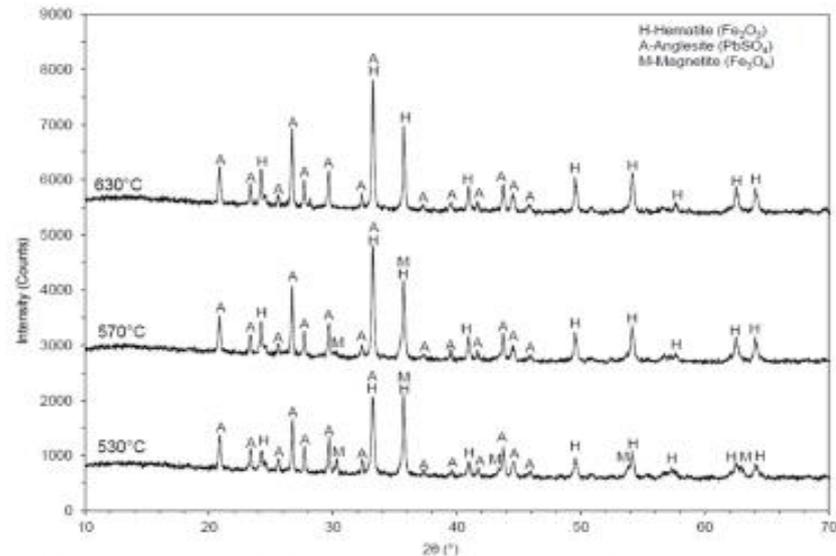


Figure 7. Diffractogram of calcined jarosite samples at 530, 570, and 630 °C.

A diffractogram obtained from XRD analysis of the jarosite sample roasted at 570 °C is presented in Figure 6. In this sample, the following minerals were identified: hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), anglesite ( $\text{PbSO}_4$ ), and magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Hematite was the most common mineral identified in the sample, anglesite was less evident, while magnetite was the least evident. By comparison, the magnetite peak intensities presented in the diffractograms of the samples at 530 and 570 °C showed that the presence of magnetite in the jarosite sample roasted at 570 °C was less than in the sample roasted at 530 °C.

A diffractogram obtained from XRD analysis of a sample roasted at 530 °C is presented in Figure 6. In this sample, hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and anglesite ( $\text{PbSO}_4$ ) were identified. Hematite was the more common mineral in the sample, while anglesite was less evident. The XRD analysis showed that, at 630 °C, iron was completely transformed into  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

With increasing roasting temperature the sulfate decomposed, releasing  $\text{SO}_2$  that entered the atmosphere and thus reduced the acidity in the environment; therefore, the metal leaching activity was reduced (Table 3). According to the data, the sulfates of some metals, as well as sulfuric acid, decompose when exposed to the following temperatures [28]:

$\text{CuSO}_4$	500–600 °C
$\text{ZnSO}_4$	740 °C
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	480 °C
$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$	600 °C
$\text{H}_2\text{SO}_4$	338 °C

At temperatures higher than 480 °C,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  decomposes and transforms into  $\text{FeO}$ , and by increasing the temperature to 630 °C,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  completely transform into  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , which is insoluble in water and slightly soluble in a weak sulfuric acid solution. Here, the separation of iron from other metals can be achieved by leaching.

Table 3. Conditions for the jarosite roasting and leaching process.

Roasting Time 4 h		Leaching with H <sub>2</sub> O (S:L = 1:5, t = 1 h and pH after Leaching		Extent of Leaching			
Sample Mass (g)	Roasting Temperature (°C)	pH	Cu %	Zn %	Fe %	In %	
1.	100	530	2.25	91.07	91.97	9.60	100.00
2.	100	570	2.73	72.74	74.23	1.30	37.91
3.	100	630	4.97	42.87	71.10	0.51	0.08

After the roasting stage, the material was leached in water. Table 3 displays the roasting and leaching conditions for the experiments we performed, presenting only those that provided the best recovery of metals.

It can be observed in Table 3 that the best leaching result for the metals is obtained after roasting the jarosite at a temperature of 530 °C under a roasting time of 4 h and leaching the roasted material in water, where 91.07%, 91.97%, and 100.00% of Cu, Zn, and In were leached separately. It can also be observed from the results that in experiment 1, following the roasting of jarosite at 530 °C and the leaching of the roasted material in water under the conditions of S:L = 1:5 and a leaching time 1 h, the measured pH of the solution after leaching was 2.25. Compared with the measured pH of the solutions obtained in experiments 2 (pH = 2.73) and 3 (pH = 4.79), it can be observed that in experiment 1, there was sufficient acid to perform the leaching process; in other words, the acid was not spent. The reason for the greater degree of In, Cu, and Zn leaching during the roasting process at low temperatures was that they remained in the form of sulfates that are easily leached in water, while the iron was transformed into hematite, which is virtually insoluble. Additionally, in experiment 1, in addition to the leaching of Cu, Zn, and In, the increased leaching activity of Fe was obtained in comparison to experiments 2 and 3; however, Fe leaching activity was relatively low compared to the direct leaching of the raw jarosite in sulfuric acid [27]. Since the jarosite sample was obtained as a by-product during the zinc production process by the conventional electrolytic refining process, it is well known from the literature that focuses on the structure of sulfate minerals. Extensive research on the leaching process in both acid and water, separately, has been conducted. By measuring pH after leaching, it was determined that there was no need to perform leaching in acid because the pH was lower than 1. For this reason, we decided to use water for the leaching process. Based on the previous experience gained through long-term research, it was decided that the S:L ratio should be 1:5, which is a reasonable ratio. The selected leaching time of 1 h was sufficient because sulfates are easily soluble in water.

The degree of metal leaching  $\xi$ , (%) was calculated according to the following equation:

$$\xi = \frac{\sum Me_{\text{leach.sol}}}{Me_{\text{calcine}}} \times 100\%, \quad (1)$$

where  $\xi$  is the mass of the metal  $Me_{\text{leach.sol}}$  (g) that was transferred into the solution by leaching.

$$\sum Me_{\text{leach.sol}} = C_{Me} \text{ (g/L)} \times V \text{ (L)}, \quad (2)$$

where  $C_{Me}$  (g/L) is the concentration of the metal in the solution obtained by chemical analysis, and  $V$  (L) is the volume of the leaching solution.  $Me_{\text{calcine}}$  (g) is the mass of the metal in the initial calcine solution, which is calculated according to the following equation:

$$Me_{\text{calcine}} = C_{Me\text{calcine}} \text{ (\%)} \times m_{\text{calcine}} \text{ (g)} / 100\%. \quad (3)$$

$C_{Me\text{calcine}}$  (%): metal concentration in calcine.

$m_{\text{calcine}}$  (g): the mass of calcine for leaching.

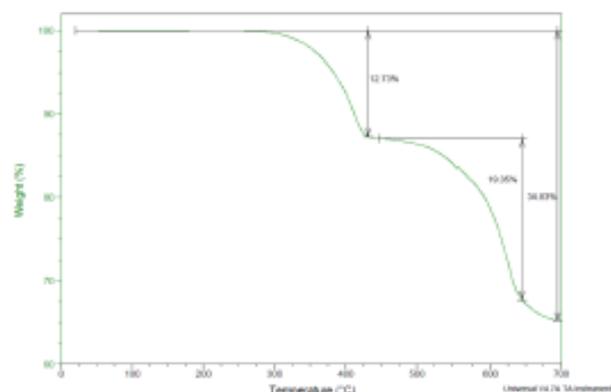
Table 4 presents the metal content in the solution following the leaching of calcine, on the basis of which the metal leaching activity was calculated.

**Table 4.** Metal concentrations in the leaching solution.

Cu (g/L)	Zn (g/L)	Fe (g/L)	In (g/L)
0.63	4.95	2.93	0.034

### 3.5.2. TGA Analyses of Jarosite Pb–Ag Sludge

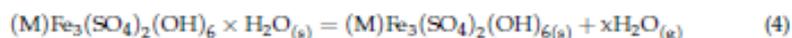
Figure 8 presents the thermogravimetric analysis of jarosite Pb–Ag sludge. The TGA curve shows that the sample is thermally stable up to 260 °C. In the temperature range 260–610 °C, a loss of mass in the sample was detected during two steps. It could be observed that a more significant mass loss from the sample started at 430 °C and was almost complete at a temperature of 610 °C, amounting to approximately 25%, and at higher temperatures it increased to 34.83%.



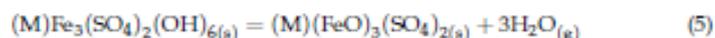
**Figure 8.** TGA curve of jarosite Pb–Ag sludge.

The mechanisms of thermal decomposition and dissociation occur in four stages:

1. Up to 120 °C (loss of absorbed water)

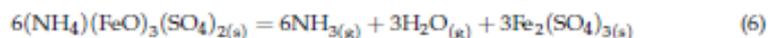


2. At 120–260 °C (dihydroxylation, loss of OH<sup>−</sup>)



(M) present in jarosite can be NH<sub>4</sub>, K, Na, Pb.

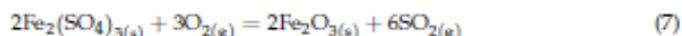
3. At 260–389 °C (loss of ammonia and water)



This equation represents a loss of ammonia and water.

4. At 465–610 °C (loss SO<sub>2</sub>)

This equation represents the overall decomposition equation for iron sulfate.



This equation represents the loss of sulfur dioxide from iron sulfate.

At temperatures up to 120 °C for reaction 1, the moisture present in the sample evaporated, the mass loss was almost negligible, and it coincided with the TGA curve.

At 260–389 °C for reaction 3, the theoretical mass loss related to the loss of ammonia and water presented small deviations in relation to the TGA curve.

At 465–610 °C according to reaction 4, there were also certain deviations of the theoretical values from the results presented by the TGA curve.

Ammonium jarosite was stable up to 260 °C, after which there was a loss of structurally connected water, followed by a loss of ammonia and water at 389 °C and sulfur dioxide at temperatures higher than 465 °C.

Possible reactions during roasting include:



Destruction reactions of other sulfates, such as zinc and lead sulfates, occurred at temperatures of 740 °C and more than 1000 °C, respectively; therefore, they were not considered for this study because we were only interested in roasting at a temperature of 530 °C.

In the sample of ammonium jarosite, a subsequent analysis determined the contents of N<sub>2</sub>—1.315%, C—0.126%, and H<sub>2</sub>—1.670%, which confirmed the XRD analysis result that confirmed the presence of ammonium jarosite.

The total mass loss for up to 610 °C according to the TGA curve and the results obtained in the experiment during the drying of the ammonium jarosite sample was approximately 25%; however, there is a slight discrepancy in the theoretically calculated values we obtained based on the assumed reactions that occurred in the system during the drying process.

The loss of mass during roasting at temperatures higher than 610 °C was not important to us for these investigations because at higher temperatures, and as can be observed in reaction 4, there was a significant increase in the formation of SO<sub>2</sub>, which indicates a loss of sulfur that was required for the additional leaching of sulfate compounds in the water.

### 3.6. Leaching of the Roasted Jarosite Sample

After roasting the sample, leaching with water was performed. The best leaching result for the metals was obtained by jarosite roasting for 4 h at 530 °C and then the leaching of the roasted material with water. In experiment 1 (Table 1), a sulfate solution was obtained with a relatively low iron leaching value of 9.6% and high leaching values of Cu, Zn, and In, namely, 91.07%, 91.97%, and 100%, respectively; this is also one of the prerequisites for accepting the conditions in which the raw material of jarosite would be treated.

### 3.7. Treatment of the Sulfate Solution

The sulfate solution containing Cu, Zn, Fe, and In was treated to separate the metals present. During the precipitation phase, the pH level was controlled and maintained at 4. By applying this pH, selectivity was achieved in terms of separating Cu and Zn from Fe and In. Fe and In were precipitated in the form of hydroxides. The precipitation of Cu and Zn occurred at a pH greater than 4.5; therefore, Cu and Zn remained in the solution. Copper and zinc were present in the solution in the form of easily soluble sulfate salts (zinc and copper sulfates). The treatment of the sulfate solution with NaOH produced indium hydroxide, In(OH)<sub>3</sub>, in the form of a precipitate. The solubility of In(OH)<sub>3</sub> in the water was very low at (6 × 10<sup>−3</sup> g/L) [29]. In addition to indium, iron was deposited as Fe(OH)<sub>3</sub>. Precipitation was carried out by using 1 M NaOH, where 94% Fe and 98% In were precipitated from the solution. In this way, Fe and In were separated in the form of precipitate enriched with indium, which contained Fe(OH)<sub>3</sub> and In(OH)<sub>3</sub>.

The treatment of 100 g of the Pb–Ag jarosite sample by roasting, leaching, and precipitation processes produced approximately 3 g of dry precipitate, which means that In was concentrated 30 times, indicating that 0.9% In was present in the precipitate.

It is well known in the literature that the main sources in the world for obtaining In are intermediate and waste products from the processing of zinc, lead, tin, and other ores. In these raw materials, In is present in amounts as much as 0.001% [30]. It can certainly be concluded that the treated sample is far richer in indium than the usual raw materials from which it is exploited. The percentages of tested metals in the solution after leaching and precipitation processes are presented in Table 5.

**Table 5.** Percentages of metals in the solution after leaching and precipitation.

Metals	Fe	In
Leaching degree, %	9.60	100.00
Percentage of metal content in solution after precipitation, %	0.61	2.10
Concentration in solution, g/L	2.93	0.034
Concentration of metal content in solution after precipitation, g/L	0.018	0.00071

It can be observed from Table 4 that Fe and In are almost absent from the solution following precipitation, thus indicating nearly complete precipitation. In this way, indium and iron were separated from the basic mass of copper and zinc, which remained in the solution.

The sulfate solution can be treated further to recover Cu and Zn, and a solid leaching residue can be treated further for the recovery of Pb, Ag, and Au.

### 3.8. Indium Recovery Procedure

The indium-enriched hydroxide precipitate was treated with diluted 50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at room temperature to transfer it into the solution. The acid was carefully added and stirred until the hydroxide precipitate was completely dissolved. Following its dissolution, the chemical analysis showed the presence of trivalent iron in the solution. Since Fe<sup>3+</sup> is detrimental in the cementation process, it must be transformed into Fe<sup>2+</sup> by reduction [31]. For this reason, SO<sub>2</sub> was used to reduce trivalent iron present in the solution to divalent iron. Following its reduction, the acidity of the solution increased and, as the cementation process occurred at pH = 2, it was necessary to adjust the pH. The pH was adjusted by the addition of 1 M NaOH solution. Indium obtained from the sulfate solution was treated by cementation, i.e., a process in which more electronegative metal is oxidized and transferred into the solution and a greater amount of electropositive metal is reduced and precipitated from the solution.

Zinc powder is commonly used for indium cementation [32]. Al powder was used in our experiments. The cementation of In with Al powder was performed at an elevated temperature (t = 70 °C). Cementation was performed at an elevated temperature to increase the efficiency and rate of the cementation process. After the completion of the cementation, which was determined by the analysis of the In content in the solution prior to and following cementation, the cement sludge obtained was filtered and rinsed with water. The filtrate, together with rinsing water, was neutralized further to pH = 7. The cementation of In with Al occurred according to the following reaction (10):



Cementation was performed with Al due to the very easy separation of Al from In. Following cementation, the dissolution of Al with saturated NaOH solution was performed, in which In was isolated as unwrought In. The unwrought In obtained was filtered and

washed with water. The filtrate, together with the washing water, was neutralized further to pH = 7. The unwrought indium obtained was not pure; however, it produced the desired indium concentrate, a mixture of the cementation sludge of indium and other metals (cadmium and copper).

The unwrought indium contained 49.66% In, 12.62% Cu, 12.88% Fe, 9.40% As, 0.07% Ag, 0.86% Zn, and 14.5% Cd. The methodological approach for processing the jarosite tailings waste with the aim for recovering In is presented in Figure 9.



Figure 9. Methodological approach for processing jarosite tailings waste.

#### 4. Conclusions

Indium in jarosite tailings waste was recovered through the following main stages of treatment:

- Jarosite roasting to convert iron sulfate into insoluble hematite;
- Leaching in water in order to leach In;
- The precipitation of In from the leaching solution, 1 M NaOH;
- The dissolution of precipitate with dilute sulfuric acid and the cementation of In from solution with Al;
- The dissolution of Al with saturated NaOH, in which In was isolated as unwrought In.

This study showed that the combination of roasting and leaching provided a promising process for obtaining unwrought In. By using methods such as chemical processes, electrolytic refining, vacuum distillation, and zonal refining, it was possible to refine raw indium into high-purity indium. By treating the jarosite sample, a technological procedure for obtaining In, Cu, Zn, Pb, Ag, and Au was developed and presented in the technological schema. In this study (part I), we presented a procedure for obtaining raw In; in part II, a procedure for obtaining commercial products based on other metals was presented. Compared to the research conducted by many authors, our proposed technological process was not only efficient, but can be both cost-effective and environmentally friendly.

Future research should aim to valorize all useful metals from waste to commercial products.

**Author Contributions:** Investigation, Writing—original draft, Data curation, Visualization, Writing—review and editing, M.J. and V.C., Conceptualization, Methodology, Ž.K., Resources, Validation, Funding acquisition, L.A., Supervision, S.M., Investigation, Data, D.B., Review, I.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The authors would like to thank Elixir Zorka, Serbia, for providing the sample and for their financial support in obtaining a solution to manage this waste; contract number 1061/19.

**Data Availability Statement:** Data are contained within the article.

**Acknowledgments:** This work was financially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, Grant No. 451-03-47/2023-01/200052 and 451-03-47/2023-01/200135. The authors wish to thank Nikoli Vuković, the Institute of Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, and Emini Požega and Suzani Dragulović from the Mining and Metallurgy Institute Bor for their assistance while preparing the manuscript.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Reyes, A.I.; Patiño, F.; Flores, U.M.; Pandiyan, Y.; Cruz, R.; Gutiérrez, J.E.; Reyes, M.; Flores, H.V. Dissolution rates of jarosite-type compounds in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> medium: A kinetic analysis and its importance on the recovery of metal values from hydrometallurgical wastes. *Hydrometallurgy* **2017**, *167*, 16–29. [\[CrossRef\]](#)
2. Conić, V.; Rajčić Vujanović, M.; Trujić, V.; Cvetkovski, V. Copper, Zinc, and Iron Bioleaching from a Polymetallic Sulphide Concentrate. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **2014**, *24*, 3688–3695. [\[CrossRef\]](#)
3. Zheng, Y.-X.; Lv, J.F.; Liu, W.; Qin, W.-Q.; Wen, S.-M. An innovative technology for recovery of zinc, lead and silver from zinc leaching residue. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* **2016**, *52*, 943–954.
4. Wang, Y.; Yang, H.; Zhang, W.; Song, R.; Jiang, B. Study on recovery of lead, zinc, iron from jarosite residues and simultaneous sulfur fixation by direct reduction. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* **2018**, *54*, 517–526.
5. Rashchi, F.; Dashti, A.; Arbabpour-Yazdi, M.; Abdizadeh, H. Anglesite flotation: A study for lead recovery from zinc leach residue. *Miner. Eng.* **2005**, *18*, 205–212. [\[CrossRef\]](#)
6. Lutandula, M.S.; Maloba, B. Recovery of cobalt and copper through reprocessing of tailings from flotation of oxidized ores. *J. Environ. Chem. Eng.* **2013**, *1*, 1085–1090. [\[CrossRef\]](#)
7. Stanojević, D.; Filipović-Petrović, I. Doprinos integrisanog valorizaciji metala u hidrometalurgiji cinka. *Zaštita Mater.* **2014**, *55*, 11–25.
8. Sinadinović, D.; Kamberović, Ž.; Šutić, A. Leaching Kinetics of lead from Lead(II) Sulphate in Aqueous Calcium and Magnesium Chloride Solution. *Hydrometallurgy* **1997**, *47*, 137–147. [\[CrossRef\]](#)
9. Kerolli-Mustafa, M.; Ćurković, L.; Fajković, H.; Rončević, S. Ecological Risk Assessment of Jarosite Waste Disposal. *Croat. Chem. Acta* **2015**, *88*, 189–196. [\[CrossRef\]](#)
10. Creedy, S.; Glinin, A.; Matusewics, R.; Hughes, S.; Reuter, M. Outotec Ausmelt Technology for Treating Zinc Residues. *World Metall.-Erzmetall* **2013**, *66*, 230–235.
11. Hughes, S.; Reuter, M.A.; Baxter, R.; Kaye, A.; Hughes, S.; Reuter, M.A.; Baxter, R.; Kaye, A. Ausmelt Technology for Lead and Zinc Processing. *Lead-Zinc* **2008**, *2008*, 147–162.
12. Kamberović, Ž.; Gajić, N.; Korać, M.; Jevtić, S.; Sokić, M.; Stojanović, J. Technologically Sustainable Route for Metals Valorization from Jarosite-PbAg Sludge. *Minerals* **2021**, *11*, 255. [\[CrossRef\]](#)
13. Rus, A.; en Sunkar, A.S.; Topkaya, Y.A. Zinc and lead extraction from Cinkur leach residues hydrometallurgical method. *Hydrometallurgy* **2008**, *93*, 45–50.
14. Turan, M.D.; Altundoğan, H.S.; Yümen, F. Recovery of zinc and lead from zinc plant residue. *Hydrometallurgy* **2004**, *75*, 169–176. [\[CrossRef\]](#)
15. Asokan, P.; Saxena, M.; Asolekar, S.R. Hazardous jarosite use in developing nonhazardous product for engineering application. *J. Hazard. Mater.* **2006**, *137*, 1589–1599. [\[CrossRef\]](#)
16. Asokan, P.; Saxena, M.; Asolekar, S.R. Recycling hazardous jarosite waste using coal combustion residues. *Mater. Charact.* **2010**, *61*, 1342–1355. [\[CrossRef\]](#)
17. Pelino, M. Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials. *Waste Manag.* **2000**, *20*, 561–568. [\[CrossRef\]](#)
18. Piscicella, P.; Crisucci, S.; Karamanov, A. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes. *Waste Manag.* **2001**, *21*, 1–9. [\[CrossRef\]](#)
19. Güler, E.; Seyrankaya, A.; Cöcen, I. Extraction of Lead and Silver from Zinc Leach Residue by Brine Leaching. In Proceedings of the XIIIth International Mineral Processing Symposium, Cappadocia Nevşehir, Turkey, 6–8 October 2010.
20. Yudaev, P.; Chistyakov, E. Chelating Extractants for Metals. *Metals* **2022**, *12*, 1275. [\[CrossRef\]](#)
21. James, S.E.; Watson, J.L.; Peter, J. Zinc Production—a Survey of Existing Smelters and Refineries. *Lead-Zinc* **2000**, *2000*, 205–225.

22. Xu, S.; Wang, G.; Fan, J.; Wang, Z.; Zhang, J.; Chen, J.; Zheng, L.; Pan, J.; Wang, R. Preparation of high purity indium by chemical purification: Focus on removal of Cd, Pb, Sn and removal mechanism. *Hydrometallurgy* **2020**, *200*, 105551. [CrossRef]
23. Burkibayeva, B.; Argimbayeva, A.; Rakhymbay, G.; Avchukir, K.; Yassibekov, K.; Nauryzbayev, M. Refining of Rough Indium by Method of Reactionary Electrolysis. In Proceedings of the MATEC Web of Conferences REE-2016, Amsterdam, The Netherlands, 23–25 March 2016.
24. Zelem, J. Application of Amalgam Metallurgy to the Extraction of Indium, Bachelors Theses and Reports, 1928–1970, Summer 6–4-1954, Montana Tech Library, Digital Commons @ Montana Tech. Available online: [https://digitalcommons.mtech.edu/bach\\_theses](https://digitalcommons.mtech.edu/bach_theses) (accessed on 1 January 2020).
25. Li, D.-S.; Dai, Y.-N.; Yang, B.; Liu, D.-C. Purification of indium by vacuum distillation and its analysis. *J. Cent. South Univ.* **2013**, *20*, 337–341. [CrossRef]
26. Alfantazi, A.M.; Moskalyk, R.R. Processing of indium: A review. *Miner. Eng.* **2003**, *16*, 687–694. [CrossRef]
27. Conić, V.; Božić, D.; Dragulović, S.; Avramović, L.J.; Jonović, R.; Bugarin, M. Research on acid leaching of Cu, Zn and In from Jarosite waste. In Proceedings of the XIV International Mineral Processing and Recycling Conference, Belgrade, Serbia, 12–14 May 2021.
28. Frost, R.; Wills, A.; Klopogge, J.; Martens, W. Thermal decomposition of ammonium jarosite  $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ . *J. Therm. Anal. Calorim.* **2006**, *84*, 489–496. [CrossRef]
29. Hu, B.; Richeys, R.; Baird, J. Chemical Equilibrium and Critical Phenomena: Solubility of Indium Oxide in Isobutyric Acid Water Near the Consolute Point. *J. Chem. Eng.* **2009**, *54*, 1537–1540. [CrossRef]
30. Lokanc, M.; Eggert, R.; Redlinger, M. *The Availability of Indium: The Present, Medium Term, and Long Term*; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2015; pp. 1–79. Available online: <https://www.nrel.gov/docs/ft/16osti/62409.pdf> (accessed on 7 April 2023).
31. Kangas, P.; Lundström, M.; Orko, I.; Koukkari, P. *The Jarogain Process for Metals Recovery from Jarosite and Electric Arc Furnace Dust*; VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.: Espoo, Finland, 2017; ISBN 978-951-38-8596-0, ISSN 2242-1211.
32. Rocchetti, L.; Amato, A.; Beolchini, F. Recovery of indium from liquid crystal displays. *J. Clean. Prod.* **2016**, *116*, 299–305. [CrossRef]

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

## 11.5. Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-„Metal recovery,, д.о.о. Београд



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И  
МЕТАЛУРГИЈУ БОР

Број 2426/21

07.12. 20 21. год.

Б О Р, Зелени булевар 35

Naručilac, kompanija **METAL RECOVERY d.o.o.**, ul. Knjeginje Zorke br. 2, 11000 Beograd, matični broj: 21035939, PIB: 108622149, koga zastupa Samir Krak u funkciji direktora društva (u daljem tekstu: **Naručilac**)

i

Izvršilac **Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor**, Zeleni bulevar br. 35, 19210 Bor, matični broj 07130279, PIB: 100627146, koga zastupa Dr Mile Bugarin, naučni savetnik, u funkciji direktora, (u daljem tekstu: **Izvršilac**), sačinile su sledeći

## U G O V O R

### PREDMET UGOVORA

#### Član 1.

Ugovorne strane su postigle saglasnost da će Izvršilac za potrebe Naručioca izraditi: **Prethodnu studiju opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman sirovine PbAg taloga Jarosita iz proizvodnje cinka**, a u svemu prema revidovanoj i usvojenoj Ponudi broj P-154/21-R1 od 19.11.2021. god., koja se daje kao **Prilog 1** ovog Ugovora i čini njegov sastavni deo.

Postrojenje za tretman sirovine PbAg Jarosit taloga je kapaciteta 40.000 t/god referirano na suhu ulaznu sirovinu (projektovano cca 8 godina eksploatacije), locirano u IHP Prahovu, i obuhvata dve glavne tehnološke linije:

- Liniju za pirometalurški tretman PbAg taloga i
- Liniju za hirometalurški tretman prženca.

### VREDNOST USLUGA

#### Član 2.

Ugovorne strane su saglasne da je cena za navedenu uslugu:

**90.000,00 EUR**

(slovima: **devedesethiljada eura**)

Cena je iskazana u evrima (EUR), dok se plaćanje vrši u RSD, shodno važećim propisima.

Cena je data bez uračunatog poreza na dodatu vrednost (PDV).

### POČETAK I ROK ZAVRŠETKA RADOVA

#### Član 3.

Početak posla je definisan potpisivanjem ovog Ugovora, uplatom avansa i dostavom overenog Projektnog zadatka. Raspoloživu tehničku dokumentaciju vezano za lokaciju postrojenja i njegovu infrastrukturu, Investitor će dostaviti na zahtev Izvršioca u toku izrade Projekta.

Kraj posla je definisan završetkom Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman sirovine PbAg taloga Jarosita iz proizvodnje cinka i predajom iste Naručiocu.

Rokovi za završetak posla su:

Sveska I: Generalni projekat: 4 meseca od definisanog početka posla,  
Sveska II: Prethodna studija opravdanosti: 1,5 mesec od zajedničkog definisanja tržišta prodaje i  
prihodne strane finansijske analize i ocene.

## USLOVI, NAČIN I ROKOVI PLAĆANJA

### Član 4.

Ugovorene usluge Naručilac će platiti Izvršiocu na sledeći način:

- 20 % od ugovorenog iznosa kao beskamatni avans, na osnovu Avansnog računa u roku od 15 dana,
- 70 % od ugovorenog iznosa progresivno shodno stepenu završenosti posla, na osnovu izdatih mesečnih računa,
- 10 % nakon završetka Prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom u roku od 15 dana od ispostavljanja fakture.

Naplata će se obračunavati u RSD po srednjem kursu NBS za EUR na dan fakturisanja.

## PRAVA I OBAVEZE UGOVORNIH STRANA

### Član 5.

Izvršilac je dužan da prilikom pružanja usluge, odnosno izrade projektne dokumentacije pokaže dužnu pažnju, da iste izvršava efikasno i ekonomično, pridržavajući se u svemu tehničkih uslova, usvojenih standarda, normi i pravila struke za ugovorenu vrstu usluga.

Naručilac ima obaveze da obezbedi sledeće:

- Neophodne podloge kako je definisano u Članu 3,
- Pristup lokaciji radi eventualnih dodatnih snimanja,
- Definisanje tržišta prodaje i prihodne strane finansijske analize i ocene uz stručnu saradnju Izvršioca.

## UGOVORNA KAZNA

### Član 6.

Za slučaj kašnjenja sa završetkom posla prouzorkovanog krivicom Izvršioca, Naručilac ima pravo na ugovornu kaznu u visini od 1% od ugovorene cene za svaku nedelju kašnjenja do maksimalnog iznosa od 10% od ugovorene cene.

Zaduženje za ugovornu kaznu, koje Naručilac ispostavlja Izvršiocu mora da sadrži detaljan obračun broja dana u kašnjenju u odnosu na ugovoren, usaglašen termin plan.

## RASKID UGOVORA

### Član 7.

Naručilac može da raskine ovaj Ugovor uz ostavljanje roka koji ne može biti kraći od 30 (trideset) dana od dana saopštenja otkaza Izvršiocu pisanim putem i to iz sledećih razloga:

- ukoliko Izvršilac grubo krši obaveze predviđene ovim Ugovorom, i iste ne ispravi u roku od 30 (trideset) dana od dana obaveštavanja o nedostacima ili u naknadnom periodu

ostavljenom od strane Naručioca;

- ako nad Izvršiocem bude otvoren postupak stečaja ili likvidacije;
- ako, usled dejstva više sile, Izvršilac bude sprečen da pruža usluge u period od 30 (trideset) dana neprekidno.

Izvršilac je ovlašćen da raskine ovaj Ugovor, uz ostavljanje roka koji ne može biti kraći od 30 (trideset) dana od dana saopštenja otkaza Naručiocu pisanim putem i to iz sledećih razloga:

- ako Naručilac ne izvrši plaćanje iznosa po dospelim fakturama ili u naknadnom roku ostavljenom od strane Naručioca;
- ako, usled dejstva više sile, Izvršilac bude sprečen da izvršava usluge u periodu od 30 (trideset) dana neprekidno.

## VIŠA SILA

### Član 8.

Ukoliko bilo koja Ugovorna strana bude sprečena ili odlaganje njenih obaveza nastupi usled nastajanja događaja i okolnosti koje se ne mogu predvideti i na koje ni jedna strana ne može uticati, odnosno usled razloga više sile, u tom slučaju takva Ugovorna strana neće biti odgovorna za propuštanje da izvrši svoje obaveze po ovom Ugovoru i imaće opravdanje da ne izvršava uredno predmetne obaveze u periodu u kome traje slučaj više sile.

Kontekst „viša sila” uključuje, ali se ne ograničava na rat, neprijateljstva, akte stranog neprijatelja, invazije, ratu slične operacije, akte terorizma ili građanske neposlušnosti, blokade, građanski rat, loše vremenske uslove, epidemiju zarazne bolesti, zemljotres, poplavu, požar ili drugu prirodnu katastrofu, štrajk, akte državnih organa, zaključavanje ili druge zajedničke radnje radnika, koji pripadaju delatnostima Naručioca i Izvršioca.

Ni u kom slučaju nedostatak finansijskih sredstava ili nemogućnost ispunjenja iz razloga finansijskog statusa bilo koje Ugovorne strane neće predstavljati višu silu na strani takve Ugovorne strane.

Strana koja trpi slučaj više sile dužna je da u roku od 5 dana od njenog nastanka obavesti drugu stranu a u slučaju da dejstvo više sile traje duže od 3 meseca druga strana može raskinuti Ugovor.

Svaka ugovorna strana ima pravo da raskine ovaj Ugovor ukoliko viša sila jednu ugovornu stranu sprečava da izvrši bilo koju svoju obavezu iz ovog Ugovora u periodu dužem od 30 (trideset) dana od trenutka kada je ta ugovorna strana dužna izvršiti predmetnu obavezu.

## POVERLJIVOST INFORMACIJA I POSLOVNA TAJNA

### Član 9.

Ugovorne strane se obavezuju da tretiraju ovaj Ugovor kao strogo poverljiv i obavezuju se da neće koristiti poverljive informacije u vezi sa ovim Ugovorom za bilo koju drugu svrhu osim ispunjenja obaveza iz ovog Ugovora, te da njegovu sadržinu i druge poverljive informacije neće otkriti bilo kom trećem licu, osim kada je to neophodno za ispunjenje ovog Ugovora i to u obimu koji je neophodan za ispunjenje Ugovora. Ova obaveza se ne odnosi na informacije koje je bilo koja od strana dužna da saopšti u skladu sa merodavnim zakonima, ali samo u obimu i prema licu i/ili organu za koje postoji propisana dužnost. U slučaju da dođe do otkrivanja informacija iz ovog Ugovora bez prethodnog dogovora i saglasnosti svih strana, ugovorna strana koja je otkrila informaciju dužna je da o tome odmah obavesti druge ugovorne strane. U slučaju da je otkrivanje informacija imalo za posledicu štetu drugih ugovornih strana, strana koja je prekršila svoje obaveze



dužna je istu naknaditi.

Ugovorne strane se takođe obavezuju da na poverljivost informacija obavežu i svoje zaposlene i da poverljive informacije koriste samo u vezi i u svrhu implementacije ovog Ugovora.

#### VAŽENJE I IZMENE UGOVORA

##### Član 10.

Ovaj Ugovor stupa na snagu kada ga potpišu obe ugovorne strane. Ovaj Ugovor predstavlja celokupan dogovor ugovornih strana u pogledu njegovog predmeta, te će sve izmene, dopune, odnosno modifikacije imati važnost samo ukoliko su sačinjene u pisanom obliku i potpisane od svih ugovornih strana. Sve izjave, uslovi i garancije, usmene ili pismene, date izričito ili prećutno, osim onih sadržanih u ovom tekstu, odnosno obaveštenju ili izmeni učinjenoj u skladu sa odredbama ovog Ugovora, izričito su isključene.

#### NADLEŽNOST SUDA

##### Član 11.

Sve eventualne sporove po ovom Ugovoru, ugovorne strane će nastojati da reše sporazumno, u duhu dobrih poslovnih odnosa i prijateljski, a u slučaju da do sporazuma ne dođe, spor će se rešavati pred Privrednim sudom u Beogradu.

#### ADRESE

##### Član 12.

Za potrebe međusobnog obaveštavanja ugovornih strana kao merodavne uzeće se adrese sedišta ugovornih strana koje kao takve budu registrovane kod nadležnih registara u trenutku slanja predmetnih obaveštenja.

U momentu zaključenja Ugovora, važeće adrese Ugovornih strana su:

Za Izvršioca:

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR  
ul. Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

Za Naručioca:

METAL RECOVERY D.O.O. BEOGRAD  
ul. Knjeginje Zorke br. 2, 11000 Beograd

Sva pisana obaveštenja i/ili pozive i/ili zahteve predviđene ovim Ugovorom ugovorne strane mogu, osim na adrese sedišta ugovornih strana iz prethodnog stava ovog člana, dostavljati i putem elektronske pošte, pri čemu će se smatrati da je obaveštenje i/ili poziv i/ili zahtev uručen odgovarajućoj ugovornoj strani u trenutku kada je isti poslat na adresu elektronske pošte navedenu u ovom Ugovoru i to:

Sva obaveštenja koja Izvršilac dostavlja elektronskom poštom Naručiocu će se dostavljati na adresu: zoran.stankovic@mmpfrontier.com

Sva obaveštenja koja Naručilac elektronskom poštom dostavlja Izvršiocu će se dostavljati na e-mail adresu: aca.jovanovic@globalinnovation.rs



Ugovorne strane su dužne da obaveste jedna drugu u pisanoj formi o svakoj promeni adrese elektronske pošte i/ili drugim informacijama potrebnim kako bi se omogućilo slanje i prijem informacija putem elektronske pošte.

#### ZAVRŠNE ODREDBE

##### Član 13.

Ovaj Ugovor sačinjen je u 4 (četiri) istovetna primerka od kojih po 2 (dva) primerka zadržava svaka ugovorna strana.

#### SASTAVNI DELOVI

##### Član 14.

Sastavni deo i priloge ovog Ugovora čine:

**Prilog 1** - Ponuda br. P-154/21 R1 od 19.11.2021.god. za Prehodnu studija opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman PbAg jarosit taloga iz proizvodnje cinka.

U Beogradu, 07.12.2021. god.

#### OVAJ UGOVOR POTPISUJU

ZA NARUČIOCA :



*Samir Krak*  
Metal Recovery d.o.o Beograd  
Direktor Samir Krak

ZA IZVRŠIOCA :

*Mile Bugarin*  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
Direktor Dr Mile Bugarin, naučni savetnik  
*JA*



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

Зелени булевар 35, п.ф.152  
19210 Бор, Србија

MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR

35 Zeleni bulevar, POB 152  
19210 Bor, Serbia

Тел: +381 (0) 30-436-826 \*Факс: +381 (0) 30-435-175 \* E-mail: institut@irmbor.co.rs

ПИБ : 100627146 \* МБ : 07130279 \* Жиро рачун: 160 - 42 - 434 -38

Metal Recovery d.o.o. Beograd  
ul. Knjeginje Zorke br2.  
11000 BeogradДатум: 19/11/2021  
Date:

## PONUDA BROJ P-154/21- R1

**Veza:** Ranija sprovedena eksperimentalna istraživanja  
Usvojeni Projektni zadatak na sastanku održanog 19.10.2021.god. u prostorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju, Predstavništvo na Novom Beogradu

## I PREDMET PONUDE

Predmet ove Ponude je izrada Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman PbAg jarosit taloga iz proizvodnje cinka.

Postrojenje za tretman sirovine PbAg Jarosit taloga obuhvata dve glavne tehnološke linije:

- Linija za pirometalurški tretman PbAg taloga Jarosita u cilju dobijanja prženca pogodnog za dalji hidrometalurški tretman,
  - Tehnološko rešenje u okviru Generalnog projekta će biti razvijeno i dato od strane TMF-Tehnološko-metalurški Fakultet Beograd,
  - Ostala tehnička rešenja u okviru Generalnog projekta će biti razvijena i data od strane IRM Bor.
- Linija za hirometalurški tretman prženca u cilju valorizacije korisnih komponenata.
  - Tehnološko rešenje i ostala tehnička rešenja će biti razvijena i data od strane IRM Bor.

Opšte napomene

Namena objekta: Proizvodno-skladišni kompleks

Kapacitet: 40 000 t/god

Lokacija: IHP Prahovo

Ponuda je urađena na osnovu:

1. Zahteva za ponudu,
2. Rezultata laboratorijskih istraživanja mogućnosti tretmana nestandardnog jarosit PbAg taloga na laboratorijskom i uvećanom laboratorijskom nivou,
3. Usaglašavanja na zajedničkim sastancima,
4. Usvojenog Projektnog zadatka, i
5. Važeće zakonske regulative u Republici Srbiji.

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР  
Зелени булевар 35, п.ф.152  
19210 Бор, Србија



MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR  
35 Zeleni bulevar, POB 152  
19210 Bor, Serbia

Тел: +381 (0) 30-436-826 \*Факс: +381 (0) 30-435-175 \* E-mail:institut@irmbor.co.rs

ПИБ : 100627146 \* МБ : 07130279 \* Жиро рачун: 160 - 42 - 434 - 38

## II OBIM POSLA

Generalni projekat predmetnog postrojenja uključuje sledeće tehnološke faze:

### II.1. PIROMETALURŠKI TRETMAN PBAG TALOGA – JAROSITA

obuhvata:

#### II.1.1. Postrojenje za sušenje i prženje Jarosita -PbAg taloga

**Tehnološko rešenje koje će biti razvijeno od strane TMF Beograd:**

- Definisanje glavnih fizičko-hemijskih karakteristika ulaznog materijala (granulometrijski sastav, gustinu i prividnu gustinu, oblik pojedinačnih čestica i aglomerata veličine 20-50 μm, svođenje na poznatu geometriju)
- Definisanje glavnih fizičko-hemijskih karakteristika finalnih produkata (hemijski, mineraloški i granulometrijski sastav prženca)
- Obradu varijantnih rešenja i odabir reaktora u odnosu na kapacitet, strukturu i vlažnost ulaznog materijala
- Prilikom projektovanja, definisanje oblasti u reaktoru izvršiti prema:
  - o hemizmu reakcija u zonama sušenja, uklanjanja amonijaka, sumpora i hlađenja
  - o mehanici fluida u sistemu čestica – fluid (oblik čestica, granulometrija, brzina gasova u reaktoru, odnošenje prašine)
- Za razmatrana varijantna rešenja tehnološkog procesa:
  - o Izrada materijalnog i toplotnog bilansa
  - o Izrada liste i dimenzionisanje opreme i postrojenja
  - o Izrada liste sirovina, energenata i fluida potrebnih za odvijanje tehnološkog procesa sa normativima potrošnje, specifikacija radne snage

#### II.1.2. Projektovanje postrojenja za tretman otpadnih gasova i proizvodnju amonijum-sulfata

**Tehnološko rešenje koje će biti razvijeno od strane TMF Beograd:**

- Izrada materijalnog i energetskog bilansa procesa (hlađenje gasova, proračun koeficijenata prenosa mase, pH, Eh i Redox potencijala tečne faze)
- Izrada liste i dimenzionisanje opreme za uklanjanje čestične emisije (hlađenje gasova, otprašivanje i filtracija) i sistema za tretman gasovitih produkata procesa (H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>)
- Izrada liste sirovina, energenata i fluida potrebnih za odvijanje tehnološkog procesa sa normativima potrošnje, specifikacija radne snage

Za celo postrojenje za pirometalurški tretman Jarosit\_PbAg taloga biće izrađena:

- Grafička dokumentacija (situacioni plan, dispozicija opreme sa karakterističnim presecima, P&I i PFD dijagrami)
- Analiza osnovnih parametara zaštite životne sredine i bezbednosti i zdravlja na radu, kao i bilans i karakteristike otpadnih materija sa predlogom načina postupanja (emisija vazduh/voda, po domaćim propisima i prema Evropskim standardima za ispuštanje sa i bez predtretmana u prirodne vodotokove)
- Analiza usaglašenosti sa referentnim BREF BAT dokumentima

### II.1.3. Ostala tehnička rešenja

Ostala tehnička rešenja će biti razvijena od strane IRM Bor, i to:

- Generalno rešenje mašinske opreme i instalacija,
- Generalno rešenje elektrotehničkih instalacija,
- Arhitektonsko-građevinsko generalno rešenje.

Tehnička rešenja će biti razvijena na nivou Generalnog projekta, kroz:

- Sagledavanja prostornih mogućnosti i ograničenja,
- Usvajanja generalne koncepcije, makrolokacije i prostorne dispozicije objekata i opreme,
- Odnos prema prostoru i životnoj sredini,
- Budžet za izgradnju postrojenja, kao osnov za ekonomsku analizu.

### II.2. POSTROJENJE ZA HIDROMETALURŠKI TRETMAN PRŽENCA

Tehnološko rešenje i ostala tehnička rešenja će biti razvijena od strane IRM Bor.

Tehnološko rešenje obuhvata sledeće faze tretmana prženca:

#### 1. Luženje prženca u vodi

- Definisane kapaciteta bunkera za skladištenje prženca
- Definisane kapaciteta transporta sirovine od skladišta do reaktora
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima u cilju efikasnog procesa luženja
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese za filtriranje pulpe
- Definisane pratećih agregata (prihvatni rezervoar za pulpu, pumpe, prihvatni kontejner za čvrsti ostatak i rezervoar za lužni rastvor)

#### 2. Precipitacija Fe i In

- Definisane kapaciteta transporta lužnog rastvora do reaktora za precipitaciju Fe i In
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima, radi efikasnog razdvajanja Fe i In od Cu i Zn
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa, prihvatni rezervoar za filtrirane u kome se nalaze Cu i Zn, i kontejner za precipitaciju u kome se nalaze Fe i In)

#### 3. Tretman precipitata uključivanjem postupka cementacije In

- Definisane kapaciteta transporta precipitata do reaktora za rastvaranje
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa za cementaciju In, bunker za cementni mulj i sirovi In)

#### 4. Cementacija Cu iz rastvora nakon precipitacije Fe i In

- Definisane kapaciteta transporta rastvora dobijenog nakon precipitacije Fe i In
- Definisane kapaciteta reaktora za cementaciju Cu sa pratećim detaljima
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa za cementaciju Cu, skladišni kontejner za cementni Cu)

5. **Taloženje  $ZnCO_3$  iz rastvora nakon cementacije Cu**
  - Definisanje transporta rastvora od rezervoara do reaktora za taloženje  $ZnCO_3$
  - Definisanje kapaciteta i vrste filter prese
  - Definisanje pratećih agregata (skladišni bunker, kontejner za  $ZnCO_3$ )
6. **Hloridno luženje čvrstog ostatka, dobijenog nakon luženja u vodi, radi valorizacije Pb i Ag**
  - Definisanje transporta čvrstog ostatka nakon dobijenog luženja u vodi do reaktora za hloridno luženje
  - Definisanje kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima u cilju efikasnog izdvajanja Pb i Ag
  - Definisanje kapaciteta i vrste filter prese za filtriranje pulpe
  - Definisanje pratećih agregata (prihvatni rezervoar za pulpu, prihvatni kontejner za  $PbCO_3$  i rezervoar za rastvor)
7. **Tretman otpadnih voda**

Tretman otpadnih voda nastalih nakon taloženja  $ZnCO_3$  i  $PbCO_3$  vršiće se u saglasnosti sa zakonskim regulativama za ispuštanje u javnu kanalizaciju.
8. **Karakterizacija čvrstih ostataka nastalih u procesu hidrometalurškog tretmana**
  - Karakterizacija čvrstog ostatka nastalog u procesu luženja olova i srebra
  - Karakterizacija čvrstog ostatka nastalog nakon neutralizacije otpadnih voda iz procesa cementacije indijuma

U skladu sa marketinškom analizom i u dogovoru sa investitorom biće definisan dalji tok ovih čvrstih ostataka.

**Ostala tehnička rešenja Postrojenja za hidrometalurški tretman prženca su:**

- Generalno rešenje mašinske opreme i instalacija,
- Generalno rešenje elektrotehničkih instalacija,
- Arhitektonsko-građevinsko generalno rešenje.

Tehnička rešenja će biti razvijena na nivou Generalnog projekta, kroz:

- Sagledavanja prostornih mogućnosti i ograničenja,
- Usvajanja generalne koncepcije, makrolokacije i prostorne dispozicije objekata i opreme,
- Odnos prema prostoru i životnoj sredini,
- Budžet za izgradnju postrojenja, kao osnov za ekonomsku analizu.

Obim posla, odnosno, spisak potrebne tehničke dokumentacije dat je u sledećoj tabeli:

	R.br	Projekat/Sveska	Napomena
I		<b>PRETHODNA STUDIJA OPRAVDANOSTI SA GENERALNIM PROJEKTOM IZGRADNJE POSTROJENJA ZA TRETMAN PbAg JAROSIT TALOGA IŽ PROIZVODNJE CINKA</b>	
I.1.	Sveska I	<b>Tehnička rešenja</b> 1. Tehnološka rešenja, 2. Mašinska oprema i instalacije 3. Snabdevanje električnom energijom, elektromotorni razvod i upravljanje 4. Arhitektonsko-gradjevinsko rešenje, 5. Budžet za izgradnju postrojenja	
I.2.	Sveska II	<b>Prethodna studija opravdanosti*</b>	

\*Definisanje tržišta prodaje i prodajnih cena nije deo ove ponude i biće deo posebnog dogovora.

### III PODLOGE

Podloge za izradu Generalnog projekta i tehničkih rešenja su:

- Laboratorijska tehnološka ispitivanja hidrometalurške prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga, IRM Bor 2019. god.,
- Tehnološka ispitivanja prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou, TMF Beograd i IRM Bor 2021. god.,
- Usvojeni Projektni zadatak, i
- Raspoloživa tehnička dokumentacija Investitora.

### III ROKOVI

Generalni rokovi su:

- Sveska I: Generalni projekat: 4 meseca od potpisivanja ugovora i usvajanja osnovne koncepcije Postrojenja
- Sveska II: Prethodna studija opravdanosti: 1,5 mesec od zajedničkog definisanja tržišta prodaje i prihodne strane finansijske analize i ocene.

### IV CENA

Ponuđena cena za pružanje inženjerskih usluga iz predmeta ove Ponude iznosi:

**90.000,00 EUR**

(slovima: devedesethiljadacura)

Fakturisanje će se obračunavati u RSD po srednjem kursu NBS za EUR na dan fakturisanja. Cena je data bez uračunatog poreza na dodatu vrednost (PDV).

## V NAČIN PLAĆANJA

- Avans 20% sedam dana od potpisivanja Ugovora,
- 70 % od ugovorene cene u mesečnim ratama shodno gotovosti posla,
- Preostalih 10 % posle završetka Prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom.

## ОПЦИЈА

Za sve komercijalno tehničke elemente ove ponude (цена, rokovi i dr.) ostajemo u obavezi 30 dana od predaje ove Ponude. Nakon ovog roka zadržavamo pravo na eventualnu izmenu komercijalno tehničkih elemenata naše ponude.



**DIREKTOR**

*Mile Bugarin*  
/Dr Mile Bugarin, naučni savetnik/

Prilog: Usvojeni Projektni zadatak

## 11.6. Уговор и Анекс уговора о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-„Metal recovery,, д.о.о. Београд

  
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И  
МЕТАЛУРГИЈУ БОР  
Број 2733/20  
26. 11. 20 20. год.  
Б О Р, Зелени булевар 35

### У Г О В О Р

#### О ИЗРАДИ ТЕХНОЛОШКИХ ИСПИТИВАЊА ПРЕРАДЕ NESTANDARDNOG JAROSIT PbAg TALOGA NA UVEĆANOM LABORATORIJSKOM NIVOU

Zaključen dana 25.11.2020. između:

1. **METAL RECOVERY D.O.O.**, ul. Kneginje Zorke br.2, 11000 Beograd, Mat. broj: 21035939, PIB: 108622149, koga zastupa direktor Samir Krak, (u daljem tekstu: **Naručilac**),  
i
2. **Grupe ponuđača:**
  - **INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR**, ul. Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Mat. broj: 07130279, PIB: 100627146, KAO Nosilac posla-lider, koga zastupa direktor dr Mile Bugarin, naučni savetnik i
  - **UNIVERZITET U BEOGRADU, TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET**, ul. Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Mat. broj: 07032552, PIB: 100123813, KAO član grupe ponuđača, koga zastupa dekan Prof. dr. Petar Uskoković

**INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR**, kao Nosilac posla-lider u grupi ponuđača (u daljem tekstu: **Izvršilac**) zastupa grupu ponuđača pred Naručiocem i ovlašćen je da u ime grupe sa Naručiocem komunicira i potpiše Ugovor, u skladu sa odredbama Sporazuma o zajedničkom nastupu, kojim su definisane obaveze i odgovornosti članova grupe na realizaciji prihvaćene ponude br. 2680/20 od 16.11.2020. godine.

Ugovorne strane, u svojim gore navedenim svojstvima, su se sporazumele o sledećem:

#### PREDMET UGOVORA

##### Član 1.

Predmet Ugovora je izrada tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg na uvećanom laboratorijskom nivou u skladu sa prihvaćenom ponudom br. 2680/20 od 16.11.2020. godine, koja je sastavni deo ovog Ugovora.

Ispitivanja će biti realizovana u Institutu za Rudarstvo i Metalurgiju (IRM) Bor i Tehnološko Metalurškom Fakultetu Univerziteta u Beogradu (TMF) po programu definisanim u ponudi br. 2680/20 od 16.11.2020. godine. U prvoj fazi istraživanja predviđena su laboratorijska i uvećana laboratorijska ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga postupkom sulfatizacionog prženja u rotacionoj peći u cilju formiranja faznog sastava pogodnog za dalji hidrometalurški tretman. U drugoj fazi istraživanja uradiće se hidrometalurški tretman prženca dobijenog u procesu sulfatizacionog prženja Jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou u cilju valorizacije korisnih komponentata.

Predviđena ispitivanja i obuhvataju sledeće faze i aktivnosti:

## I FAZA ISTRAŽIVANJA

### 1. Pirometalurški tretman Jarosit PbAg taloga

- 1.1 Priprema uzorka uzorka za sulfatizaciono prženje, sušenje, određivanje tehnološki optimalne količine vlage, granulost sastava i načina uvođenja agensa (formiranje šarže)
- 1.2 Termodinamika i hemijske reakcije u sistemu Jar-PbAg-sumpor, izbor parametara od interesa za projektovanje. Slobodna energija reakcija, ravnotežni dijagrami i uticaj parametara procesa
- 1.3 Izbor optimalnog faznog sastava proizvoda, analiza rastvaranja produkata sulfatizacije
- 1.4 Izbor sulfatizacionog agensa, stehiometrija i izbor metodologije određivanja stepena reagovanja. Termijske analize, kuplovano sa MS i FTIR
- 1.5 Izrada matrice eksperimentalnog ispitivanja u laboratorijskoj rotacionoj peći

### 2. Ispitivanje kinetičkih parametara procesa prženja i luženja

- 2.1 Ispitivanje uticaja količine sulfatizacionog agensa i kiseonika u gasnoj fazi na stepen reagovanja
- 2.2 Ispitivanje uticaja temperature i vremena reakcije na stepen reagovanja
- 2.3 Određivanje optimalnih parametara, prilog određivanju mehanizma procesa, prenos mase i energije
- 2.4 Odabir optimalnih parametara procesa luženja dobijenih prženaca
- 2.5 Hemijska i XRD karakterizacija przenaca
- 2.6 Hemijska karakterizacija rastvora nastalih nakon luženja
- 2.7 Izrada materijalnog bilansa
- 2.8 Reakcije u gasovitoj fazi, optimizacija predneutralizacije u sistemu amonijak/sumporni oksidi
- 2.9 Sinergetske sirovine i ponašanje kritičnih i toksičnih metala

### 3. Primena optimanih uslova prženja na uzorku od 100kg

- 3.1 Pilot testiranje u optimizovanom režimu radi formiranja lota prženca od 100 kg
- 3.2 Hemijska i XRD karakterizacija przenaca
- 3.3 Izrada tehničko tehnološkog rešenja sulfatizacije

## II FAZA ISTRAŽIVANJA

### 4. Hidrometalurški tretman prženca dobijenog sulfatizacionim prženjem uzorka Jarosit PbAg taloga od 100 kg

- 4.1 Luženje prženca u vodi
- 4.2 Precipitacija Fe i In
- 4.3 Tretman precipitata uključivanjem postupka cementacije In
- 4.4 Cementacija Cu iz rastvora nakon precipitacije Fe i In
- 4.5 Taloženje  $ZnCO_3$  iz rastvora nakon cementacije Cu
- 4.6 Hloridno luženje čvrstog ostatka, dobijenog nakon luženja u vodi, sa NaCl
- 4.7 XRD analiza, TCLP i LP test čvrstog ostatka nakon luženja Pb i Ag
- 4.8 Hemijska karakterizacija dobijenih produkata iz navedenih procesa prerade Jarosit PbAg taloga
- 4.9 Tehnološka šema procesa prerade nestandardnog Jarosit PbAg taloga
- 4.10 Materijalni bilans

### A2 Izrada Finalnog izveštaja o dobijenim rezultatima tretiranja Jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou

## MEĐUSOBNE OBAVEZE

### Član 2.

#### Obaveze Izvršioca:

- Da predmetna laboratorijska ispitivanja izvrši kvalitetno u skladu sa planom datim u članu 1. ovog Ugovora
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja
- Da dostavi Finalni zveštaj o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja
- Da čuva kao strogu poslovnu tajnu sve podatke i informacije do kojih dođe tokom realizacije ovog Ugovora.

#### Obaveze Naručioca:

- Da dostavi reprezentativni tehnološki uzorak Jarosit PbAg taloga
- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.

## ROK ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

### Član 3.

Rok za realizaciju tehnoloških laboratorijskih ispitivanja i izradu Finalnog Izveštaja je 6 (šest) meseci od dana dostavljanja tehnološkog uzorka. Termin plan realizacije aktivnosti dat je u predmetnoj ponudi br. 2680/20 od 16.11.2020. godine u Prilogu.

## CENA

### Član 4.

- Cena za realizaciju tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga po specificiranom obimu poslova u članu 1. ovog Ugovora iznosi:  
**1.412.910,00 (jedanmilijončetiristotinedvanaesthiljadadevetstotinadeset) dinara +PDV**

U cenu nije uključen PDV i isti će se zaračunavati prilikom ispostavljanja faktura.

## NAČIN PLAĆANJA

### Član 5.

Za realizaciju tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga važi sledeća dinamika isplate:

- 50% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana potpisivanja Ugovora, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- preostalih 50% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 10 (deset) dana od dana dostavljanja Finalnog izveštaja Investitoru, prema ispostavljenoj fakturi Izvršioca

## POVERLJIVOST INFORMACIJA I POSLOVNA TAJNA

### Član 6.

Ukoliko nije drugačije predviđeno ovim Ugovorom, ugovorne strane se obavezuju na poverljivost svih poslovnih tajni i drugih tehničkih informacija koje će primiti u vezi sa ovim Ugovorom. Ugovorne strane se takođe obavezuju da na poverljivost informacija obavežu i svoje zaposlene i da poverljive informacije koriste samo u vezi i u svrhu implementacije ovog Ugovora.

## VIŠA SILA

### Član 7.

Ugovorne strane su saglasne da se odredbe više sile primenjuju u slučaju nastajanja događaja i okolnosti koje se ne mogu predvideti i na koje ni jedna strana ne može uticati a kao što su: zemljotres, poplava, požar, odron, klizište, druge elementarne nepogode većeg obima, štrajk zaposlenih, epidemije, nerad ili zastoj po naredbi nadležnih državnih organa i drugi događaji i okolnosti, koje naši i međunarodni sudovi priznaju kao višu silu.

Strana koja trpi slučaj više sile dužna je da u roku od 5 dana od dana njenog nastanka obavesti drugu stranu a u slučaju da dejstvo više sile traje duže od 3 meseca druga strana može raskinuti Ugovor.

## OSTALE ODREDBE

### Član 8.

Ugovorne strane potvrđuju da ne postoje drugi ugovori koji regulišu predmetnu materiju. Ovaj Ugovor predstavlja celoviti sporazum koji se odnosi na ovaj predmet Ugovora i svi prethodni razgovori, pregovori ili sporazumi se ovim ukidaju i važe samo odredbe ovog Ugovora.

### Član 9.

Sve eventualne izmene i dopune ovog Ugovora vršiče se posebnim aneksom, koji mora biti zaključen u pisanom obliku.

Aneks se smatra zaključenim kada ga potpišu obe ugovorne strane.

Svi aneksi ovog Ugovora, čine njegov sastavni deo.

### Član 10.

Za sve što nije predviđeno ovim Ugovorom, primeniće se pozitivni zakonski propisi.

## PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

### Član 11.

Sve eventualne sporove po ovom Ugovoru, ugovorne strane će nastojati da reše sporazumno, a u slučaju da do sporazuma ne dodje, spor će se rešavati pred Privrednim sudom u Zaječaru.

Ugovor stupa na snagu danom potpisivanja od strane ovlašćenih predstavnika ugovarača.

Ovaj Ugovor sastavljen je u 6 (šest) istovetnih primerka, od kojih svaka ugovorna strana zadržava po 3 (tri) za svoje potrebe.

INSTITUT ZA RUDARSTVO I  
METALURGIJU  
BOR



*Mile Bugarin*  
Direktor dr Mile Bugarin,  
naučni savetnik

METAL RECOVERY D.O.O.  
BEEGRAD



*Samir Krak*  
Samir Krak, direktor



Naručilac, kompanija **METAL RECOVERY d.o.o.**, ul. Knjeginje Zorke br. 2, 11000 Beograd, matični broj: 21035939, PIB: 108622149, koga zastupa Samir Krak u funkciji direktora društva (u daljem tekstu: **Naručilac**)

i  
Izvršilac **Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor**, Zeleni bulevar br. 35, 19210 Bor, matični broj 07130279, PIB: 100627146, koga zastupa Dr Mile Bugarin, naučni savetnik, u funkciji direktora, (u daljem tekstu: **Izvršilac**), sačinile su sledeći

### ANEKS BR.1

**Ugovora o izradi Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman sirovine PbAg taloga Jarosita iz proizvodnje čelika zavedenog pod brojem 2426/21 od 07.12.2021. god. (u daljem tekstu: Osnovni ugovor)**

#### PREDMET

##### Član 1.

Ugovorne strane su postigle saglasnost da će Izvršilac za potrebe Naručioca izraditi: **Laboratorijska ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i dalji tretman dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata**, a u svemu prema usvojenoj Ponudi broj 1498/22 od 12.08.2022. god., koja se daje kao **Prilog 1** ovog Aneksa i čini njegov sastavni deo.

Laboratorijska ispitivanja imaju za cilj definisanje optimalnih tehnoloških parametara postupka tretmana čvrstog ostatka - izluženog prženca jarosita u cilju selektivnog izdvajanja gvožđa i njegove valorizacije do proizvoda feri-fosfata uz istovremeno dobijanje koncentrata olova i srebra, što nije obuhvaćeno Osnovnim ugovorom.

Plan ispitivanja na tehnološkom uzorku je dat u ponudi br. 1498/22 od 12.08.2022. god i obuhvata sledeće faze i aktivnosti:

1. Ispitivanje ključnih parametara procesa rastvaranja izluženog prženca jarosita u hlorovodoničnoj kiselini (uticaj koncentracije HCl, vreme trajanja procesa, odnos Č:T) kako bi se utvrdio maksimalni stepen rastvaranja prisutnih metala (Fe, Pb i Ag)
2. Određivanje potrebne količine natrijum-hidroksida i definisanje optimalnih parametara procesa precipitacije gvožđa, olova i srebra iz hloridnog rastvora
3. Određivanje potrebne količine sumporne kiseline i uslova procesa prevođenja metala (Fe, Pb i Ag) iz precipitata u sulfate (gvožđe u rastvorni feri-sulfat, a olovo i srebro u talog olovo-sulfata i srebro-sulfata).
4. Definisanje parametara kvantitativnog taloženja feri-fosfata (taložno sredstvo, pH rastvora, temperatura i vreme trajanja procesa)
5. Određivanje potrebne količine reagenasa za dobijanje feri-fosfata
6. Hemijska karakterizacija svih tečnih i čvrstih međuprodukata nastalih u toku procesa
7. Hemijska karakterizacija proizvoda: **koncentrata olova i srebra, feri-fosfata**
8. Hemijska karakterizacija taloga nastalog nakon rastvaranja u hlorovodoničnoj kiselini radi definisanja kojoj grupi otpada pripada (opasan ili neopasan otpad)
9. Izrada materijalnog bilansa predloženog tehnološkog procesa tretmana izluženog prženca jarosita u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata
10. Normativ sirovina i elektroenergije za definisani postupak prerade izluženog prženca jarosita

11. Predlog postupaka za prečišćavanje otpadnih voda koje nastaju u predloženom procesu prerade izluženog prženca jarosita
12. Izrada Finalnog izveštaja

### MEĐUSOBNЕ OBAVEZE

#### Član 2.

##### Obaveze Izvršioca:

- Da predmetna laboratorijska ispitivanja izvrši kvalitetno u skladu sa planom datim u članu 1. ovog Ugovora
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja
- Da dostavi Finalni zveštaj o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja
- Da čuva kao strogu poslovnu tajnu sve podatke i informacije do kojih dođe tokom realizacije ovog Aneksa.

##### Obaveze Naručioca:

- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.

### ROK ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

#### Član 3.

Rok za realizaciju tehnoloških laboratorijskih ispitivanja i izradu pratećih Izveštaja je 3 (tri) meseci od dana potpisivanja Aneksa.

### CENA

#### Član 4.

Cena za realizaciju laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata po specificiranom obimu poslova u članu 1. ovog Aneksa iznosi:

**39.800.00 EUR (tridesetdevehiljadaosamstotina eura) + PDV**

Cena je iskazana u evrima (EUR), a obračun vrednosti posla i plaćanje vršiče se u dinarima (RSD), po srednjem kursu NBS za evro na dan fakturisanja.

U cenu nije uključen PDV i isti će biti posebno obračunat prilikom fakturisanja u skladu sa zakonom o porezu na dodatu vrednost.

### NAČIN PLAĆANJA

#### Član 5.

Za realizaciju laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata važi sledeća dinamika isplate:

- 20% od ukupne cene iz člana 4. ovog Aneksa - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana potpisivanja Aneksa, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- 60% od ukupne cene iz člana 4. ovog Aneksa - Naručilac će platiti u roku od 15 (petnaest) dana shodno stepenu izvršenosti posla, na osnovu ispostavljenih mesečnih faktura Izvršioca
- preostalih 20% od ukupne cene iz člana 4. ovog Aneksa - Naručilac će platiti u roku od 15 (petnaest) dana od dana dostavljanja Finalnog izveštaja Investitoru, prema ispostavljenoj fakturi Izvršioca

#### Član 6.

Ostale odredbe Osnovnog Ugovora nisu promenjene i ostaju na snazi i za ovaj Aneks.

### PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

#### Član 7.

Aneks stupa na snagu danom potpisivanja od strane ovlašćenih predstavnika ugovarača.

Ovaj Aneksa sastavljen je u 6 (šest) istovetnih primerka, od kojih svaka ugovorna strana zadržava po 3 (tri) za svoje potrebe.

ZA NARUČIOCA :

*Samir*



Metal Recovery d.o.o Beograd

Direktor Samir Krak

02.09.2022. God

ZA IZVRŠIOCA :



Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Direktor Dr Mile Bugarin, naučni savetnik

SASTAVNI DEO ANEKSA ČINI SLEDEĆI PRILOG:

- Ponuda Izvršioca broj 1498/22 od 12.08.2022. god.

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР Зелени булевар 35, п.ф.152 19210 Бор, Србија	  	MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR 35 Zeleni bulevar, POB 152 19210 Bor, Serbia
Tel: +381 (0) 30-436-826 *Факс: +381 (0) 30-435-175 * E-mail: institut@irmbor.co.rs ПИБ : 100627146 * МБ : 07130279 * Жиро рачун: 160 - 42 - 434 - 38		

Датум: 12.08.2022.  
Date:

Metal Recovery d.o.o. Beograd  
ul.Knjeginje Zorke br. 2  
11000 Beograd

Наш знак: 1498/22  
Our sign: Your sign:

**Predmet: Ponuda za izradu laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata**

Na osnovu Vašeg zahteva, Institut za Rudarstvo i Metalurgiju (IRM) Bor, dostavlja Ponudu za izradu laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata.

Ponuda se sastoji u sledećem:

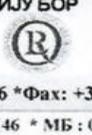
#### A. OBIM POSLOVA

##### A.1. Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja imaju za cilj definisanje optimalnih tehnoloških parametara postupka tretmana čvrstog ostatka - izluženog prženca jarosita u cilju selektivnog izdvajanja gvožđa i njegove valorizacije do proizvoda feri-fosfata uz istovremeno dobijanje koncentrata olova i srebra.

Na osnovu preliminarnih laboratorijskih ispitivanja i iskustva koje posedujemo u tretmanu sličnih sirovina predlaže se sledeći **program** rada:

1. Ispitivanje ključnih parametara procesa rastvaranja izluženog prženca jarosita u hlorovodoničnoj kiselini (uticaj koncentracije HCl, vreme trajanja procesa, odnos Č:T) kako bi se utvrdio maksimalni stepen rastvaranja prisutnih metala (Fe, Pb i Ag)
2. Određivanje potrebne količine natrijum-hidroksida i definisanje optimalnih parametara procesa precipitacije gvožđa, olova i srebra iz hloridnog rastvora
3. Određivanje potrebne količine sumporne kiseline i uslova procesa prevođenja metala (Fe, Pb i Ag) iz precipitata u sulfate (gvožđe u rastvorni feri-sulfat, a olovo i srebro u talog olovo-sulfata i srebro-sulfata).
4. Definisanje parametara kvantitativnog taloženja feri-fosfata (taložno sredstvo, pH rastvora, temperatura i vreme trajanja procesa)
5. Određivanje potrebne količine reagenasa za dobijanje feri-fosfata
6. Hemijska karakterizacija svih tečnih i čvrstih međuprodukata nastalih u toku procesa
7. Hemijska karakterizacija proizvoda: **koncentrata olova i srebra, feri-fosfata**
8. Hemijska karakterizacija taloga nastalog nakon rastvaranja u hlorovodoničnoj kiselini radi definisanja kojoj grupi otpada pripada (opasan ili neopasan otpad)
9. Izrada materijalnog bilansa predloženog tehnološkog procesa tretmana izluženog prženca jarosita u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР Зелени булевар 35, п.ф.152 19210 Бор, Србија		MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR 35 Zeleni bulevar, POB 152 19210 Bor, Serbia
Тел: +381 (0) 30-436-826 *Факс: +381 (0) 30-435-175 * E-mail: institut@irmbor.co.rs		
ПИБ : 100627146 * МБ : 07130279 *Жиро рачун: 160 - 42 - 434 -38		

10. Normativ sirovina i elektroenergije za definisani postupak prerade izluženog prženca jarosita
11. Predlog postupaka za prečišćavanje otpadnih voda koje nastaju u predloženom procesu prerade izluženog prženca jarosita

#### A.2. Izrada izveštaja o dobijenim rezultatima ispitivanja definisanih u tački A.1.

#### B. MEDUSOBNE OBAVEZE

##### B.1. Obaveze IRM-a:

- Da predmetna ispitivanja izvrši kvalitetno;
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku;
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja.

##### B.2. Obaveze Investitora:

- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.

#### C. ROK ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

Rok za realizaciju tehnoloških ispitivanja i izradu Izveštaja je 3 (tri) meseca.

#### D. CENA ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

Cena za realizaciju laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata po specificiranom obimu poslova u Tački A iznosi:

**39.800,00 EUR (tridesetdevehiljadaosamtotina eura) + PDV**

Cena je iskazana u evrima (EUR), a plaćanje se vrši u RSD, shodno važećim propisima U datoj ceni nije uključen PDV i isti će se zaračunavati u okviru ispostavljenih faktura.

#### E. NAČIN PLAĆANJA

Za realizaciju laboratorijskih ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata važi sledeća dinamika isplate:

- 20% od ukupne cene izrade – avansna uplata u roku od 7 (sedam) dana od ispostavljanja avansnog računa
- 60% od ukupne cene izrade – shodno stepenu izvršenosti posla, na osnovu ispostavljenih mesečnih računa
- 20% od ukupne cene izrade – nakon predaje Izveštaja Investitoru u roku od 15 (petnaest) dana od ispostavljenih faktura.



Direktor Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor

Dr Mile Bugarić, naučni savetnik

## 11.7. Рачун ``Metal Recovery d.o.o. Beograd``

Генерисао систем ЕФактура под бројем:94110033-23 | Идентификатор:94949680-  
e91b-4be6-8fa5-ef8d9c5d66b6 | датум и време генерисања:24.01.2023 14:10:25

Датум издавања: 24.01.2023

**METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD-VRAČAR**  
КНЕГИНЈЕ ЗОРКЕ 2  
Beograd (Vračar) Србија

Број фактуре  
**94110033-23**

Број уговора      Анекс бр. 1, ИРМ бр. 1612/22  
од 07.09.2022.  
Уплату извршити са позивом      **94110033-23**  
на број  
Датум промета      24.01.2023  
Датум доспећа      **09.02.2023**  
Матични број купца      21035939  
ПИБ купца      108622149  
Валута фактуре      **RSD**  
Укупно за плаћање      **2.690.914,18**

Продавац

**ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР**

Адреса: 19210 Бор Зелени булевар 35

| 160-000000042434-38

ЈБКЈС 81451

Матични број: 07130279

ПИБ: 100627146

Опис	Количина	Јединична цена	Јединица мере	Полуст	Износ без ПДВ	ПДВ %
Лабораторијска испитивања процеса растварања гвојџа из излуженог прженца јаросита и даљи третман добијеног раствора у циљу добијања концентрата олова и сребра и фери-фосфата - 60% реализација	1	2.802.836,20	ком	0,00	2.802.836,20	20,00
Збир ставки са столом 20%:					2.802.836,20	
Укупно основица – стопа 20%:					2.802.836,20	
Укупно ПДВ – стопа 20%:					560.567,24	
<b>Укупан износ:</b>					<b>3.363.403,44</b>	
Авансирана основица – стопа 20%:					560.407,72	
Авансирани ПДВ – стопа 20%:					112.081,54	
Укупно авансирана основица:					560.407,72	
Укупно авансиран ПДВ:					112.081,54	
<b>Укупан авансиран износ:</b>					<b>672.489,26</b>	
Укупно основица умањена за авансе – стопа 20%:					2.242.428,48	
Укупно ПДВ умањен за авансе – стопа 20%:					448.485,69	
<b>Укупно за уплату:</b>					<b>2.690.914,18</b>	

Аванси

Број изабраног авансног рачуна: 941101011/A-22  
Датум слања изабраног авансног рачуна: 26.10.2022  
Искоришћена авансна основица ПДВ 20%: 560.407,72  
Износ ПДВ 20%: 112.081,54  
Искоришћена авансна основица ПДВ 10%: 0,00  
Износ ПДВ 10%: 0,00  
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији изузето од ПДВ: 0,00  
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији није предмет ПДВ: 0,00

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР | efakture@irmbor.co.rs | Телефон 0648823020 | www.irmbor.co.rs

Генерисао систем ЕФактура под бројем:94110033-23 | Идентификатор:94949680-  
e91b-4be6-8fa5-ef8d9c5066b6 | датум и време генерисања:24.01.2023 14:10:25

Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији обрнута наплата ПДВ:	0,00
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији пореско ослобођење са правом на одбитак претходног пореза:	0,00
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији изузимање од ПДВ:	0,00
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији посебни поступци опорезивања:	0,00
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији није предмет опорезивања ПДВ 2:	0,00
Искоришћена авансна накнада без ПДВ по категорији анулирање:	0,00
Искоришћени аванс без ПДВ:	0,00
Укупно умањење:	672.489,26

Датум обрачуна пдв-а је датум промета

## 11. 8. Извод из банке о уплати


**INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR**

ZELENI BULEVAR 35, 19210, BOR

MB: 07130279

TEKUĆE PROMENE (broj računa: 160-000000042434-38) na dan 12.6.2023.

Redni broj	Poslovno ime i sedište platilaca - primaoca plaćanja	poreklo naloga datum izvršenja	IZNOS u RSD		Šifra	Svrha plaćanja	Poziv na broj (zaduženje) Poziv na broj (odobrenje)	Referentna oznaka transakcije (podaci)
	broj računa		duguje	potražuje				
1.	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD Beograd-Vračar 160-0000000415575-92	12.06.2023	0.00	2.690.914.18	221	Promet robe i usluga - finalna potrošnja br 94110033-23		177PLP1231630001 (7643551790)
2.	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD Beograd-Vračar 160-0000000415575-92	12.06.2023	0.00	47.126.90	221	Promet robe i usluga - finalna potrošnja rn 951401088-21		177PLP123163000DX (7643461383)
<b>Ukupno</b>			<b>0.00</b>	<b>2,738,041.08</b>				

Štampano: 12.6.2023.

## 12. Листа раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно

### Др Драгана Божић, дипл.инг.мет.:

1. dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, dr Dragana Božić, Vojka Gardić, Nenad Magdalinović, dr Ivana Ćipranić, Prof.dr Masuda Nobuyuki: Razvoj procesa dvostepene neutralizacije kiselih rudničkih voda na novom pilot postrojenju. M81 - Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou, Projekat „Research on the Integration System of Spatial Environment Analyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development (E3)“ realizovan za Ministarstvo rudarstva i energetike (MRE) i Ministarstvo zaštite životne sredine (MZŽS) kroz saradnju Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa Akita Univerzitetom – Centar za Geo-ekološke nauke (CGES); Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetskih resursa (ICREMER) i Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) i Tehničkim Fakultetom Bor (TF Bor) preko Programa: SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), Japan, 2021, Usvojeno TR M81 na sednici MNO za uređenje, zaštitu i korišćenje voda, zemljišta i vazduha od 28.08.2023., <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2023/10/Tehnicko-resenje-M81-Stevanovic.pdf> (M81)
2. S. Dragulović, V. Trujić, S. Dimitrijević, Z. Ljubomirović, B. Trumić, R. Marković, D. Božić, M. Gorgievski, „Dobijanje rodijuma visoke čistoće (min 99,95%) iz sekundarnih sirovina metodom solventne ekstrakcije“, 2011., TR 34024 (M82)
3. Zdenka Stanojević-Šimšić, Suzana Dragulović, Vesna Conić, Mile Bugarin, Ana Kostov, Dragana Božić, Danijela Simonović, „Preparation of potassium pyrophosphate (K<sub>4</sub> P<sub>2</sub> O<sub>7</sub>) in crystalline form“, 2018., TR 34004. (M82)
4. S. Dragulović, S. Dimitrijević, B. Trumić, R. Marković, D. Božić, M. Gorgievski, S. Alagić, Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog cijanida, IRM Bor, 2015., TR 34024. (M83)
5. Dragana Božić, Suzana Dragulović, Vesna Conić, Mile Bugarin, Ljiljana Avramović, Zdenka Stanojević Šimšić, Danijela Simonović, Добијање бакар (II) хлорида (CuCl<sub>2</sub>) у кристалном облику, техничко решење, (2019). (M85)

### Др Весна Цонић, дипл.инг.мет.

1. Vladimir Cvetkovski, Vesna Conić, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Branka Pešovski, Danijela Simonović, Dana Stanković, Zoran Vaduvesković, "Nova Proizvodna Linija Za Dobijanje Bakar Sulfata Solventnom Ekstrakcijom Rudničkih Voda", Projekat Tr 34004:-2011. Razvoj Ekoloških i Energetski Efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojenih i Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije I Elektrolitičke Rafinacije (M82)
2. Vladimir Cvetkovski, Vesna Conić, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Danijela Simonović, Silvana Dimitrijević, Zorica Ljubomirović, "Nova Proizvodna Linija Za Proizvodnju Bakra Solventnom Ekstrkijom Rudničkih Voda" Br.T1/34004-2012. Projekat Tr 34004: Razvoj Ekoloških I Energetski Efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojeni I Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije I Elektrolitičke Rafinacije (M82)
3. Branka Pešovski, Vladimir Cvetkovski, Danijela Simonović, Zdenka Stanojević Šimšić, Smiljana Jakovljević, Ljiljana Mladenović, Vesna Conić, Tehn. Res. 2011. Nova proizvodna linija fleksibilnog postrojenja za proizvodnju soli i čistih hemikalija br IV/8.5 od 06.12..2011., Projekat Tr 34004: Razvoj Ekoloških I Energetski Efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojeni I Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije I Elektrolitičke Rafinacije (M82)
4. Silvana Dimitrijević, Vlastimir Trujić, Suzana Dragulović, Radmila Marković, Vesna Conić, Biljana Madić, Zdenka Stanojević Šimšić, "Reciklaža Bakra I Srebra Iz Posrebrenih Mesinganih Kućišta Kombinacijom Pirometalurških, Elektrometalurških I Hemijskih Postupaka" Br. T1/2012,

Projekat Tr 34024: Razvoj Tehnologija Za Reciklažu Plemenitih, Retkih i Pratećih Metala iz Čvrstog Otpada Srbije Do Visokokvalitetnih Proizvoda (M83)

5. Vesna Conić, Silvana Dimitrijević, Dragan Milanović, Radmila Marković, Suzana Dragulović, Sanja Bugarinović, Ivana Jovanović, Tehn.reš. T1 34004 – Izdvajanje selena iz procesa elektrolitičke rafinacije bakra,. Tehnicko resenje, Broj odluke Naučnog veća IRM Bor., (M83) od XXIX/6. 13.11.2015. godine. Tehničko rešenje je rezultat projekta TR 34004 i TR 33023. (M83)

6. Suzana Dragulović, Danijela Simonović, Branka Pešovski, Vesna Conić, Zdenka Stanojević Šimšić, Emina Požega, Vesna Krstić, Dobijanje olovo (II) oksida iz čvrstog ostatka dobijenog bioluženjem polimetalčnih sulfidnih koncentrata, Projekat MPN br. TR34004 (2011-2018). Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije (M85)

#### **Др Љилјана Аврамовић, дипл.инг.техн.**

1. Radmila Marković, Jasmina Stevanović, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Mile Dimitrijević, Renata Kovačević, Vojka Gardić, Izdvajanje bakra iz otpadnih sumporno-kiselih rastvora elektrolitičkom rafinacijom bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.3. od 27.12.2013. (M82)

2. Radmila Marković, Jasmina Stevanović, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Mile Dimitrijević, Renata Kovačević, Vojka Gardić, Izdvajanje bakra iz otpadnih sumporno-kiselih rastvora elektrolitičkom rafinacijom bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.3. od 27.12.2013. (M82)

3. Silvana Dimitrijević, Mile Bugarin, Aleksandra Ivanović, Radmila Marković, Ljiljana Avramović, Milan Jovanović, Stevan Dimitrijević: Reciklaža dijamanta iz dijamantskih krunica bušaćih garnitura, Projekat MNTR br. TR-34024 i TR-37001, 2019. NV IRM-a broj XV/6.2. od 16 (M82)

4. R.Jonović, Lj.Avramović, S.Magdalinić, D.Milanović, Tehnološki postupak dobijanja volframtrioksida iz koncentrata šelita poreklom iz polimetalčne rude sa rudnog tela »Nova jama«-ad Rudnik, tehničko i razvojno rešenje – novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR 19002, 2008-2010., Odluka br. X/10.3. od 16.04.2009. (M83)

5. Lj. Obradović, Z. Stevanović, R.Marković, R. Jonović, Lj.Avramović, Laboratorijsko postrojenje za kontinualno perkolaciono luženje u kolonama, tehničko i razvojno rešenje – novo laboratorijsko postrojenje, Projekat MNTR br. TR 21008, 2008-2010. Odluka br.573 od 24.04.2009. (M83)

6. M.Bugarin, Lj. Obradović, Z. Stevanović, R.Marković, R. Jonović, Lj.Avramović, R.Stevanović, Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 471/13.04.2010. (M83)

7. R.Jonović, Lj.Avramović, S. Radosavljević, S.Magdalinić, D.Milanović, Tehnološki postupak dobijanja bizmuta iz koncentrata volframa dobijenog sa rudnog tela »Nova jama«-ad Rudnik, tehničko rešenje – novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR 19002, IRM Bor – 203/07.02.2011 (M83)

8. S. Dimitrijević, R. Marković, M. Bugarin, J. Stevanović, B.Jugović, Lj. Avramović, S. Dragulović, Uvećano laboratorijsko postrojenje za elektrohemijaska ispitivanja, Odluka Naučnog veća IRM-a o prihvatanju tehničkog rešenja br. X/7.4. od 09.10.2012. (M83)

9. Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Zoran Stevanović, Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić, Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.2. od 27.12.2013. (M83)

10. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi

tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014. (M83)

11. Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, mr Radmila Marković, mr Zoran Stevanović, dr Milica Gvozdrenović, dr Jasmina Stevanović, Ljubiša Obradović, "Razaranje sulfida iz vanbilansnih materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra", Odluka Naučnog veća IRM-a o prihvatanju tehničkog rešenja br. X/7.3. od 09.10.2012. (M84)

12. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, Lj.Avramović, R.Jonović, Z.Stevanović, Lj.Obradović, Novi softver za određivanje ekstrakcione konstante i konstante dimerizacije metodom najmanjih kvadrata iz eksperimentalnih podataka za ekstrakciju bakra sa LIX ekstragensima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 515/21.04.2010. (M85)

13. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, Lj.Avramović, R.Jonović, Z.Stevanović, Lj.Obradović, Novi softver za simulaciju ekstrakcije bakra iz kiselih sulfatnih rastvora hidroksioksimima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 514/21.04.2010. (M85)

14. R.Stevanović, M.Tufegdžić, R.Marković, Lj.Avramović, R.Jonović, Izračunavanje rastvorljivosti bakar-sulfata pentahidrata u vodenim rastvorima sumporne kiseline i izračunavanje napona pare iznad takvog rastvora – razvoj softvera, Projekat MNTR br. TR 21008.4. (M85)

15. S. Dimitrijević, R. Marković, Lj. Avramović, M. Bugarin, A. Ivanović, V. Trifunović, Novo tehničko rešenje (nije komercijalizovano) - Elektrolitičko dobijanje cinka iz otpadne prašine elektrolučne peći, Odluka NV o prihvatanju tehničkog rešenja br. XII/5 od 02.02. 2022. (M85)

#### Др Зоран Стевановић, ДИП.ИНГ.РУД.

1. dr Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić: Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2013. NV IRM-a broj XVII/2.2. od 27.12.2013. <https://irmbor.co.rs/wp833content/uploads/2017/04/tr1y2013p37001.pdf> (M83).

2. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014. <https://irmbor.co.rs/wp839content/uploads/2017/04/tr2y2014p37001.pdf> (M83).

3. Lj. Obradović, Z. Stevanović, R. Marković, R. Jonović, LJ. Avramović: Laboratorijsko postrojenje za kontinualno perkolaciono luženje u kolonama. Tehničko i razvojno rešenje – novo laboratorijsko postrojenje. Projekat MNTR br. 21008, IRM Bor 573/24.04.2009, (M83).

4. M. Bugarin, R. Marković, Z. Stevanović, LJ. Obradović, R. Jonović, LJ.Avramović: Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo. Tehničko i razvojno rešenje – novo laboratorijsko postrojenje, Projekat MNTR br.TR 21008, IRM Bor 471/13.04.2010. <https://irmbor.co.rs/wp848content/uploads/2017/04/tr1y2010p37001.pdf> (M83).

5. R. Rajković, M. Bugarin, mr Z. Stevanović, LJ. Obradović: Tehnologija čišćenja taložnog materijala iz filter taložnika postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Ogranka „Prerada“ - Vreoci, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – 760/15.06.2010, (M84).

6. dr Mile Bugarin, Ljubiša Obradović, mr Radmilo Rajković, Vladan Marinković, mr Zoran Stevanović: Trodimenzionalni model Oštrejskog planira u funkciji analize uticaja kiselih otpadnih voda na životnu sredinu, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – X/7.1,09.10.2012. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr4y2012p37001.pdf> (M84).

7. Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, mr Radmila 856 Marković, mr Zoran Stevanović, dr Milica Gvozdrenović, dr Jasmina Stevanović, Ljubiša Obradović: Razaranje sulfida iz vanbilansnih

materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – X/7.3, 09.10.2012. <https://irmbor.co.rs/wp860content/uploads/2017/04/tr1y2012p37001.pdf> (M84).

8. R. Stevanović, S. Čupić, M. Bugarin, R. Marković, LJ. Avramović, R. Jonović, Z. Stevanović, LJ. Obradović: Novi softver za simulaciju ekstrakcije bakra iz kiselih sulfatnih rastvora hidroksioksimima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 514/21.04.2010. <https://irmbor.co.rs/wp865content/uploads/2017/04/tr2y2010p37001.pdf> (M85).

9. R. Stevanović, S. Čupić, M. Bugarin, R. Marković, LJ. Avramović, R. Jonović, Z. Stevanović, LJ. Obradović: Novi softver za određivanje ekstrakcione konstante i konstante dimerizacije metodom najmanjih kvadrata iz eksperimentalnih podataka za ekstrakciju bakra sa LIX ekstragensima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 515/21.04.2010. <https://irmbor.co.rs/wp871content/uploads/2017/04/tr3y2010p37001.pdf> (M85).

10. dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, dr Dragana Božić, Vojka Gardić, Nenad Magdalinović, dr Ivana Čipranić, Prof.dr Masuda Nobuyuki: Razvoj procesa dvostepene neutralizacije kiselih rudničkih voda na novom pilot postrojenju. M81 - Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou, Projekat „Resarch on the Integration System of Spatial Environment Aanalyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development (E3)“ realizovan za Ministarstvo rudarstva i energetike (MRE) i Ministarstvo zaštite životne sredine (MZŽS) kroz saradnju Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa Akita Univerzitetom – Centar za Geo-ekološke nauke (CGES); Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetske resursa (ICREMER) i Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) i Tehničkim Fakultetom Bor (TF Bor) preko Programa: SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), Japan, 2021, Usvojeno TR M81 na sednici MNO za uređenje, zaštitu i korišćenje voda, zemljišta i vazduha od 28.08.2023., <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2023/10/Tehnicky-resenje-M81-Stevanovic.pdf>

### Др Радмила Марковић, дипл.инг.техн.

1. dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, dr Dragana Božić, Vojka Gardić, Nenad Magdalinović, dr Ivana Čipranić, Prof.dr Masuda Nobuyuki: Razvoj procesa dvostepene neutralizacije kiselih rudničkih voda na novom pilot postrojenju. M81 - Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou, Projekat „Resarch on the Integration System of Spatial Environment Aanalyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development (E3)“ realizovan za Ministarstvo rudarstva i energetike (MRE) i Ministarstvo zaštite životne sredine (MZŽS) kroz saradnju Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa Akita Univerzitetom – Centar za Geo-ekološke nauke (CGES); Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetske resursa (ICREMER) i Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) i Tehničkim Fakultetom Bor (TF Bor) preko Programa: SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), Japan, 2021, Usvojeno TR M81 na sednici MNO za uređenje, zaštitu i korišćenje voda, zemljišta i vazduha od 28.08.2023., <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2023/10/Tehnicky-resenje-M81-Stevanovic.pdf>
2. S. Dragulović, V. Trujić, S. Dimitrijević, Z. Ljubomirović, B. Trumić, R. Marković, D.Božić, M. Gorgievski: Dobijanje rodijuma visoke čistoće (min. 99,95% Rh) iz sekundarnih sirovina metodom solventne ekstrakcije, Projekat MNTR br. TR 34024, 2011 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2011p34024.pdf> (M82).
3. Silvana Dimitrijević, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Aleksandra Ivanović, Vojka Gardić, Radmila Marković, Biserka Trumić: Elektrolitička rafinacija bakarnih anoda sa

- nestandardnim oblikom elektroda, br. T3/2012, Projekat MPN br. TR 34024, 2012 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr3y2012p34024.pdf>. (M82).
4. Radmila Marković, Jasmina Stevanović, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Mile Dimitrijević, Renata Kovačević, Vojka Gardić: Izdvajanje bakra iz otpadnih sumporno-kiselih rastvora elektrolitičkom rafinacijom bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava, br.T2/2013, Projekat MPN br. TR 37001, 2013 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2013p37001.pdf>. (M82).
  5. Silvana Dimitrijević, Mile Bugarin, Aleksandra Ivanović, Radmila Marković, Ljiljana Avramović, Milan Jovanović, Stevan Dimitrijević: Reciklaža dijamantata iz dijamantskih krunica bušaćih garnitura, Projekat MNTR br. TR-34024 i TR-37001, 2019. NV IRM-a broj XV/6.2. od 16.01.2019., (M82).
  6. M.Petrov, R.Marković, LJ.Mladenović, M.Vukadinović: Valorizacija mineralnog otpada iz borske flotacijske jalovine, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 –Novi tehnološki postupak,(M83).
  7. M.Bugarin, R.Marković, Z. Stevanović, LJ. Obradović, R. Jonović, LJ.Avramović: Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 - Novo laboratorijsko postrojenje, (M83).
  8. R.Marković, V. Trujić, S. Dimitrijević, S. Dragulović, O. Dimitrijević, Z. Ilić, A. Ivanović: Novo poluindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava – Linija I, Projekat 911 MNTR br. TR 34024, 2011 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2011p34024.pdf>. (M83).
  9. S. Dimitrijević, V. Trujić, S. Dragulović, R. Marković, V. Conić, B. Madić, Z. Stanojević914
  10. Šimšić: Reciklaža bakra i srebra iz posebnih mesinganih kućišta kombinacijom pirometalurških, elektrometalurških i hemijskih postupaka, br. T1/2012, Projekat MPN br.TR 34024, 2012 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp917content/uploads/2017/04/tr1y2012p34024.pdf>. (M83).
  11. S. Dimitrijević, R. Marković, M. Bugarin, J. Stevanović, B.Jugović, Lj. Avramović, S. Dragulović: Uvećano laboratorijsko postrojenje za elektrohemijska ispitivanja, T2/2012,Projekat MPN br. TR 34024 i TR 37001, 2012 – Novo eksperimentalno postrojenje, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2012p37001.pdf>. (M83).
  12. S. Dimitrijević, V. Trujć, R. Marković, S. Dragulović, O. Dimitrijević, S. Alagić, B. Trumić: Polindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakra, mesinga i srebra, br.T1/2013, Projekat MNP br. TR34024, 2013- Novo poluindustrijsko postrojenje, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2013p34024.pdf>. (M83).
  13. Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić: Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, br. T1/2013, Projekat MNP br. TR37001, 2013 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp930content/uploads/2017/04/tr1y2013p37001.pdf>. (M83).
  14. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014, <https://irmbor.co.rs/wp936content/uploads/2017/04/tr2y2014p37001.pdf>. (M83).
  15. Dr Vesna Conić, Dr Silvana Dimitrijević, Dr Dragan Milanović, dr Radmila Marković, Suzana Dragulović, Sanja Bugarinović, Ivana Jovanović, dipl.inž.rud.: IZDVAJANJE SELENA IZ PROCESNOG ELEKTROLITA ZA DOBIJANJE KATODNOG BAKRA, br.T1/2015, Projekat 940 MNP br. TR34004, 2015 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2015p34004.pdf>. (M83).
  16. Suzana Dragulović, dr.Silvana Dimitrijević, dr Biserka Trumić, dr Radmila Marković, Dragana Božić, dr Milan Gorgievski, dr Slađana Alagić: Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog

- cijanida, T1/2015, Projekat MPN br. TR 34024, 2015., <https://irmbor.co.rs/wp945content/uploads/2017/04/tr2y2015p34024.pdf>. (M83).
17. M.Petrov, R.Marković, LJ.Mladenović, S.Mihajlović, V.Jovanović, M.Vukadinović, B.Ivošević: Modifikovanje površine nemetalične mineralne komponente BFJ za proizvodnju hidrauličnog vezivnog sredstva u građevinarstvu, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 – Bitno poboljšan tehnološki postupak. (M84).
18. M.Petrov, R.Marković, LJ.Mladenović, B.Ivošević: Tehnološki postupak prerade mehanohemijski aktiviranog pirita borske flotacijske jalovine, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 - Bitno poboljšan tehnološki postupak. (M84).
19. R. Jonović, Lj. Avramović, R. Marković, Z. Stevanović, M.Gvozdenović, J Stevanović, Lj. Obradović: Razaranje sulfida iz vanbilansnih materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra, Projekat MNTR br. TR 37001, 2013 – Bitno poboljšana tehnologija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2012p37001.pdf>. (M84).
20. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, LJ.Avramović, R.Jonović, Z.Stevanović, LJ.Obradović: Novi softver za određivanje ekstrakcione konstante i konstante dimerizacije metodom najmanjih kvadrata iz eksperimentalnih podataka za ekstrakciju bakra sa LIX ekstragensima, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 – Novi softver. (M85).
21. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, LJ.Avramović, R.Jonović, LJ.Obradović, Z.Stevanović: Novi softver za simulaciju ekstrakcije bakra iz kiselih sulfatnih rastvora hidrohioksimima, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 – Novi softver. (M84).

#### **Др Емина Пожега, дипл.инг.мет.:**

1. A.Kostov, A.Milosavljević, R.Todorović, D.Živković, L.Gomidželović, E.Požega, Ljubinka Todorović, Napredni shape memory CuZnAl materijal za multifunkcionalnu primenu, tehničko rešenje – novi materijal, Projekti MPN br. TR34005 i ON172037, 2011. (M82) <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2011p34005.pdf>
2. Z. Stanojević-Šimšić, A. Kostov, A. Milosavljević, Emina Požega, Legure sistema Cu0.5Ag0.5Al kao novi materijali koji pamte oblik, tehničko rešenje, Projekat TR34005 (2018). (M82) <https://irmbor.co.rs/o-nama/tehnicka-resenja-patenti/>
3. E.Požega, S.Ivanov, L.Gomidželović, A.Kostov, A.Milosavljević, M.Jovanović, Program za modeliranje procesa boriranja, Projekat MPN br. TR34005 (M85) <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/m85y2013p34005.pdf>
4. Suzana Dragulović, Danijela Simonović, Branka Pešovski, Vesna Conić, Zdenka Stanojević Šimšić, Emina Požega, Vesna Krstić, Dobijanje olovo (II) oksida iz čvrstog ostatka dobijenog bioluženjem polimetaličnih sulfidnih koncentrata, Projekat MPN br. TR34004 (2011-2018). Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije (M85)

#### **Вања Трифуновић, дипл.инг.техн.**

1. S. Dimitrijević, R. Marković, Lj. Avramović, M. Bugarin, A. Ivanović, V. Trifunović, Tehničko i razvojno rešenje - Elektrolitičko dobijanje cinka iz otpadne prašine elektrolučne peći, 02.02.2022.<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2022/10/Tehnicko-resenje-M85-Elektroliticko-dobijanje-cinka-iz-otpadne-prasine-elektrolucne-peci.pdf> (M85)

## ЗАХВАЛНОСТ

Техничко решење – (M82) резултат је финансијски подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, Уговор о реализацији и финансирању научноистраживачког рада Института за рударство и металургију Бор у 2024. години, евиденциони број 451-03-66/2024-03/ 200052.

## РЕФЕРЕНЦЕ

- [1]. Yong-xing ZHENG, Jin-fang LV, Wei LIU, Wen-qing QIN, Shu-ming WEN, An innovative technology for recovery of zinc, lead and silver from zinc leaching residue, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 52(2), 2016, 943–954.
- [2]. Yayun Wang, Huifen Yang, Weihao Zhang, Ronglong Song, Bo Jiang, Study on recovery of lead, zinc, iron from jarosite residues and simultaneous sulfur fixation by direct reduction, *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 54(2), 2018, 517-526.
- [3]. V. Milićević, Lj. Arsić, J. Premović, Z. Milićević, S. Vidosavljević, N. Đokić, Nove tehnologije i inovacije: put do cirkularne ekonomije, *Ecologica* 100 (2020), 675-682.
- [4]. D. Stanojević, L Filipović-Petrović, Doprinos integrisanoj valorizaciji metala u hidrometalurgiji cinka, *Zaštita materijala*, 55 (2014) broj 1.
- [5]. D. Stanojević, M. Todorović: Valorisation of useful metals from by-products of hydrometallurgical manufacturing of zinc, 1st International Conference of Chemical Societies of the South-East European Countries: “Chemical Sciences and Industry”, Solun, Greece, 1.-4. Jun, 1998., Vol II, PO 729.
- [6]. D. Stanojevic, M.B. Rajkovic and D. Toskovic, Extraction of useful metals from lead-silver cake in the process of hydrometallurgical zinc production by leaching in calcium-chloride solution, *Buletin of Electrochemistry, Karaikudi (India)*, 22 ,(2006), 337-341.
- [7]. B. Ilić, K. Sovtić, D. Mihajlović, Ekonomska i ekološka održivost Srbije – uslov podizanja kvaliteta života i zaštite životne sredine, *Ecologica* 94 (2019), 193-198.
- [8]. <https://patents.google.com/patent/US9174846B2/en>

## СПИСАК ПРИЛОГА:

1. Прилог 1. Резултати LP i TCLP теста
2. Прилог 2. Резултати карактеризације отпадних вода према стандарду за испуштање у реципијент.
3. Валидан доказ о примени техничког решења
4. Рад у часопису “Minerals” категорије M22
5. Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-„Metal recovery,, д.о.о. Београд
6. Уговор и Анекс уговора о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније Зорка Шабац-„Metal recovery,, д.о.о. Београд
7. Рачун “Metal Recovery d.o.o. Beograd”
8. Извод банке