

Универзитет у Београду
Институт за рударство и металургију Бор
Председнику Научног већа
Датум: 17.06.2025. године

Поштовани,

На основу Вашег захтева број 896/25 и 897/25/24 од 28.04.2025. године за потврду категорија техничких решења под називом:

1. **„Развој нове технологије третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум- фери-фосфатних батерија (ЛФБ)“** аутори Љиљана Аврамовић, Драгана Божић, Вања Трифуновић, Емина Пожега, Весна Марјановић, Зоран Аврамовић и Јелена Стефановић из 2025. године.
2. **„Развој нове технологије третмана рафината у циљу добијања ди-калцијум-фосфата“** аутори Драгана Божић, Љиљана Аврамовић, Вања Трифуновић, Зоран Стефановић, Емина Пожега, Весна Марјановић и Зоран Аврамовић из 2025. године.

Обавештавам Вас следеће

Након прибављених мишљења о наведеним техничким решењима, чланови МНО за материјале и хемијске технологије су их, на седници одржаној 17.06.2025. године разматрали и сачинили предлог да техничка решења под називом:

1. **„Развој нове технологије третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум- фери-фосфатних батерија (ЛФБ)“** аутори Љиљана Аврамовић, Драгана Божић, Вања Трифуновић, Емина Пожега, Весна Марјановић, Зоран Аврамовић и Јелена Стефановић из 2025. 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.**
2. **„Развој нове технологије третмана рафината у циљу добијања ди-калцијум-фосфата“** аутори Драгана Божић, Љиљана Аврамовић, Вања Трифуновић, Зоран Стефановић, Емина Пожега, Весна Марјановић и Зоран Аврамовић из 2025. 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 ТРЕТМАНА ФИЛТЕР
КОЛАЧА НАСТАЛОГ У ПРОЦЕСУ РЕЦИКЛАЖЕ
ИСТРОШЕНИХ ЛИТИЈУМ-ФЕРО-ФОСФАТНИХ
БАТЕРИЈА (ЛФБ)``**

Април, 2025.

САДРЖАЈ

1.	ИМЕ И ПРЕЗИМЕ АУТОРА РЕШЕЊА	2
2.	НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	2
3.	КЉУЧНЕ РЕЧИ	2
4.	ЗА КОГА ЈЕ РЕШЕЊЕ РАЂЕНО (ПРАВНО ЛИЦЕ ИЛИ ГРАНА ПРИВРЕДЕ).....	2
5.	ГОДИНА КАДА ЈЕ РЕШЕЊЕ КОМПЛЕТИРАНО	2
6.	ГОДИНА КАДА ЈЕ ПОЧЕЛО ДА СЕ ПРИМЕЊУЈЕ И ОД КОГА.....	2
7.	ОБЛАСТ И НАУЧНА ДИСЦИПЛИНА НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ.....	2
8.	ПРОБЛЕМ КОЈИ СЕ ТЕХНИЧКИМ РЕШЕЊЕМ РЕШАВА	3
8.1.	Технолошки процес производње литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ).....	3
8.2.	Рециклажа и третман филтер колача насталог у процесу обраде LiFePO_4 батерија	4
9.	СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ ПРОБЛЕМА У СВЕТУ	4
10.	ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	5
10.1.	Увод	5
10.2.	Карактеризација полазног узорка	6
10.3.	Физичко-хемијска карактеризација	6
10.4.	Минералозна карактеризација.....	7
10.5.	Експериментална лабораторијска испитивања селективног издвајања литијума из филтер колача насталог у процесу рециклаже ЛФБ.....	8
10.5.1.	Лужење водом	9
10.5.2.	Двостепено лужење литијума	9
10.5.3.	Киселинско лужење литијума из филтер колача	10
10.5.3.1.	Утицај врсте лужног реагенса	10
10.5.3.2.	Утицај потрошње реагенса на процес лужења литијума на рН 1,2	12
10.5.3.3.	Утицај додатка оксиданса ($30\% \text{H}_2\text{O}_2$) на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином	13
10.5.3.4.	Утицај температуре на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином	14
10.5.3.5.	Утицај времена на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином.....	16
10.6.	Верификација дефинисаних параметара	17
10.7.	Карактеризација формираних међупродукта насталих након процеса киселинског лужења литијума.....	18
11.	ЗАКЉУЧАК.....	21
12.	ЛИСТА РАНИЈЕ ПРИХВАЋЕНИХ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА ЗА СВАКОГ ОД АУТОРА ПОЈЕДИНАЧНО	22
13.	РЕФЕРЕНЦЕ	26
14.	СПИСАК ПРИЛОГА:	26
14.1.	Валидан доказ о примени техничког решења.....	27
14.2.	Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и Elixir Prahovo d.o.o. Prahovo.....	29
14.3.	Рачун ``Elixir Prahovo d.o.o. Prahovo``	33
14.4.	Извод банке	34

1. ИМЕ И ПРЕЗИМЕ АУТОРА РЕШЕЊА

- 1.1. Др Љиљана Аврамовић, дипл.инж.технол.
- 1.2. Др Драгана Божић, дипл.инж.металург.
- 1.3. Вања Трифуновић, маст.инж.технол.
- 1.4. Др Емина Пожега, дипл.инж.металург.
- 1.5. Др Весна Марјановић, дипл.инж.руд.
- 1.6. Др Зоран Аврамовић, дипл.инж.технол.
- 1.7. Јелена Стефановић, дипл.инж.грађ.

2. НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

РАЗВОЈ НОВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ТРЕТМАНА ФИЛТЕР КОЛАЧА НАСТАЛОГ У ПРОЦЕСУ РЕЦИКЛАЖЕ ИСТРОШЕНИХ ЛИТИЈУМ-ФЕРО-ФОСФАТНИХ БАТЕРИЈА (ЛФБ)

3. КЉУЧНЕ РЕЧИ

Технологија, рециклажа, рафинат, литијум-феро-фосфат, батерије

4. ЗА КОГА ЈЕ РЕШЕЊЕ РАЂЕНО (ПРАВНО ЛИЦЕ ИЛИ ГРАНА ПРИВРЕДЕ)

ELIXIR PRAHOVO d.o.o. Prahovo.

Браће Југовића 2, 19330 Прахово, Србија

Матични број:07309783

ПИБ: 100777129

5. ГОДИНА КАДА ЈЕ РЕШЕЊЕ КОМПЛЕТИРАНО

2025. 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 2025. године у компанији **ELIXIR PRAHOVO d.o.o. Prahovo.**

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

8.1. Технолошки процес производње литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ)

Са глобалним помаком ка декарбонизацији енергетике и електрификацији транспорта, потреба за ефикасним, безбедним и дуготрајним системима складиштења енергије постаје један од кључних технолошких приоритета 21. века [1]. У том контексту, **литијум-јонске батерије**, а нарочито **литијум-феро-фосфатне (LiFePO_4) батерије**, издвајају се као технолошки избор будућности због својих изузетних својстава: високе термичке стабилности, дугог радног века, високог степена безбедности и еколошке прихватљивости [2].

LiFePO_4 батерије имају релативно нижу енергетску густину у односу на батерије засноване на другим катодним хемијама, али нуде знатно већу стабилност у погледу циклуса пуњења/пражњења и отпорност на термалне неравнотеже, што их чини погодним за примену у електричним аутомобилима, стационарним батеријским системима и индустријским уређајима. Процес производње ових батерија захтева прецизну контролу хемијског састава, структуре и морфологије материјала, као и строгу контролу услова у свим фазама технолошког ланца. Свако одступање у условима синтезе или монтаже може негативно утицати на перформансе батерије, њен век трајања или безбедност у експлоатацији [3].

Процес производње литијум-феро-фосфатних (LiFePO_4) батерија представља комплексну и прецизно координисану технолошку целину која обухвата више фаза, почев од синтезе активних материјала па све до финалног тестирања батеријских ћелија. Свака од ових фаза има директан утицај на квалитет, безбедност и радне карактеристике финалног производа [4]. Производња започиње синтезом катодног активног материјала, LiFePO_4 , који се обично добија методом чврсте фазе реакцијом литијум-карбоната или литијум-хидроксида, гвожђе-сулфата и амонијум-фосфата у присуству угљеничних адитива. Ове компоненте се у тачно одређеном стехиометријском односу прво хомогенизују, а затим подвргавају термичкој обради — прво на нижим температурама ради уклањања влаге и органских нечистоћа, а потом на температури од 600 до 750°C у атмосфери инертног гаса, где се врши калцинација и формирање кристалне структуре катодног материјала. Након хлађења, добијени материјал се уситњава у фини прах погодан за израду електрода [5].

Паралелно са овим процесом врши се и припрема анодног материјала, при чему се као основа користи високоочишћени графит. Графит се подвргава поступцима сферонизације и површинске обраде како би се побољшале његове електрохемијске особине и омогућило стабилно формирање заштитног SEI слоја током првих циклуса рада батерије. Следи припрема електродних паста, где се активни материјали мешају са проводљивим адитивима и полимерним везивима у одговарајућем растварачу [6]. Катодна паста се наноси на алуминијумску струјну колекторску фолију, док се анодна паста наноси на бакарну фолију. Након сушења премаза у контролисаним условима, врши се каландрирање, односно пресовање електрода ради постизања жељене дебљине и густине. Обрађене електроде се потом секу на одговарајуће димензије и припремају за монтажу.

Монтажа батеријске ћелије подразумева прецизно слагање или намотавање аноде, сепаратора и катоде, након чега се уноси електролит који садржи литијум-соли (најчешће LiPF_6) растворене у мешавини органских растварача као што су етилен карбонат и диметил карбонат. Састављене ћелије се затварају у херметичко кућиште у контролисаним условима, често у сувим коморама са контролом релативне влажности. Након затварања, ћелије пролазе кроз фазу формирања, током које се по први пут пуне и празне у контролисаним условима. Ова фаза је од кључне важности јер се тиме формира стабилан интерфејс на анодној површини и проверава исправност електрохемијских параметара. На крају процеса, ћелије се подвргавају низу тестова који укључују мерење капацитета, унутрашњег отпора, стабилности при

различитим температурама и струјама, као и испитивање термичке и електричне сигурности [7]. Контрола квалитета је интегрисана у све фазе производње и укључује како хемијску анализу сировина, тако и визуелну и електрохемијску инспекцију готових компоненти и ћелија. Коначни производ - LiFePO_4 батерија - испуњава високе стандарде у погледу безбедности, трајности и перформанси, што је чини погодном за широку примену у аутомобилској, енергетској и електроничкој индустрији.

8.2. Рециклажа и третман филтер колача насталог у процесу обраде LiFePO_4 батерија

У контексту одрживе производње и циркуларне економије, рециклажа истрошених литијум-феро-фосфатних батерија добија све већи значај. За разлику од других врста литијум-јонских батерија, LiFePO_4 ћелије не садрже скупе и токсичне метале попут кобалта или никла, али и даље представљају вредан секундарни ресурс због садржаја литијума, фосфора и гвожђа. Њихова ефикасна обрада не само да смањује утицај на животну средину, већ доприноси и смањењу потребе за примарним рударством.

Рециклажа обично почиње механичким раздвајањем компоненти батерије, што обухвата декомпозицију кућишта, сепарацију електрода и уклањање електролита. Електроде се најчешће третирају поступцима лужења, чиме се добија раствор богат металним јонима. Након екстракције активних метала, чврсти преципитати се одвајају филтрацијом - при чему настаје **филтер колач**, получврста маса која представља мешавину нерастворљивих остатака, везива, угљеничних материјала и остатака електролита. Третман филтер колача представља посебан еколошки и технолошки изазов, јер он може садржати остатке органских материја, флуорида и потенцијално опасних једињења. Стога се овај отпад не сме одлагати без претходног третмана који укључује процесе стабилизације и неутрализације.

Уобичајен поступак третмана започиње сушењем филтер колача у вакуумским или конвенционалним сушарама, након чега се врши хемијска анализа ради идентификације садржаја опасних супстанци. Уколико се установи присуство органских растварача или флуоридних једињења, филтер колач се подвргава термичкој обради (инсинерацији или пиролизи) у контролисаним условима, чиме се обезбеђује уништење органских компоненти и смањење запремине. Након термичке обраде, неоргански остаци се могу додатно прерађивати. На пример, фосфатни и гвожђе-оксидациони садржаји могу се користити као сировина за производњу секундарних феритних материјала или фосфатних ђубрива, уколико се задовоље хемијски стандарди чистоће. У неким случајевима, третирани филтер колач се инкапсулира у цементну матрицу ради безбедног одлагања, посебно ако садржи стабилне, али непожељне компоненте. Уколико се примењују напреднији методи попут **хидротермалне синтезе**, **биолужења** или **јонске селективне екстракције**, могуће је значајно смањити количину преосталог отпада и повећати искористивост секундарних сировина. У том случају, улога третмана филтер колача се смањује, али остаје кључна као завршна фаза процеса. Поред техничких аспеката, третман филтер колача мора бити усклађен са важећим прописима о управљању опасним и неопасним отпадом, укључујући мониторинг токсичних елемената, праћење емисија током термичке обраде и правилно евидентирање свих поступака.

9. СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ ПРОБЛЕМА У СВЕТУ

Проблем третмана отпада који настаје током рециклаже литијум-феро-фосфатних батерија, укључујући и филтер колаче, препознат је као важно питање у земљама које имају развијену индустрију електричних возила и батеријских система. Иако LiFePO_4 батерије не садрже токсичне метале као што су кобалт или никл, третман отпадних токова — посебно неорганских

преципитата и органских остатака — представља изазов са становишта заштите животне средине.

У Кини, која је глобални лидер у производњи и употреби LiFePO_4 батерија, примењује се индустријски интегрисани модел у коме су производња батерија, употреба и рециклажа обједињени у затворен ланац. Водеће компаније као што су „CATL” и „GEM Co.” користе методе хидрометалургије, при чему се генерисани филтер колачи термички третирају и потом користе у производњи материјала за цемент или ђубрива. Државна политика подстиче „нулти отпад”, па су развијени стандардизовани протоколи за третман свих нуспроизвода, укључујући и анализу остатака тешких метала.

У Европској унији, регулатива као што је **EU Battery Regulation (2023/1542)** поставља обавезу рециклаже батерија и извештавања о нивоу искоришћености литијума, кобалта и других материјала. Филтер колачи који настају током процеса третмана батерија третирају се као „посебни индустријски отпад” и морају се хемијски анализирати пре коначног одлагања или поновне употребе. Неки истраживачки центри и компаније у Немачкој, Холандији и Француској развијају технологије **селективне сорпције и ре-кристализације**, чиме се омогућава издвајање фосфора и гвожђа из филтер колача уз минималне губитке.

У Сједињеним Америчким Државама, агенција **EPA (Environmental Protection Agency)** строго регулише управљање батеријским отпадом. Компаније попут „Redwood Materials” и „Li-Cycle” примењују затворене процеса где се већи део секундарних сировина враћа у производни ток. Филтер колачи се или рециклирају у склопу хемијске обраде или се користе као секундарна сировина у металургији. Амерички модел истиче значај **локалне обраде отпада**, чиме се смањује трошак транспорта и утицај на животну средину.

У светским оквирима, решавање питања третмана филтер колача се све више оријентише ка индустријској симбиози, где се отпад једне индустрије користи као сировина друге. Тако, на пример, филтер колачи настали након третмана, а богати фосфатима могу се користити у производњи минералних ђубрива или грађевинских материјала, под условом да не садрже токсичне примесе. Паралелно, многи међународни пројекти подржани од стране УН-а, ЕУ или Светске банке финансирају развој рециклажног отпада који обухватају и аутоматски третман отпадних токова, укључујући филтрационе остатке.

Иако не постоји универзално решење применљиво на све контексте, водеће праксе у Свету указују на неколико заједничких елемената: потребу за регулаторним стандардима, развојем зелених технологија за третман отпада, интеграцију рециклаже у сам дизајн батерија (design for recycling), као и изградњу инфраструктуре за контролисано управљање нуспроизводима.

10. ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

10.1. Увод

У овом Техничком решењу приказана су експериментална лабораторијска испитивања третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ), која су предмет Уговора број 500/24 од 07.03.2024. год. закљученог између Института за рударство и металургију Бор и Елихир Прахово доо Прахово.

Предмет испитивања је филтер колач настао у процесу рециклаже истрошених литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ) достављен од стране компаније Елихир Прахово у количини од 3 kg за лабораторијска испитивања процеса селективног издвајања присутног литијума.

Техничко решење садржи систематизовани преглед технолошких испитивања процеса третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених ЛФБ у лабораторијским условима у складу са предвиђеним планом испитивања дефинисаним у Уговору. На основу добијених резултата у оквиру овог Техничког решења, формиран је предлог поступка за

процес селективног издвајања литијума. Такође, урађена је детаљна карактеризација формираних међупродуката - чврстог остатка и лужног раствора насталих у фази киселинског лужења литијума.

Обзиром на сложеност поступка који је неопходан за третман филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених ЛФБ, урађено је више серија експерименталних испитивања на лабораторијском нивоу у циљу дефинисања утицаја свих кључних параметара на процес селективног лужења литијума.

Сва експериментална технолошка испитивања су урађена у Институту за рударство и металургију (ИРМ) Бор у оквиру Центра за развојне технологије у металургији. Комплетна хемијска и минералозна испитивања продуката и међупродуката формираних у току технолошких испитивања урађена су такође у ИРМ-у у Центру за лабораторије – Лабораторија за хемијска испитивања ХТК.

10.2. Карактеризација полазног узорка

Карактеризација полазног узорка - филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ) који је достављен од стране компаније Елихир Прахово у количини од 3 kg, обухвата физичко-хемијску и минералозку карактеризацију. Репрезентативни узорак филтер колача приказан је на Слици 10.2.1.



Слика 10.2.1. Репрезентативни узорак филтер колача

Узорак рафината чија је хемијска карактеризација приказана у Табели 10.3.1. коришћен је за сва експериментална испитивања процеса неутрализације рафината приказаних у наставку Техничког решења.

10.3. Физичко-хемијска карактеризација

Из репрезентативног узорка филтер колача одрађена је физичко-хемијска карактеризација. Физичка карактеризација укључује следеће:

- вредност рН: 1,75
- густина: 2,46 g/cm³
- влага у узорку: 31,67%.

На основу урађене физичке карактеризације узорка може се закључити следеће:

- Вредност рН 1,75 указује да је филтер колач настао након третмана неким киселинским поступком у току процеса рециклаже истрошених ЛФБ и да након тога није извршено његово потпуно испирање од заостале киселине.
- Присутна влага у узорку указује да је узорак филтер колача достављен директно након процеса филтрирања (највероватније на филтер-преси) и да није додатно сушен након завршеног процеса рециклаже.

Хемијски састав репрезентативног узорка је одређен након сушења у сушници на 85°C у времену од 24 h, и приказан је у Табели 10.3.1.

Табела 10.3.1. Хемијски састав репрезентативног узорка филтер колача

Елемент	Јединица	Садржај
P	%	13,04
Fe	%	20,49
Al	%	2,03
C	%	19,68
S	%	1,7
Li	ppm	7731,50
Ca	ppm	172,50
Pb	ppm	43,70
As	ppm	<10,00
Ni	ppm	1248,50
Cd	ppm	48,60
Mg	ppm	86,65
Na	ppm	1330,00
K	ppm	209,00
Co	ppm	438,00
Mn	ppm	1756,00
V	ppm	171,00
Cu	ppm	6600,00
Cr	ppm	105,00
Ag	ppm	13,30
Zn	ppm	700,00
Cl ⁻	ppm	478,00

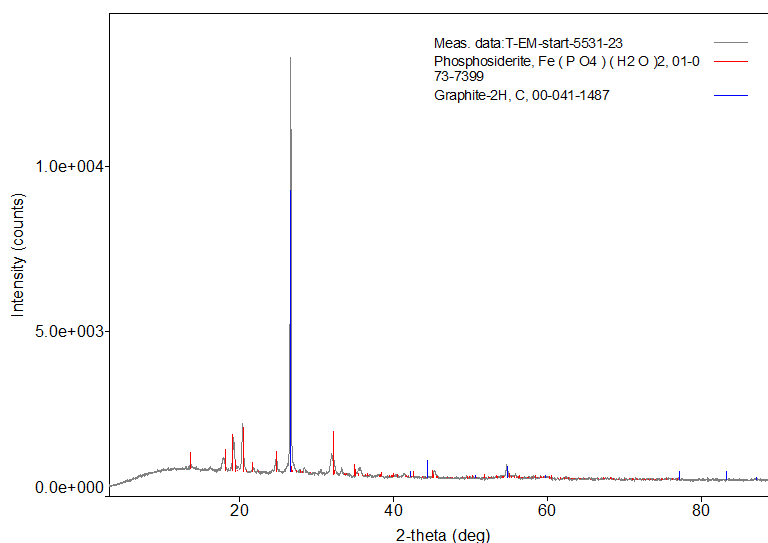
На основу урађене хемијске карактеризације репрезентативног узорка филтер колача може се закључити следеће:

- Макро компоненте у полазном узорку филтер колача су: Fe, C, P и Al.
- Обзиром да садржај Li у ЛФБ батеријама пре рециклаже износи око 4%, а да је садржај Li у анализираном филтер колачу насталом након рециклаже 0,77% Li, то указује да је степен издвајања Li у току примењеног процеса рециклаже износио око 80%.

10.4. Минералозна карактеризација

Минералозна карактеризација репрезентативног узорка филтер колача укључује XRD анализу, као и семиквантитативну рендгенско-дифракциону анализу.

Дифрактограм узорка филтер колача приказан је на Слици 10.4.1. У узорку су идентификовани минерали фосфосидерит ($\text{FePO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) и графит (C).



Слика 10.4.1. Дифрактограм репрезентативног узорка филтер колача

У Табели 10.4.1. приказани су резултати семиквантитативне рендгенско-дифракционе анализе (РДА).

Табела 10.4.1. Семиквантитативна РДА анализа репрезентативног узорка филтер колача

Р.бр.	Назив минерала	Хемијска формула	Процена садржаја минерала у узорку (%)
1.	Фосфосидерит	$\text{FePO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	80
2.	Графит	C	20

Процена садржаја минерала фосфодерита и графита у почетном узорку (Табела 10.4.1.) добијена након урађене семиквантитативне РДА анализе је у потпуности усаглашена са резултатима хемијске анализе за садржај Fe и C, приказане у Табели 10.3.1.

10.5. Експериментална лабораторијска испитивања селективног издвајања литијума из филтер колача насталог у процесу рециклаже ЛФБ

Експериментална лабораторијска испитивања су урађена у циљу дефинисања оптималних технолошких параметара поступка третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ) у складу са захтевима дефинисаним у предметном Уговору, у циљу селективног издвајања присутног литијума.

Урађено је више серија експеримената на лабораторијском нивоу у циљу дефинисања утицаја свих кључних параметара на процес селективног лужења литијума која су обухватила следеће процесе лужења:

- Лужење водом и
- Киселинско лужење

У свим експериментима за испитивања су коришћени узорци филтер колача у тежини од 50 g.

10.5.1. Лужење водом

Експериментална испитивања лужења филтер колача водом имала су за циљ издвајање водорастворних компонената из полазног узорка.

Испитиван је утицај температуре на процес лужења филтер колача водом при односу чврсто:течно = 1:15 и времену лужења од 1h.

Параметри процеса за експериментална испитивања су дати у Табели 10.5.1.1.

Табела 10.5.1.1. Параметри процеса лужења водом

Ознака експеримента	Реагенс за лужење	Ч:Т	Време (min)	Температура (°C)	pH	
					старт	крај
ЕМ-HV	H ₂ O	1:15	60	Амбијентална	2,23	2,34
ЕМ-TV	H ₂ O	1:15	60	90	1,45	1,52

У Табели 10.5.1.2. приказан је постигнути степен излужења примеса у зависности од температуре лужења.

Табела 10.5.1.2. Утицај температуре на степен излужења праћених елемената

Ознака експеримента	Температура (°C)	Степен излужења (%)									
		P	Al	Fe	Li	Ni	Mn	Cu	Na	K	Mg
ЕМ-HV	Амбијентална	0,005	2,77	0,74	35,5	54,74	83,44	66,6	5,95	21,98	88,11
ЕМ-TV	90	0,008	2,99	0,42	34,83	54,81	66,65	51,52	6,35	22,76	87,28

На основу постигнутих степена излужења примеса приказаних у Табели 10.5.1.2., може се закључити да је постигнуто значајно излужење следећих елемената: Mn, Ni, Mg и Cu преко 50%, Li око 35 % и K око 22%. Упоредним прегледом постигнутих степена излужења праћених елемената у процесу лужења на амбијенталној температури и грејањем на 90°C утврђено је да температура нема утицаја, односно добијени су слични резултати за степен излужења у експериментима са и без грејања раствора.

10.5.2. Двостепено лужење литијума

Урађен је комбиновани поступак који укључује двостепени процес лужења филтер колача где се у првом степену лужење одвија водом, а у другом допунском степену примењено је киселинско лужење са 0,4 М раствором сумпорне киселине.

У Табели 10.5.2.1. дати су параметри процеса лужења водом при односу чврсто:течно = 1:4 и времену лужења од 10 мин., док је киселински процес лужења урађен при односу чврсто:течно = 1:16 и времену лужења од 120 мин.

Табела 10.5.2.1. Параметри процеса двостепеног лужења

Ознака експеримента	Фаза	Реагенс за лужење	Ч:Т	Време (min)	Температура (°C)	pH	
						старт	крај
2.1.	I степен	H ₂ O	1:4	10	Амбијентална	1,84	1,88
2.2.	II степен	0,4 М H ₂ SO ₄	1:16	120	60		0,63

У Табели 10.5.2.2. приказан је постигнути степен излужења елемената посебно у I степену – лужење водом и II степену – лужење киселином као и степен излужења за збирни – двостепени процес лужења филтер колача.

Табела 10.5.2.2. Степени излужења праћених елемената у процесу двостепеног лужења

Ознака експеримента	Фаза	Степен излужења (%)												
		P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
2.1.	I степен	0,01	3,25	0,92	53,11	112,0	58,33	96,59	46,51	5,90	77,57	5,52	21,00	2,23
2.2.	II степен	3,87	9,59	2,81	8,42	2,67	3,60	2,26	98,55	10,23	2,86	2,22	4,64	2,80
2.1.+2.2.	I + II степен	3,88	12,84	3,73	61,53	114,67	61,93	98,85	145,0	16,13	80,43	7,74	25,64	5,03

Обзиром да је физичка карактеризација полазног узорка показала да филтер колач има кисели карактер, јер његова рН вредност износи 1,75, може се констатовати да процес лужења водом такође представља у основи киселинско лужење јер је при додатку воде измерена вредност рН од 1,84 и незнатно виша на крају процеса лужења, рН 1,88.

У овом случају двостепеног лужења можемо констатовати да имамо комбинацију два степена киселинског лужења: I степен - са слабијом и II степен – са јачом киселином.

Наставак експерименталних испитивања био је усмерен на једностепени процес киселинског лужења.

10.5.3. Киселинско лужење литијума из филтер колача

Експериментала испитивања киселинског процеса лужења филтер колача насталог у процесу рециклаже ЛФБ имала су за циљ дефинисање оптималних параметара поступка и укључила су следећа испитивања:

- Утицај врсте лужног реагенса,
- Утицај потрошње лужног реагенса,
- Утицај додатка оксиданса на ефикасност процеса лужења,
- Утицај температуре на ефикасност процеса лужења и
- Утицај времена на ефикасност процеса лужења

У наставку Техничког решења дат је систематизован преглед добијених резултата утицаја наведених кључних параметара на степен излужења анализираних елемената, у првом реду на селективност у погледу лужења литијума.

10.5.3.1. Утицај врсте лужног реагенса

На основу детаљног литературног прегледа, сачињен је одабир најчешће примењиваних киселих реагенаса који су показали најбоље резултате у погледу селективног лужења литијума.

Експериментална испитивања су изведена применом следећих реагенаса:

- Сумпорна киселина (H_2SO_4),
- Лимунска киселина ($C_6H_8O_7$),
- Оксална киселина ($H_2C_2O_4 \times 2H_2O$) и
- Хлороводонична киселина (HCl)

За одвијање процеса лужења коришћењем наведених реагенса, примењени су најоптималнији параметри процеса који су дефинисани на основу литературних података.

У овој серији експерименталних испитивања примењени су параметри процеса дати у Табели 10.5.3.1.1. (у складу са литературним подацима).

Табела 10.5.3.1.1. Параметри процеса испитивања утицаја врсте реагенса

Ознака експеримента	Врста реагенса за лужење	Концентрација реагенса за лужење (M)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура (°C)	Додатак оксиданса H ₂ O ₂ (ml)	pH	
							старт	крај
1	Сумпорна киселина	0,4	1:8	120	60	50	-	0,84
3	Лимунска киселина	0,3	1:8	120	амбијентална	50	1,91	1,20
4	Оксална киселина	0,3	1:8	120	80	50	0,86	0,30
5	Хлороводонична киселина	3,0	1:20	90	80	-	-	-

У Табели 10.5.3.1.2. приказан је постигнути степен излужења праћених елемената применом испитиваних лужних реагенса.

Табела 10.5.3.1.2. Степени излужења у зависности од утицаја врсте реагенса

Врста реагенса	Степени излужења (%)												
	P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
Сумпорна киселина	1,67	6,26	2,49	46,11	105,75	49,0	78,63	78,37	15,32	-	-	-	-
Лимунска киселина	7,7	4,13	9,67	54,12	109,86	49,20	90,36	66,10	21,54	15,08	7,11	21,94	4,42
Оксална киселина	16,43	14,62	14,87	59,71	112,99	52,04	94,35	54,57	19,35	8,61	8,32	25,58	8,96
Хлороводонична киселина	22,17	37,07	18,70	77,75	109,95	69,74	82,35	62,28	88,17	74,07	10,96	33,31	25,33

Анализом добијених резултата приказаних у Табели 10.5.3.1.2. може се констатовати следеће:

- Највећи степен излужења литијума постигнут је применом оксалне и хлороводоничне киселине, али је истовремено постигнуто и значајно излужење фосфора, алуминијума и гвожђа.
- Најбоља селективност у погледу излужења литијума је постигнута применом лимунске и сумпорне киселине.
- Степен излужења осталих праћених елемената у свим испитивањима је сличан и не зависи од врсте реагенса за лужење.

У циљу избора најефикаснијег лужног реагенса урађена су додатна испитивања у циљу дефинисања потрошње реагенса.

10.5.3.2. Утицај потрошње реагенса на процес лужења литијума на рН 1,2

У процесу лужења литијума из филтер колача, испитиван је утицај потрошње реагенса на степен излужења литијума при задатој почетној рН вредности суспензије од рН 1,2. Испитивања су вршена употребом следећих реагенаса:

- Сумпорна киселина (H_2SO_4),
- Лимунска киселина ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) и
- Оксална киселина ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$)

Експериментална испитивања утицаја потрошње реагенаса на степен излужења литијума одрађена су при параметрима датим у Табели 10.5.3.2.1. Примењени су идентични параметри процеса лужења за сва три лужна реагенса: чврсто:течно = 1:8, време лужења 2 h, температура 60°C уз додатак оксиданса од 50 ml и вредности рН 1,2 на старту.

Табела 10.5.3.2.1. Параметри процеса испитивања потрошње реагенаса за подешавање рН вредности суспензије на рН 1,2 на старту

Ознака експеримента	Врста реагенса за лужење	Концентрација реагенса за лужење	Додатак реагенса за лужење (ml)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура ($^\circ\text{C}$)	Додатак оксиданса H_2O_2 (ml)	рН	
								Старт	Крај
5.1	Сумпорна киселина	0,005 M	0,3 ml 96% H_2SO_4	1:8	120	60	50	1,22	1,20
5.2	Лимунска киселина	0,13 M	17,8 g	1:8	120	60	50	1,21	1,42
5.3	Оксална киселина	0,013 M	21,5 ml 0,3M оксалне	1:8	120	60	50	1,22	1,65

У Табели 10.5.3.2.2. приказан је постигнути степен излужења елемената у зависности од потрошње испитиваних лужних реагенаса за подешавање вредности рН 1,2 на старту.

Табела 10.5.3.2.2. Степен излужења у зависности од утицаја потрошње реагенаса на процес лужења при почетној вредности рН 1,2

Ознака експ.	Врста реагенса	Степен излужења (%)												
		P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
5.1	Сумпорна киселина	0,01	3,06	0,50	50,54	84,92	55,50	87,56	75,88	17,05	69,14	7,02	21,77	3,57
5.2	Лимунска киселина	10,3	5,26	11,84	50,26	109,63	51,80	86,40	51,84	11,35	19,06	7,28	22,94	5,81
5.3	Оксална киселина	0,01	3,00	0,48	47,27	112,16	55,96	88,96	63,11	6,46	67,52	6,93	21,09	2,86

Упоредним прегледом постигнутих степена излужења првенствено литијума, као и осталих праћених елемената, применом различитих лужних реагенаса, може се констатовати да је лужењем са раствором сумпорне киселине постигнут највиши степен излужења литијума, а истовремено најнижи степен излужења присутних макро елемената: фосфора, алуминијума и гвожђа.

Такође, поред високог степена селективности у погледу лужења литијума, додатна предност примене сумпорне киселине као лужног реагенса је њена ниска потрошња за подешавање рН вредности суспензије на вредност рН 1,2, у односу на лимунску и оксалну киселину. Наставак испитивања био је усмерен на дефинисање оптималних кључних параметара у процесу лужења филтер колача применом раствора сумпорне киселине као лужног реагенса. На ефикасност процеса селективног лужења литијума испитани су: утицај додатка оксиданса, утицај температуре и утицај времена лужења.

10.5.3.3. Утицај додатка оксиданса (30% H_2O_2) на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином

Експериментална лабораторијска испитивања утицаја додатка оксиданса вршена су применом раствора 0,005 М сумпорне киселине као реагенса за лужење 50 g репрезентативног узорка филтер колача уз додатак оксиданса, 30% водоник пероксида, у следећим запреминама:

- Без додатка оксиданса
- Уз додатак 25 ml 30% H_2O_2 ,
- Уз додатак 50 ml 30% H_2O_2 и
- Уз додатак 100 ml 30% H_2O_2

Експериментална испитивања утицаја додатка оксиданса на ефикасност процеса лужења урађена су при параметрима датим у Табели 10.5.3.3.1. Примењени су идентични параметри процеса лужења за сва четири експеримента: чврсто:течно = 1:8, време лужења 2 h, температура 60°C и приближне вредности рН 1,2 на старту.

Табела 10.5.3.3.1. Параметри процеса испитивања утицаја додатка оксиданса на ефикасност процеса лужења

Ознака експеримента	Лужни реагенс	Додатак 96% H_2SO_4 (ml)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура (°C)	Додатак оксиданса H_2O_2 (ml)	рН	
							Старт	Крај
6.1	0,005 М H_2SO_4	0,3	1:8	120	60	0	1,22	1,23
6.2	0,005 М H_2SO_4	0,3	1:8	120	60	25	1,18	1,27
5.1	0,005 М H_2SO_4	0,3	1:8	120	60	50	1,22	1,20
6.3	0,005 М H_2SO_4	0,3	1:8	120	60	100	1,19	1,27

У Табели 10.5.3.3.2. приказани су постигнути степени излужења праћених елемената у зависности од додатка оксиданса, 30% H_2O_2 .

Табела 10.5.3.3.2. Резултати испитивања утицаја додатка оксиданса

Ознака експеримента	Степен излужења (%)												
	P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
6.1	0,014	3,36	0,54	49,57	118,56	54,62	94,83	83,2	8,22	74,31	6,32	22,9	3,96
6.2	0,010	3,52	0,63	54,69	129,56	59,57	103,36	53,82	9,16	79,42	7,10	27,94	2,65
5.1	0,010	3,06	0,50	50,54	84,92	55,50	87,56	75,88	17,05	69,14	7,02	21,77	3,57
6.3	0,015	3,59	0,63	55,47	129,36	60,42	103,89	54,05	8,86	80,02	8,28	26,05	2,97

На основу добијених резултата, може се закључити да је највиши степен излужења литијума од 54,69% постигнут при додатку оксиданса у запремини од 25 ml. Из тог разлога, за даља испитивања процеса лужења филтер колача вршено је додавање 30% H_2O_2 као оксиданса у запремини од 25 ml, и оксиданс је додаван у 400 ml реагенса за лужење (раствор сумпорне киселине у концентрацији од 0,005 M).

10.5.3.4. Утицај температуре на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином

Експериментална испитивања утицаја температуре на ефикасност процеса лужења вршена су уз употребу сумпорне киселине као реагенса за лужење. Лужни раствор је најпре загрејан на задату температуру, извршено је шаржирање узорка филтер колача, а затим је задата температура суспензије одржавана до краја процеса лужења, односно 2h. Испитиване температуре су биле следеће:

- Без грејања, амбијентална (23°C)
- Грејањем раствора на 40°C
- Грејањем раствора на 60°C
- Грејањем раствора на 80°C

Експериментална испитивања утицаја температуре на процес лужења узорка филтерског колача раствором сумпорне киселине одрађена су при параметрима датим у Табели 10.5.3.4.1. Примењени су исти параметри процеса лужења за сва четири експеримента: чврсто:течно = 1:8, време лужења 2h, температура 60°C, уз додатак оксиданса од 25 ml и приближне вредности pH 1,2 на старту.

Табела 10.5.3.4.1. Параметри процеса у зависности од утицаја температуре на ефикасност процеса лужења

Ознака експеримента	Лужни реагенс	Додатак 96% H_2SO_4 (ml)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура (°C)	Додатак оксиданса H_2O_2 (ml)	pH	
							Старт	Крај
7.1	Сумпорна киселина	1,8	1:8	120	23 (амбијентална)	25	1,19	1,06
7.2	Сумпорна киселина	1,2	1:8	120	40	25	1,88	1,13
6.2	Сумпорна киселина	0,3	1:8	120	60	25	1,18	1,27
7.3	Сумпорна киселина	0,1	1:8	120	80	25	1,16	1,16

На Слици 10.5.3.4.1. приказан је један од експеримената процеса лужења на повишеној температури.



Слика 10.5.3.4.1. Лабораторијски експеримент процеса лужења на повишеној температури

У Табели 10.5.3.4.2. приказани су постигнуте степени излужења литијума и других праћених елемената у зависности од температуре процеса лужења уз употребу раствора сумпорне киселине као лужног реагенса.

Табела 10.5.3.4.2. Степени излужења у зависности од утицаја температуре процеса

Ознака експеримента	Степен излужења (%)												
	P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
7.1	0,086	3,24	1,36	60,20	127,29	56,49	99,08	152,89	9,75	74,43	7,54	24,49	2,68
7.2	0,043	3,21	1,19	58,20	125,04	56,04	96,40	130,44	10,15	71,99	7,62	25,34	2,88
6.2	0,010	3,52	0,63	54,69	129,56	59,57	103,36	53,82	9,16	79,42	7,10	27,94	2,65
7.3	0,004	3,27	0,29	51,99	130,53	56,63	102,08	270,53	8,04	75,29	8,08	26,66	1,86

Упоредним прегледом постигнутих степена излужења првенствено литијума, као и осталих анализираних елемената, може се констатовати да је лужењем са раствором сумпорне киселине без грејања, на амбијенталној температури, постигнут највиши степен излужења литијума од 60%, а истовремено низак степен излужења присутних макро елемената: фосфора, алуминијума и гвожђа.

Наставак испитивања је имао за циљ дефинисање оптималног времена лужења филтер колача уз употребу раствора сумпорне киселине као реагенса за лужење, на амбијенталној температури.

10.5.3.5. Утицај времена на ефикасност процеса лужења са сумпорном киселином

Испитивања су вршена употребом раствора сумпорне киселине као реагенса за лужење, и испитиван је утицај следећих времена процеса лужења:

- Време лужења: 0,5 h,
- Време лужења: 1 h,
- Време лужења: 2 h и
- Време лужења: 3 h

Експериментална испитивања утицаја времена урађена су при параметрима датим у Табели 10.5.3.5.1. За сва експериментална испитивања примењени су исти параметри процеса лужења за сва четири експеримента: чврсто:течно = 1:8, температура амбијентална, уз додатак оксиданса од 25 ml и вредности pH 1,2 на старту.

Табела 10.5.3.5.1. Параметри процеса у зависности од утицаја времена

Ознака експеримента	Лужни реагенс	Додатак 96% H ₂ SO ₄ за корекцију pH (ml)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура (°C)	Додатак оксиданса H ₂ O ₂ (ml)	pH	
							Старт	Крај
8.1	Сумпорна киселина	1,7	1:8	30	амбијентална	25	1,21	1,21
8.2	Сумпорна киселина	1,8	1:8	60	амбијентална	25	1,22	1,22
8.3	Сумпорна киселина	1,6	1:8	120	амбијентална	25	1,23	1,24
8.4	Сумпорна киселина	1,4	1:8	180	амбијентална	25	1,21	1,26

У Табели 10.5.3.5.2. приказани су добијени степен излужења литијума и осталих праћених елемената у зависности од времена процеса лужења применом раствора сумпорне киселине као лужног реагенса на амбијенталној температури, без додатног грејања суспензије.

Табела 10.5.3.5.2. Степени излужења у зависности од утицаја времена

Ознака експеримента	Степен излужења (%)											
	P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Pb	Cu	Na	K	Cr
8.1	0,088	3,08	1,27	44,38	112,06	54,83	87,50	7,64	70,06	7,86	25,13	2,80
8.2	0,081	3,25	1,25	50,11	113,79	56,00	88,30	7,95	70,26	8,01	25,69	2,67
8.3	0,082	3,32	1,29	49,68	115,49	57,51	87,36	8,67	70,34	8,15	26,63	2,73
8.4	0,083	3,29	1,28	47,40	114,11	57,54	87,62	8,62	70,59	8,17	31,84	2,86

Анализом постигнутог степена излужења првенствено литијума, као и осталих анализираних елемената, приказаних у Табели 10.5.3.5.1., применом различитог времена процеса лужења, може се констатовати да је лужењем са раствором сумпорне киселине без грејања, у времену од 60 min и 120 min постигнут највећи степен излужења литијума од око 50%, а истовремено постигнута је и висока селективност у погледу лужења литијума јер је степен излужења присутних макро елемената: фосфора, алуминијума и гвожђа веома низак.

10.6. Верификација дефинисаних параметара

У циљу верификације дефинисаних параметара процеса селективног лужења литијума применом раствора сумпорне киселине као реагенса за лужење, урађена су два опита лужења под оптималним условима датим у Табели 10.6.1.

Примењени су следећи дефинисани оптимални параметри процеса лужења 50 g узорка филтер колача:

- Лужни реагенс: сумпорно-кисели раствор (0,015 M H_2SO_4)
- Чврсто:течно = 1:8
- Време лужења: 2h
- Температура: амбијентална
- Оксиданс: 25 ml 30% H_2O_2
- Вредности pH: 1,0 - 1,2 на старту
- Испирање чврстог остатка: врућа вода (око 60°C) у односу чврсто:течно = 1:6

Табела 10.6.1. Оптимални параметри процеса селективног лужења литијума

Ознака експеримента	Лужни реагенс	Концентрација реагенса за лужење	Додатак 96% H_2SO_4 за корекцију pH (ml)	Ч:Т	Време (мин.)	Температура (°C)	Додатак оксиданса H_2O_2 (ml)	pH	
								старт	крај
7.1	Сумпорна киселина	0,013M H_2SO_4	1,8	1:8	120	амбијентална	25	1,19	1,06
9.1	Сумпорна киселина	0,016M H_2SO_4	2,2	1:8	120	амбијентална	25	1,00	0,95

На Слици 10.6.1. приказани су експерименти процеса лужења под оптималним параметрима.



Слика 10.6.1. Експерименти процеса лужења под оптималним параметрима

У Табели 10.6.2. дати су степени излужења литијума и осталих анализираних елемената применом оптималних параметара процеса киселинског лужења.

Табела 10.6.2. Степени излужења у процесу киселинског лужења уз примену оптималних параметара

Ознака експеримента	Степен излужења (%)												
	P	Al	Fe	Li	Cd	Ni	Mn	Ca	Pb	Cu	Na	K	Cr
7.1	0,086	3,24	1,36	60,20	127,29	56,49	99,08	152,89	9,75	74,43	7,54	24,49	2,68
9.1	0,122	3,37	1,44	56,85	121,88	58,44	91,03	43,94	18,75	72,89	7,62	30,03	2,99

Анализом постигнутих резултата процеса киселинског лужења филтер колача под оптималним параметрима, приказаних у Табели 10.6.2. може се констатовати да је постигнут висок степен у погледу селективног излужења литијума у односу на степен излужења фосфора, алуминијума и гвожђа, а истовремено постигнут је и задовољавајући степен излужења литијума који износи 57-60%.

Анализом степена излужења осталих анализираних елемената може се закључити да је у свим опитима присутно потпуно излужење Cd, Mn и Ca. Обзиром да њихов садржај у полазном узорку филтер колача износи: 48 ppm Cd, 1756 ppm Mn и 172 ppm Ca, евидентиране концентрације у раствору након лужења су: око 4 ppm Cd, око 100 ppm Mn и око 30 ppm Ca.

10.7. Карактеризација формираног међупродукта насталих након процеса киселинског лужења литијума

Након процеса киселинског лужења литијума из филтер колача насталог у процесу рециклаже ЛФБ настају два међупродукта:

- Сумпорно-кисели лужни раствор
- Чврсти остатак након лужења

Извршена је хемијска карактеризација лужног раствора након лужења, као и хемијска и минералозна анализа формираног чврстог остатка.

У Табели 10.7.1. дата је хемијска карактеризација сумпорно-киселог лужног раствора након лужења који је спојен са испирним водама.

Табела 10.7.1. Хемијски састав лужног раствора насталог киселинском лужењем филтер колача

Елемент	Јединица	Концентрација
P	mg/L	7,60
Fe	mg/L	188,00
Al	mg/L	44,50
Li	mg/L	314,00
Ca	mg/L	29,39
Pb	mg/L	0,29
Ni	mg/L	45,80
Cd	mg/L	4,18
Na	mg/L	6,83
K	mg/L	3,31
Mn	mg/L	117,82
Cu	mg/L	331,92
Cr	mg/L	0,19

Сумпорно-кисели раствор након лужења под оптималним параметрима приказани је на Слици 10.7.1.



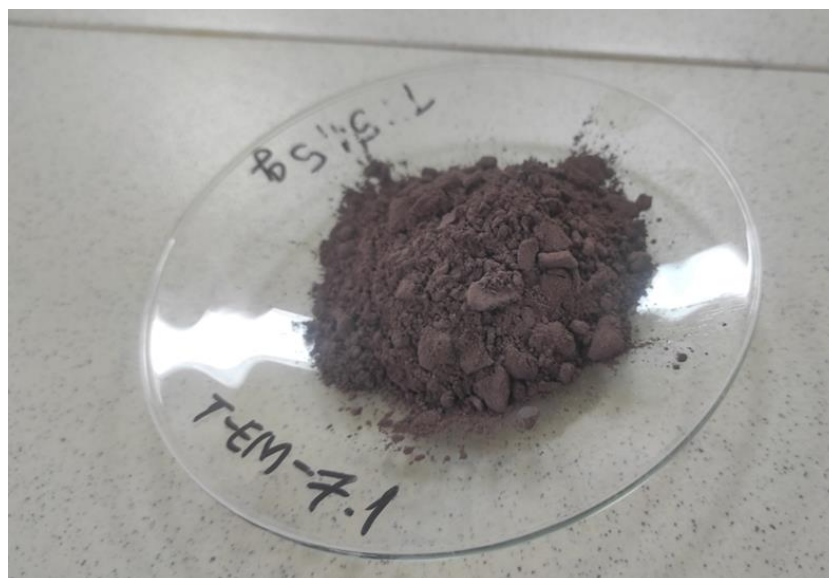
Слика 10.7.1. Лужни раствор настао након лужења филтер колача при оптималним параметрима

У Табели 10.7.2. дата је хемијска карактеризација чврстог остатка формираног након процеса лужења филтер колача. У свим експериментима је евидентирана редукција масе од 10% у односу на масу почетног узорка пре лужења.

Табела 10.7.2. Хемијски састав чврстог остатка формираног након киселинског лужења *Li* из филтер колача

Елемент	Јединица	Концентрација
P	%	15,47
P ₂ O ₅	%	35,43
Fe	%	21,00
Al	%	2,18
Cu	%	0,25
C	%	20,55
Li	ppm	4213
Ca	ppm	436,50
Pb	ppm	34,40
Ni	ppm	798,00
Cd	ppm	15,55
Na	ppm	113,00
K	ppm	146,00
Mn	ppm	206,00
Cr	ppm	106,00

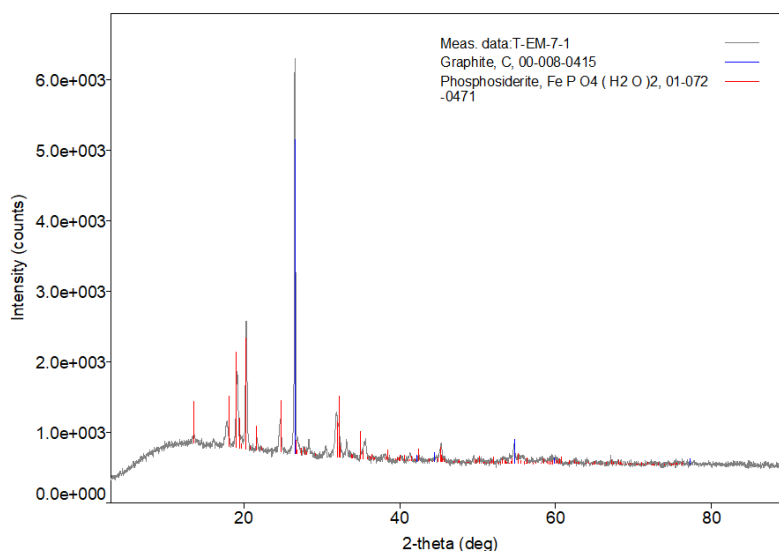
Узорак чврстог остатка приказан је на Слици 10.7.2.



Слика 10.7.2. Узорак чврстог остатка настао након лужења под оптималним параметрима процеса

Одрађена је минералошка карактеризација формираног чврстог остатка која укључује ХРД анализу и семиквантитативну рендгенско-дифракциону анализу.

Дифрактограм узорка чврстог остатка приказан је на Слици 10.7.3., а резултати семиквантитативне рендгенско-дифракционе анализе приказани су у Табели 10.7.3.



Слика 10.7.3. Дифрактограм узорка чврстог остатка после лужења

Табела 10.7.3. Семиквантитативна рендгенско-дифракциона анализа

Редни број	Назив минерала	Хемијска формула	Процена садржаја минерала (%)
1.	Графит	C	20
2.	Фосфосидерит	FePO ₄ ·2H ₂ O	80

На основу урађене минералошке анализе можемо закључити да је она у потпуности у сагласности са минералошком анализом почетног узорка филтер колача која је приказана на

Слици 10.4.1. Такође, процена садржаја минерала у узорку чврстог остатка формираног након киселинског лужења, је идентичан са садржајем минерала (фосфосидерит и графит) који је идентификован у почетном узорку и приказан у Табели 10.4.1.

Чврсти остатак настао у процесу киселинског лужења представља полазни материјал за даљи третман у циљу издвајања присутних макро компонената, у првом реду фосфора, који је заступљен у минералу фосфосидериту.

11. ЗАКЉУЧАК

На основу извршених експерименталних лабораторијских испитивања третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже ЛФБ и добијених резултата, дефинисани су оптимални услови процеса селективног лужења литијума:

- Реагенс: раствор 0,015 M H_2SO_4
- рН вредност суспензије на старту: рН 1,0-1,2
- Амбијетална температура
- Оксиданс: 30% H_2O_2
- Однос чврсто:течно = 1:8
- Време процеса: 2h
- Испирање чврстог остатка врућом водом у односу чврсто:течно = 1:6

Под оптималним условима постигнут степен излужења литијума износи 57- 60%.

Посебна предност предложеног поступка за третман филтер колача у циљу селективног издвајања литијума састоји се у следећем:

- Висока селективност литијума у односу на степен излужења фосфора, алуминијума и гвожђа
- Процес лужења се одвија на собној температури, без грејања
- Мали утрошак сумпорне киселине: 5L 96% H_2SO_4 /1 m³ H_2O
- За лужење 1t филтер колача (рачунато на сув) потребно је 8 m³ H_2O и 40 L H_2SO_4 (96%)
- Потрошња оксиданса износи: 62,5 L 30 % H_2O_2 /1 m³ H_2O

Формирани чврсти остатак у процесу киселинског лужења литијума из филтер колача има идентичан минералошки састав и идентичну процену садржаја минерала као и почетни узорак филтер колача и представља полазни материјал за даљи третман разградње присутног минерала фосфосидерита у циљу издвајања гвожђа и фосфора.

12. ЛИСТА РАНИЈЕ ПРИХВАЋЕНИХ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА ЗА СВАКОГ ОД АУТОРА ПОЈЕДИНАЧНО

Др Љиљана Аврамовић, дипл.инж.технол.

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 dijamantata 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. Vesna Conić, Dragana Božić, Ljiljana Avramović, Dejan Bugarin, Ivana Jovanović, Miloš Janošević, Željko Kamberović, Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki obojena metalurgija Šabac, Metalrecovery d.o.o. u cilju valorizacije indijuma. TR za 2024. godinu, kategorije M82, verifikovano od strane MNO za materijale i hemijske tehnologije na sednici od 25.04.2024. godine.
5. Dragana Božić, Vesna Conić, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Emina Požega, Vanja Trifunović, Razvoj nove tehnologije dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija TR za 2024. godinu, kategorije M82, verifikovano od strane MNO za materijale i hemijske tehnologije na sednici od 26.09.2024. godine.
6. R.Jonović, Lj.Avramović, S.Magdalinić, D.Milanović, Tehnološki postupak dobijanja volframtroksida iz koncentrata šelita poreklom iz polimetalične 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)
7. 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)
8. 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)
9. 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)
10. 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)
11. 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)
12. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdenović: 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)

13. Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, mr Radmila Marković, mr Zoran Stevanović, dr Milica Gvozdenović, 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)

14. 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)

15. 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)

16. 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)

17. 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 Драгана Божић, дипл.инж.металург.:

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 „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/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 (K₄ P₂ O₇) in crystalline form“, 2018., TR 34004. (M82).

4. Vesna Conić, Dragana Božić, Ljiljana Avramović, Dejan Bugarin, Ivana Jovanović, Miloš Janošević, Željko Kamberović, Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarožita u Zorki obojena metalurgija Šabac, Metalrecovery d.o.o. u cilju valorizacije indijuma. TR za 2024. godinu, kategorije M82, verifikovano od strane MNO za materijale i hemijske tehnologije na sednici od 25.04.2024. godine.(M82).

5. Dragana Božić, Vesna Conić, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Emina Požega, Vanja Trifunović, Razvoj nove tehnologije dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija TR za 2024. godinu, kategorije M82, verifikovano od strane MNO za materijale i hemijske tehnologije na sednici od 26.09.2024. godine.(M82).
6. 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)
7. Dragana Božić, Suzana Dragulović, Vesna Conić, Mile Bugarin, Ljiljana Avramović, Zdenka Stanojević Šimšić, Danijela Simonović, Добијање бакар (II) хлорида (CuCl_2) у кристалном облику, техничко решење, (2019). (M85).

Вања Трифуновић, маг.инж.технол.

1. Dragana Božić, Vesna Conić, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Emina Požega, Vanja Trifunović, Razvoj nove tehnologije dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija TR za 2024. godinu, kategorije M82, verifikovano od strane MNO za materijale i hemijske tehnologije na sednici od 26.09.2024. godine.
2. 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)

Др Емина Пожега, дипл.инж.металург.:

1. Dragana Božić, Vesna Conić, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Emina Požega, Vanja Trifunović, Razvoj nove tehnologije dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija. M82 - Novo tehničko rešenje (metoda) primenjeno na nacionalnom nivou, rezultat je finansijski podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-66/2024-03/200052, i kompanija Zorka Šabac – „Metal recovery“ D.O.O. Beograd, Republika Srbija. Усвојено на седници МНО за материјале и хемијске технологије 26.09.2024.
2. 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>
3. Z. Stanojević-Šimšić, A. Kostov, A. Milosavljević, Emina Požega, Legure sistema $\text{Cu}_0.5\text{Ag}_0.5\text{Al}$ kao novi materijali koji pamte oblik, tehničko rešenje, Projekat TR34005 (2018). (M82) <https://irmbor.co.rs/o-nama/tehnicka-resenja-patenti/>
4. 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>
5. 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 energetske efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije (M85)

Др Весна Марјановић, дипл.инж.руд.

1. dr Aleksandra Ivanović, dipl.inž.metalurg. (IRM Bor), dr Biserka Trumić, dipl.inž.metalurg. (IRM Bor), dr Vesna Krstić, dipl.fiz.hem. (IRM Bor), dr Svetlana Ivanov, (Tehnički fakultet u Boru), dr Saša Marjanović, (Tehnički fakultet u Boru), dr Silvana Dimitrijević, dipl.inž.metalurg. (IRM Bor),

Vesna Marjanović, dipl.inž.rud. (IRM Bor), Poboljšanje mehaničkih svojstava legure sastava PdNi5 optimizacijom termomehaničkog režima prerade, 2014., (M82), Projekat MNTR br. TR 34029

<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2014p34029.pdf>

2. Dr Daniela Urošević, Dr Ivana Jovanović, Dr Vesna Conić, Dr Dragan Milanović, Ivan Svrkota, Dr Vesna Marjanović, Dr Nikola Stanić, Tehničko rešenje, Novo tehničko rešenje procesa mlevenja i klasiranja u rudniku bakra i zlata Čukaru peki, 25.09.2024., A new technical solution for the grinding and grading process in the copper and gold mine Čukaru Peki (M82),

<https://unilib.phaidrabg.rs/open/o:6048>

3. Dragan Milanović, Srđana Magdalinović, B. Čađenović, Bojan Drobnjaković, Miroslav Ignjatović, Vesna Marjanović, Smilja Jakovljević: Izmenjeni tehnološki postupak usitnjavanja topioničke šljake za potrebe flotacijske koncentracije bakra postupkom granuliranja, Izmenjeni tehnološki postupak usitnjavanja topioničke šljake za potrebe flotacijske koncentracije bakra postupkom granuliranja, 2011. (M83), Projekat MNTR br. TR 33023,

<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2011p33023.pdf>

4. D. Milanović, D. Urošević, B. Drobnjaković, S. Magdalinović, B. Čađenović, S. Stanković, V. Marjanović: Povećanje kapaciteta prerade u sistemu drobljenja i prosejavanja rude u rudniku bakra „V. Krivelj“ na 10,6 miliona tona godišnje uz smanjenje GGK na 16 mm, 2012., (M83), Projekat MNTR br. TR 33023

<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2012p33023.pdf>

5. dr Dragan Milanović, dipl. inž. rud. (IRM Bor), mr Bojan Drobnjaković, dipl. inž. maš. (IRM Bor), dr Zoran Marković, dipl. inž. rud. (TF Bor), dr Dragiša Stanujkić dipl. inž. maš. (Megatrend Zaječar), mr Daniela Urošević, dipl. inž. rud. (IRM Bor), Srđana Magdalinović, dipl.inž.rud. (IRM Bor), mr Ivana Jovanović dipl. inž. rud. (IRM Bor), Vesna Marjanović, dipl. inž. rud. (IRM Bor): Tehničko rešenje za povećanje iskorišćenja bakra u sistemu prerade topioničke šljake u delu mlevenja i klasiranja, autori:, 2015. (M83) Projekat MNTR br. TR 33023,

<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2015p33023.pdf>

6. Bojan Drobnjaković, Dragan Milanović, Zoran Marković, Dragiša Stanujkić mr Daniela Urošević, Srđana Magdalinović, Zoran Štirbanović, Vesna Marjanović: Tehničko rešenje za povećanje kapaciteta drobljenja rude i otklanjanje nedostataka u sistemu transporta rude sa površinskog kopa Južni revir, transportni sistem TS-2, 2015. (M83), Projekat MNTR br. TR 33023,

<https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2015p33023.pdf>

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 2025. години, евиденциони број : 451-03-136/2025-03/ 200052.

13. РЕФЕРЕНЦЕ

1. Padhi, A. K., Nanjundaswamy, K. S., & Goodenough, J. B. (1997). *Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries*. Journal of the Electrochemical Society, 144(4), 1188–1194. <https://doi.org/10.1149/1.1837571>
2. Yamada, A., Chung, S. C., & Hinokuma, K. (2001). *Optimized LiFePO_4 for lithium battery cathodes*. Journal of the Electrochemical Society, 148(3), A224–A229. <https://doi.org/10.1149/1.1348257>
3. Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). *Li-ion battery materials: Present and future*. Materials Today, 18(5), 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.10.040>
4. Zaghib, K., Dontigny, M., Guerfi, A., Charest, P., Rodrigues, I., & Mauger, A. (2013). *Safe and fast-charging Li-ion battery with long shelf life for power applications*. Journal of Power Sources, 219, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.11.066>
5. Xu, K., Electrolytes and interphases in Li-ion batteries and beyond. Chemical Reviews, 114(23), 11503–11618 (2014).
6. Scrosati, B., Garche, J., Lithium batteries: Status, prospects and future. Journal of Power Sources, 195(9), 2419–2430 (2010).
7. Linden, D., & Reddy, T. B., Handbook of Batteries (3rd ed.). McGraw-Hill (2002).

14. СПИСАК ПРИЛОГА:

1. Валидан доказ о примени техничког решења
2. Уговор о пословно-техничкој сарадњи између Института за рударство и металургију Бор и компаније ``Elixir Prahovo d.o.o. Prahovo``
3. Рачун ``Elixir Prahovo d.o.o. Prahovo``
4. Извод банке

14.1. ВАЛИДАН ДОКАЗ О ПРИМЕНИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА



Elixir Prahovo

Predmet: Dokaz o verifikaciji Tehničkog rešenja pod nazivom:

RAZVOJ NOVE TEHNOLOGIJE TRETMANA FILTER KOLAČA NASTALOG U PROCESU RECIKLAŽE ISTROŠENIH LITIJUM-FERO-FOSFATNIH BATERIJA (LFB)

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor je za potrebe **ELIXIR PRAHOVO d.o.o. Prahovo** izradio Tehničko rešenje pod nazivom:

RAZVOJ NOVE TEHNOLOGIJE TRETMANA FILTER KOLAČA NASTALOG U PROCESU RECIKLAŽE ISTROŠENIH LITIJUM-FERO-FOSFATNIH BATERIJA (LFB)

Ustanova/Autori rešenja:

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor/ dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.tehn., dr Dragana Božić, dipl.ing.met., Vanja Trifunović, dipl.ing.tehn., dr Emina Požega, dipl.ing.met., dr Vesna Marjanović, dipl.ing.rud., dr Zoran Avramović, dipl.ing.tehn., Jelena Stefanović, dipl.ing.gradj.

POTVRDA O IZVRŠENOJ USLUZI (ELIXIR PRAHOVO d.o.o. Prahovo)

U ovom Tehničkom rešenju razvijena je nova tehnologija tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB). Predmet ispitivanja je filter kolač nastao u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB) dostavljen od strane kompanije Elixir Prahovo za laboratorijska ispitivanja procesa selektivnog izdvajanja prisutnog litijuma. Tehničko rešenje sadrži sistematizovani pregled tehnoloških ispitivanja procesa tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih LFB u laboratorijskim uslovima u skladu sa predviđenim planom ispitivanja definisanim u Ugovoru broj 500/24 od 07.03.2024. god. zaključenog između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Elixir Prahovo doo Prahovo. Na osnovu dobijenih rezultata u okviru ovog Tehničkog rešenja, formiran je predlog postupka za proces selektivnog izdvajanja litijuma. Takođe, urađena je detaljna karakterizacija formiranih međuprodukta - čvrstog ostatka i lužnog rastvora nastalih u fazi kiselinskog luženja litijuma.

Na osnovu dobijenih rezultata u okviru ovog Tehničkog rešenja, formiran je predlog kombinovanog postupka za tretman filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB).

Ovim se potvrđuje da je u okviru Tehničkog rešenja razvijena nova tehnologija tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB). Rezultati eksperimenata potvrdili su predloženi tehnološki postupak. **ELIXIR PRAHOVO d.o.o. Prahovo** će nastaviti sa neophodnim aktivnostima radi stvaranja uslova za početak primene navedene tehnologije.

Elixir Prahovo DOO

Braće Jugovića 2, 19330 Prahovo, Srbija
Matični broj: 07309783 | PIB: 100777129
T: +381 19 319 5 020 | F: +381 19 319 5 013

elixirgroup.rs



U Prahovu, 24.02.2025.
PRAHOVO

ELIXIR PRAHOVO d.o.o

Zorice Popović



Elixir Prahovo DOO
Braće Jugovića 2, 19330 Prahovo, Srbija
Matični broj: 07309783 | PIB: 100777129
T: +381 19 319 5 020 | F: +381 19 319 5 013

elixirgroup.rs

14.2. УГОВОР О ПОСЛОВНО-ТЕХНИЧКОЈ САРАДЊИ ИЗМЕЂУ ИНСТИТУТА ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР И ELIXIR PRAHOVO D.O.O. PRAHOVO

4.

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Број: 500/24
07-03. 2024 год.
БОР, Зелени булевар 35

Ugovorne strane:

ELIXIR PRAHOVO DOO PRAHOVO, Braće Jugovića br. 2, 19330 Prahovo, matični broj: 07309783, PIB: 100777129, koga zastupa Ljuba Stojić u funkciji direktora (u daljem tekstu: **Naručilac**)

i

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**),

zaključile su sledeći

U G O V O R

PREDMET UGOVORA

Član 1.

Ugovorne strane su postigle saglasnost da će Izvršilac za potrebe Naručioca izraditi: **Eksperimentalnih laboratorijskih ispitivanja tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB)**, prema usvojenoj Ponudi broj 363/24 od 19.02.2024. god., koja se daje kao **Prilog 1** ovog Ugovora i čini njegov sastavni deo.

Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja imaju za cilj definisanje optimalnih tehnoloških parametara postupka tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB), u cilju selektivnog izdvajanja prisutnog litijuma, u skladu sa zahtevima Naručilaca.

Plan ispitivanja na tehnološkom uzorku rafinata je dat u ponudi br. 363/24 od 19.02.2024. god. i obuhvata sledeće faze i aktivnosti:

1. Hemijska i mineraloška karakterizacija polaznog uzoraka
2. Eksperimentalna ispitivanja tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže LFB
 - 2.1. Selektivno izdvajanje prisutnog litijuma
 - Ispitivanje vrste i koncentracije lužnog reagenasa
 - Ispitivanje uticaja temperature na efikasnost procesa luženja
 - Ispitivanje uticaja vremena na efikasnost procesa luženja
 - Ispitivanje uticaja odnosa čvrsto-tečno na efikasnost procesa luženja
 - Ispitivanje potrebne količine vode za ispiranje čvrstog ostatka nakon luženja
 - 2.2. Karakterizacija formiranih produkta nakon procesa luženja litijuma
 - Rastvor nakon luženja - hemijska karakterizacija
 - Čvrsti ostatak nakon luženja – hemijska i mineraloška karakterizacija

1

3. Izrada Izveštaja o dobijenim rezultatima procesa selektivnog izdvajanja litijuma iz filter kolača nastalog u procesu reciklaže LFB

ROK ZA REALIZACIJU ISPITIVANJA

Član 2.

Rok za realizaciju eksperimentalnih laboratorijskih ispitivanja i izradu Izveštaja je **2(dva)** meseci od dana potpisivanja Ugovora, dobijanja potrebnih podloga i uplate po dinamici saglasno članu 4., ovog Ugovora.

VREDNOST USLUGA

Član 3.

Cena za realizaciju eksperimentalnih laboratorijskih ispitivanja procesa tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB), u cilju selektivnog izdvajanja prisutnog litijuma iznosi:

11.500,00 EUR (jedanaest hiljad pet stotine eura)

Cena je iskazana u evrima (EUR), a obračun vrednosti posla i plaćanje vršiće 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.

USLOVI, NAČIN I ROKOVI PLAĆANJA

Član 4.

Za realizaciju eksperimentalnih laboratorijskih ispitivanja procesa tretmana filter kolača nastalog u procesu reciklaže istrošenih litijum-fero-fosfatnih baterija (LFB), u cilju selektivnog izdvajanja prisutnog litijuma važi sledeća dinamika isplate:

- 30% od ukupne cene iz člana 3. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku do 7 (sedam) dana od dana potpisivanja Ugovora, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- preostalih 70% od ukupne cene iz člana 3. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 10 (deset) dana od dana dostavljanja Izveštaja i njegovog prihvatanja od strane Naručioca, a prema ispostavljenoj fakturi Izvršioca

MEĐUSOBNE OBAVEZE

Član 5.

Obaveze Izvršioca:

- Da predmetna laboratorijska ispitivanja izvrši kvalitetno u skladu sa planom datim u članu 1. ovog Ugovora i u skladu sa specificiranim zahtevima Naručioca
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja

- Da dostavi Izveštaj o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja tretmana rafinata u 2 (dva) štampana primerka
- Da čuva kao strogu poslovnu tajnu sve podatke i informacije do kojih dođe tokom realizacije ovog Ugovora.
- Da nominuje odgovorno lice za komunikaciju sa Naručiocem

Obaveze Naručioca:

- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.
- Da nominuje odgovorno lice za komunikaciju sa Izvršiocem

POVERLJIVOST INFORMACIJA

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.

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.

Ugovorna 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.

PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Član 8.

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 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.

OVAJ UGOVOR POTPISUJU

ZA NARUČIOCA :


Elisir Prahovo d.o.o Prahovo
Direktor Ljuba Stojčić
*Elisir Prahovo d.o.o.
Braće Jugovića 2, 19330 Prahovo, Srbija*

ZA IZVRŠIOCA :


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

SASTAVNI DEO UGOVORA ČINI SLEDEĆI PRILOG:

- **Prilog 1** – Ponuda broj 363/24 od 19.02.2024. god.

14.3. РАЧУН "ELIXIR PRAHOVO D.O.O. PRAHOVO"



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

19210 Бор, ул. Зелени булевар 35

ПИБ: 100627146

МБ: 07130279

Тел.: 030 / 454 - 127; Моб.: 064 / 8823 - 020

Текући рачун : 160 - 42434 - 38

e-mail: tanja.mihajlovic@irmbor.co.rs

ПРЕДРАЧУН бр.

94110012

Место издавања : BOR

Датум издавања : 07.03.2024.

Датум промета :

Валута : чл.4 Уговора

Уговор бр. 500/24 од 07.03.2024.

Шифра пројекта	Назив	Пореска основица	стопа ПДВ	Износ ПДВ	Вредност са ПДВ
	Експериментална лабораторијска испитивања третмана филтер колача насталог у процесу рециклаже истрошених литијум-феро-фосфатних батерија (ЛФБ) чл. 4. Уговора: аванс 30%: 11.500,00 EUR x 30% = 3.450,00 EUR + ПДВ (117,2007- средњи курс НБС на дан 07.03.2024.)	404.342,41	20%	80.868,48	485.210,89
Укупна вредност са ПДВ		404.342,41	20%	80.868,48	485.210,89

Напомена о пореском ослобођењу:

Нема основа за пореско ослобођење

НАПОМЕНА: УПЛАТУ ИЗВРШИТЕ НА ТЕКУЋИ РАЧУН. ПРИЛИКОМ УПЛАТЕ ОБАВЕЗНО СЕ ПОЗОВИТЕ НА БРОЈ ПРЕДРАЧУНА

Фактурисао
T. Mihajlovic
Тања Михајловић



Руководилац
[Signature]
Весна Флорић, дипл. ецц.

14.4. ИЗВОД БАНКЕ

NALOG ZA PRENOS		
platilac	šifra plaćanja	valuta iznos
ELIXIR PRAHOVO DOO BRACCE JUGOVICCA 2 PRAHOVO	221	RSD 1,130,690.45
svrha plaćanja	račun platioca	
PROMET ROBE I USLUGA FINALNA POTRO [5293242643636145]	265-6210310004959-71	
primalac	model	poziv na broj (zaduženje)
INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR ALBERTA AJNŠTAJNA BR. 1 BOR		430000404503
	račun primaoca	
	160-0000000042434-38	
	model	poziv na broj (odobrenje)
		94110741-24
pečat i potpis platioca/primaoca	20.09.2024	☒ hitno
PRAHOVO 20.09.2024	datum izvršenja	
mesto i datum prijema		
Status: Uknjižen	Obrazac br. 3	000DOPR242643FNH(10840218604)