



19. КОНГРЕС ГЕОЛОГА СРБИЈЕ
ГЕОЛОГИЈОМ ДО ОДРЖИВИХ РЕШЕЊА
Борско језеро 3-6 јун 2026.

МИНЕРАЛОШКА И ГЕОХЕМИЈСКА КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ФЛОТАЦИЈСКЕ ЈАЛОВИНЕ РУДНИКА РУДНИК

Стефан Петровић*, Ненад Николић, Јовица Стојановић,
Драган Радуловић, Нина Николић, Владимир Симић



19. КОНГРЕС ГЕОЛОГА
СРБИЈЕ

ГЕОЛОГИЈОМ ДО
ОДРЖИВИХ РЕШЕЊА



Фонд за науку
Републике Србије



REASONING

Characterisation and technological procedures for recycling and reusing of the Rudnik mine flotation tailings.



ИТНМС



ИМСИ

Универзитет у Београду
Институт за мултидисциплинарна истраживања
Институт од националног значаја за Републику Србију



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ | БЕОГРАД
ИНСТИТУТ ОД НАЦИОНАЛНОГ
ЗНАЧАЈА ЗА РЕПУБЛИКУ СРБИЈУ



RUDNIK

Ово истраживање финансирао је Фонд за науку Републике Србије, ГРАНТ 7522 – REASONING и Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бр. 451-03-34/2026-03/200126, 451-03-33/2026-03/200053, 451-03-33/2026-03/200023).



Предмет истраживања



- Вишедеценијска експлоатација и флотациона прерада полиметаличне руде PbS , ZnS и $CuFeS_2$
- Јаловина представља резидуални материјал након издвојених концентрата Pb , Zn и Cu



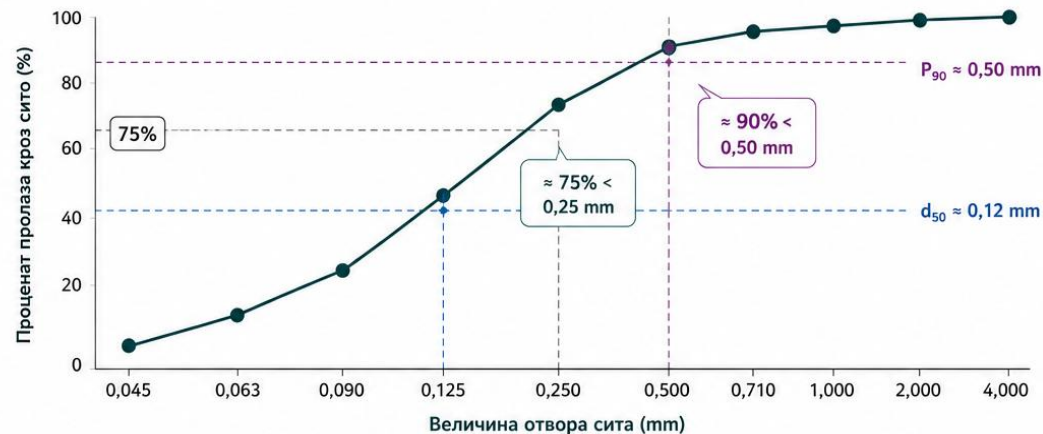


а
TC1
браон
материјал



б
TC2
сиви
материјал

100 mm

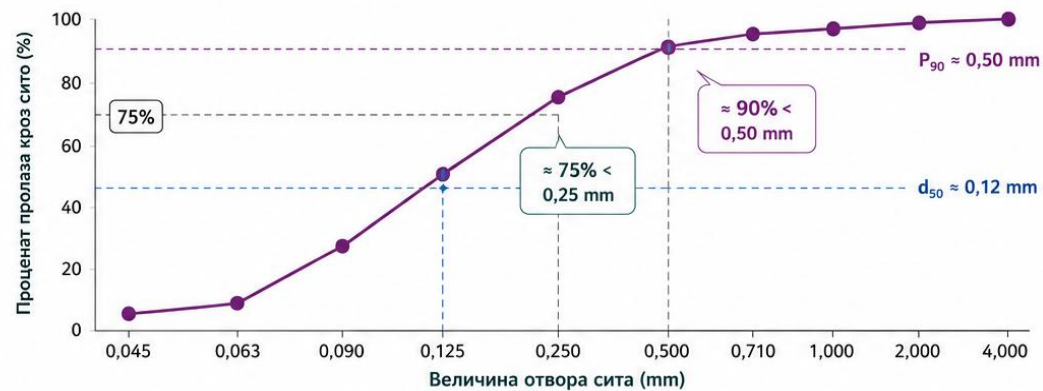


КЉУЧНИ ПАРАМЕТРИ

TC1

(браон материјал)

- $d_{50} \approx 0,12 \text{ mm}$
(медијална величина зрна)
- $P_{90} \approx 0,50 \text{ mm}$
(90% материјала је ситније)
- $\approx 75\%$ материјала $< 0,25 \text{ mm}$
- $\approx 90\%$ материјала $< 0,50 \text{ mm}$



TC2

(сиви материјал)

- $d_{50} \approx 0,12 \text{ mm}$
(медијална величина зрна)
- $P_{90} \approx 0,50 \text{ mm}$
(90% материјала је ситније)
- $\approx 75\%$ материјала $< 0,25 \text{ mm}$
- $\approx 90\%$ материјала $< 0,50 \text{ mm}$



ГРУПА	МИНЕРАЛ	ПОТВРЂЕНО МЕТОДАМА	ЗАСТУПЉЕНОСТ У УЗОРЦИМА															
			T1.1	T1.2	T1.3	T1.4	T1.5	T1.6	T1.7	T1.8	T2.9	T2.10	T2.11	T2.12	T3.13	T3.14	T3.15	T3.16
Силикати, фосфатни и карбонатни минерали	Кварц (SiO_2)	XRD, Optical, SEM-EDS, FTIR																
	Калцит (CaCO_3)	XRD, Optical, SEM-EDS, FTIR																
	Епидот ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$)	SEM-EDS																
	Гранат ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$)	SEM-EDS																
	Ортоклас (KAlSi_3O_8)	XRD, SEM-EDS, FTIR																
	Клинопироксен ($\text{Ca,Mg,FeSi}_2\text{O}_6$)	SEM-EDS																
	Апатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH,F,Cl})$)	SEM-EDS																
	Циркон (ZrSiO_4)	SEM-EDS																
	Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	XRD																
	Хлорит ($\text{Mg,Fe}_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})$)	XRD																
Сулфиди и природни елементи	Пирит (FeS_2)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Арсенопирит (FeAsS)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Пиротин (Fe_{1-x}S)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Сфалерит (ZnS)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Халкопирит (CuFeS_2)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Галенит (PbS)	XRD, Optical, SEM-EDS																
	Бисмут (природни) (Bi)	Optical, SEM-EDS																
	Сребро (природно) (Ag)	Optical, SEM-EDS																
	Бакар (природни) (Cu)	Optical, SEM-EDS																
	Хематит (Fe_2O_3)	Optical, SEM-EDS																
Оксиди и хидроксиди	Бисмит (Bi_2O_3)	Optical, SEM-EDS																
	Церусит (PbCO_3)	SEM-EDS																
	Малахит ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)	SEM-EDS																
	Гетит ($\text{FeO}(\text{OH})$)	XRD, SEM-EDS																

Степен заступљености:



велика заступљеност



умерена заступљеност



мала заступљеност



трагови



није детектовано

КОРИШЋЕНЕ МЕТОДЕ

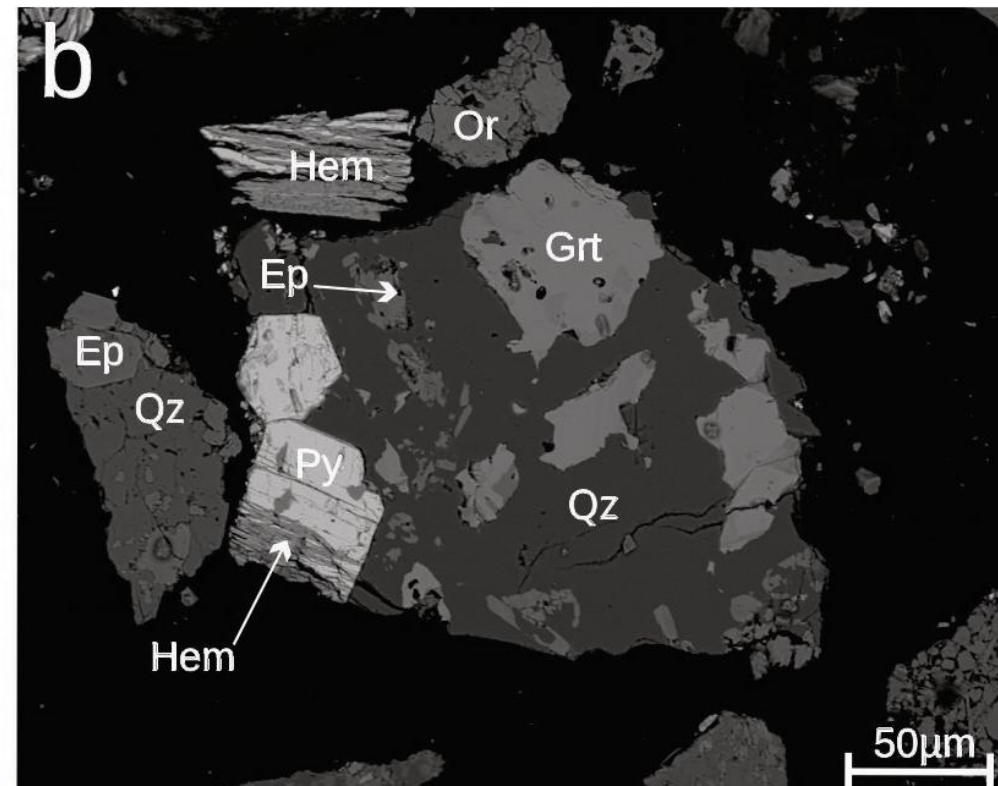
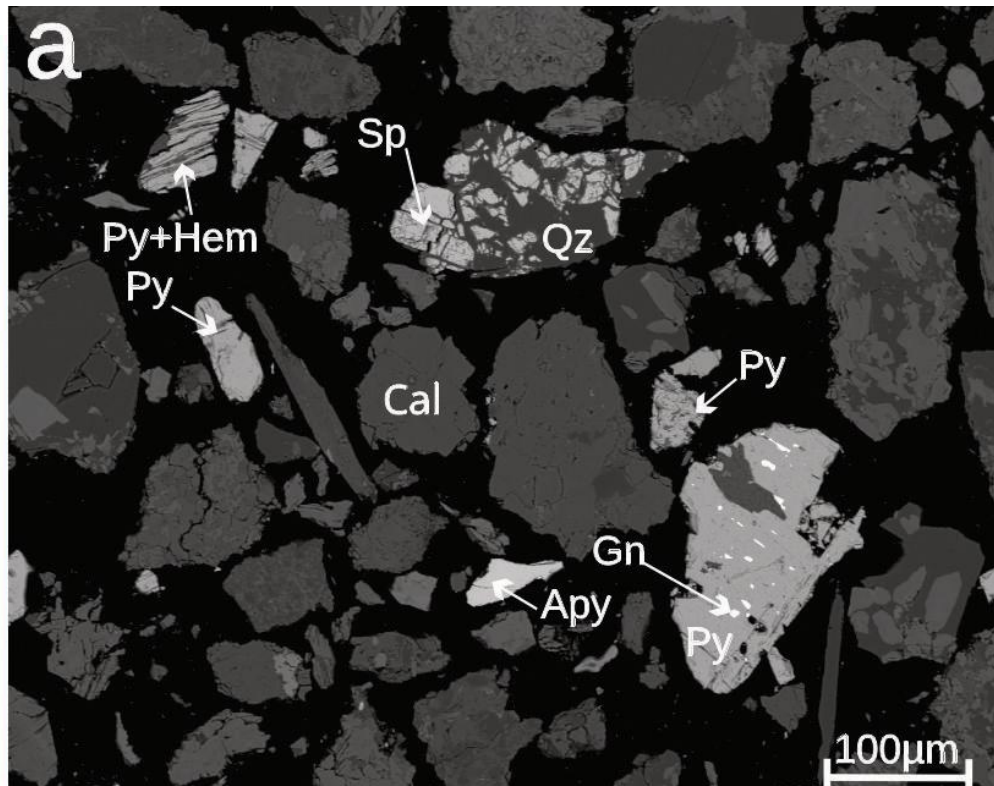
XRD – (рендгенска дифракција)

Optical – (оптичка микроскопија)

SEM-EDS – (скенирајућа електронска микроскопија са енергетски дисперзивном спектроскопијом)

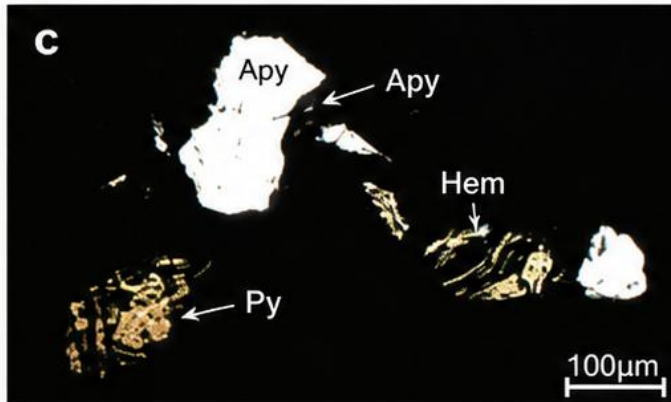
FTIR – (инфрацрвена спектроскопија са Фуријевом трансформацијом)

Доминантне фазе су кварц (SiO_2) и калцит (CaCO_3). Присутни су скарновски минерали (епидот, гранат, пироксен) и ортоклас (KAlSi_3O_8) као представник фелдспара. Примарна сулфидна минерализација (пирит, арсенопирит, пиротин, сфалерит, халкопирит, галенит) указује на присуство метала Fe, Zn, Pb и Cu у флотацијској јаловини.

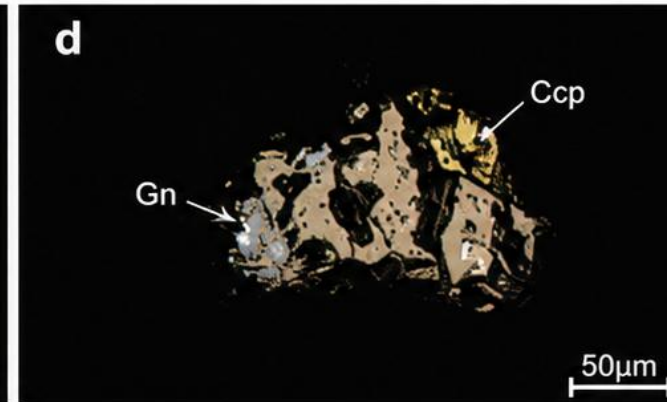


BSE снимци јаловине лежишта **Рудник**. Присутна су зрна **примарних силикатних** минерала, **сулфидних** минерала и **секундарних продуката измене**, која се јављају као појединачна зрна или сложене међусобне сраслине.

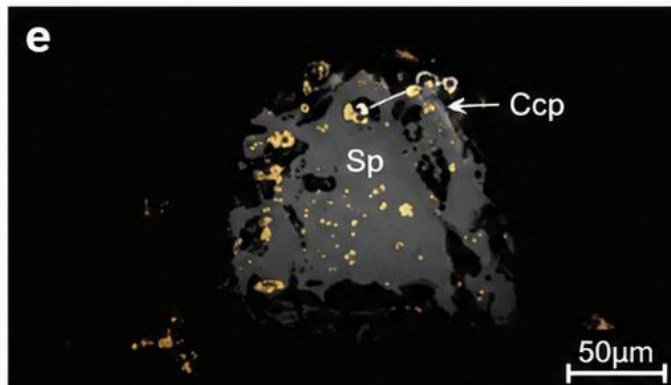
Ознаке минерала: Adr – андрадит, Ep – епидот, Py – пирит, Hem – хематит, Qz – кварц, Cal – калцит, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Apy – арсенопирит, Grt – гранат, Or – ортоклас.



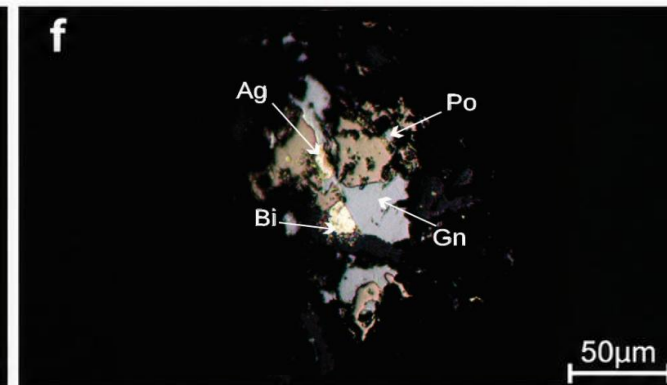
с) Пирит и арсенопирит



д) Пиротин, халкопирит и галенит



е) Сфалерит са укључцима халкопирита

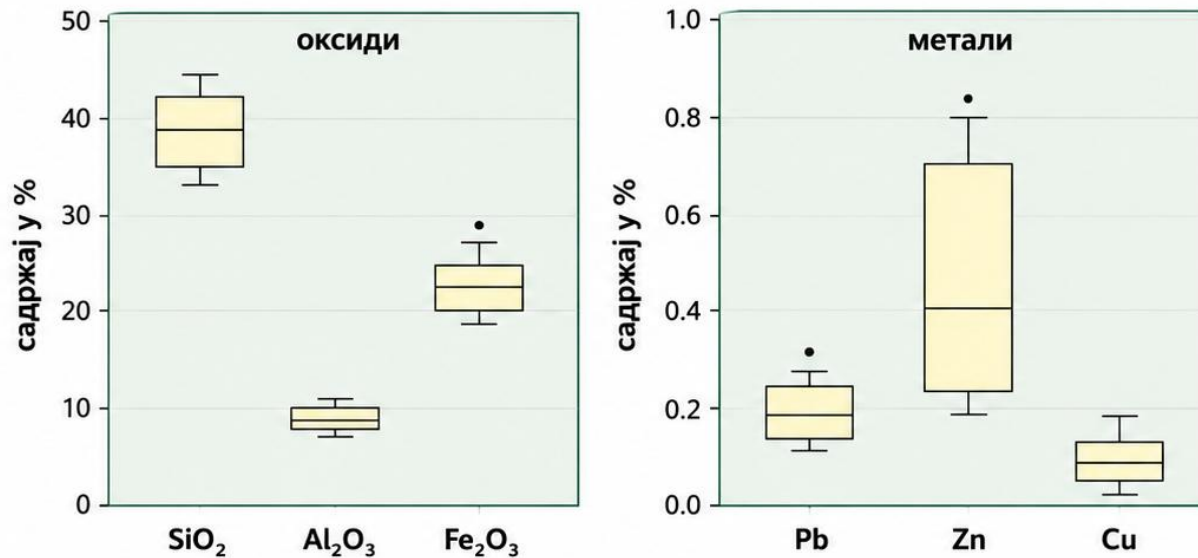


ф) Пиротин и галенит са самородним Ag и Bi

Присутни су примарни сулфидни минерали (Py, Po, Sp, Gn, Ccp, Apy),
као и микроскопске количине самородног сребра и бизмута.



НОСИОЦИ Pb–Zn–Cu
У ЈАЛОВИНИ



Бокс-дијаграми главних оксида (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) и метала (Pb, Zn, Cu) у јаловини.

Компонента	AV	SD
SiO ₂ (%)	38.99	3.60
TiO ₂ (%)	0.50	0.06
Al ₂ O ₃ (%)	8.88	0.96
Fe ₂ O ₃ (%)	23.40	2.58
CaO (%)	9.03	2.23
MgO (%)	1.50	0.20
S (%)	4.52	2.90
Cu (%)	0.106	0.042
Pb (%)	0.20	0.06
Zn (%)	0.47	0.24
Co (%)	0.004	0.001
Ni (%)	0.015	0.003
Mn (%)	0.151	0.028
Cr (%)	0.022	0.007
Ba (%)	0.001	0.001
As (%)	0.179	0.228
Bi (%)	0.005	0.003
Ag (µg/g)	12	3



ГРУПА А: СУЛФИДНО–ПОЛИМЕТАЛНА АСОЦИЈАЦИЈА
(групе 1, 2, 3 и 6)

СУЛФИДНА АСОЦИЈАЦИЈА

(елементи везани за сулфидне минерале)

Корелација	r
S–Co	0,97
Co–Bi	0,97
S–Bi	0,91

Co и Bi су концентрисани у сулфидним минералима (пирит, арсенопирит, пиротин).

ПОЛИМЕТАЛНА

Pb–Zn–Cu–Ag АСОЦИЈАЦИЈА

Корелација	r
Cu–Ag	0,81
Pb–Zn	0,80
Zn–Ag	0,71
Cu–Bi	0,70

Одражава носиоце економске минерализације: галенит (Pb), сфалерит (Zn), халкопирит (Cu), Ag и Bi као пратећи елементи.

Fe–СУЛФИДНА АСОЦИЈАЦИЈА

Корелација	r
Fe ₂ O ₃ –Bi	0,87
Fe ₂ O ₃ –Cu	0,82
Fe ₂ O ₃ –Co	0,79
Fe ₂ O ₃ –S	0,71

Одражава присуство пирита и пиротина као и њихових продуката оксидације.

As–Ni АСОЦИЈАЦИЈА

Корелација	r
Ni–As	0,89

Одражава специфичне арсенидне / арсенопиритне и Ni–обогаћене фазе.

ГРУПА Б: КАРБОНАТНА И КВАРЦНО–АЛУМИНОСИЛИКАТНА ФРАКЦИЈА
(групе 5 и 4)

КАРБОНАТНА АСОЦИЈАЦИЈА

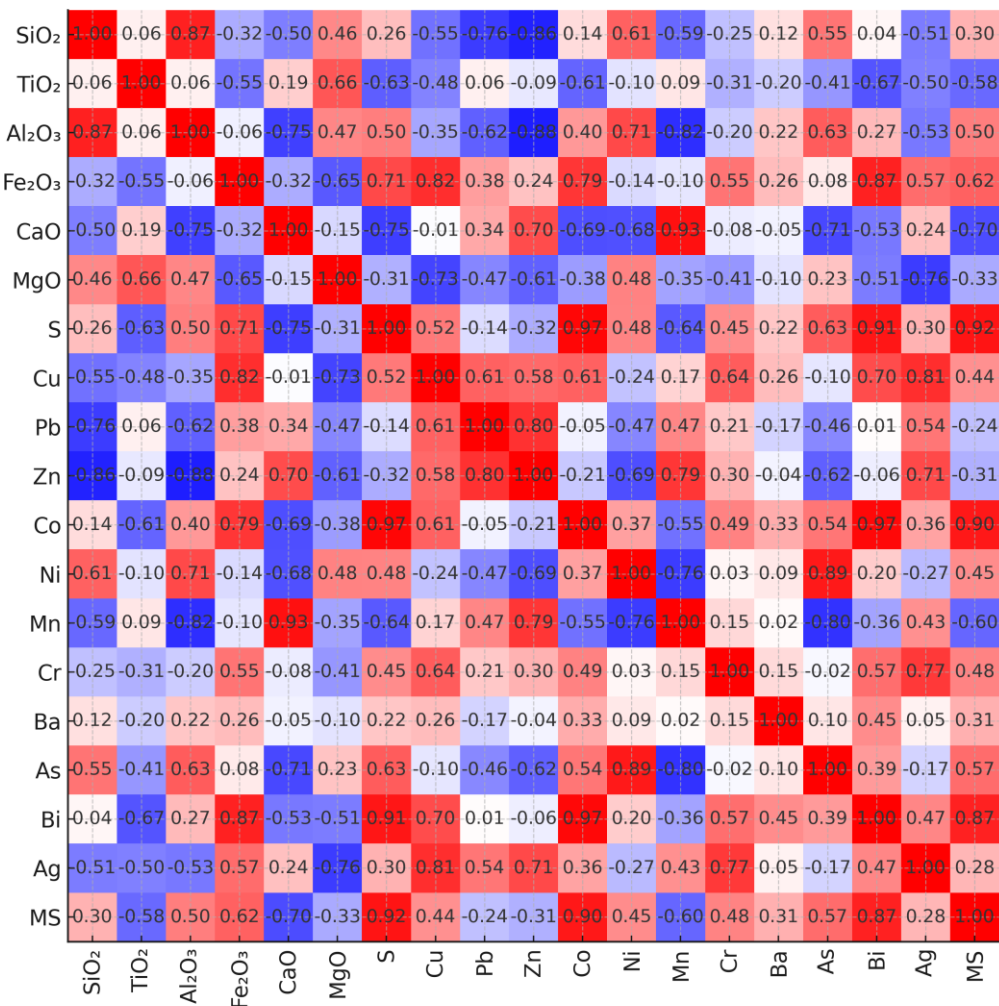
Корелација	r
CaO–Mn	0,93
CaO–Zn	0,70

Повезана са калцитом, Mn–фазама и скарновским минералима.

КВАРЦНО–АЛУМИНОСИЛИКАТНА ФРАКЦИЈА

Корелација	r
SiO ₂ –Al ₂ O ₃	0,87
Al ₂ O ₃ –Ni	0,71

Представља кварцно–алуминосиликатну фракцију јаловине: кварц, фелдспати, епидот, глиновити минерали.





Геохемијске карактеристике јаловине

- ✓ Јаловина је доминантно изграђена од кварцно-алуминосиликатне фракције, што потврђују високи садржаји SiO_2 (33,8–44,3 wt%) и Al_2O_3 (7,7–10,6 wt%).
- ✓ Повишени садржаји Fe_2O_3 (19,0–28,7 wt%) и S (2,2–12,3 wt%) указују на варијабилно присуство сулфидних минерала и њихових продуката оксидације.



Кварцно-алуминосиликатна компонента

- доминација кварца и алуминосиликата
- повољна гранулометрија
- ниска концентрација штетних елемената у већем делу узорака



Потенцијал за примену у грађевинској индустрији и производњи грађевинских материјала.