



РУДАРСКИ ГЛАСНИК BULLETIN OF MINES

Број 1-2, год. CXV, 2018.

No 1-2, Vol CXV, 2018.



РУДАРСКИ ГЛАСНИК

BULLETIN OF MINES

Главни и одговорни уредник

Академик проф. др Слободан Вујић

Editor in Chief

Academician Prof. Dr. Slobodan Vujić

Издавачи:

РУДАРСКИ ИНСТИТУТ БЕОГРАД
Београд, Батајнички пут бр. 2; тел. 011 21 99 277
факс 011 26 14 632; www.ribeograd.ac.rs

Publishers:

MINING INSTITUTE BELGRADE
Belgrade, Batajnički put 2, tel: +381 11 21 99 277
fax: +381 11 26 14 632; www.ribeograd.ac.rs

АКАДЕМИЈА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА СРБИЈЕ
Одељење рударских, геолошких и системских
наука, 11000 Београд, Краљице Марије 16,
тел. 011/33 70 652, www.ains.rs

ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES OF
SERBIA, Division of mining, geology and system
sciences, 11000 Belgrade, Kraljice Marije 16, Serbia,
tel: +381 11 33 70 652, www.ains.rs

За издаваче:

Др Милинко Радосављевић, директор РИ
Проф. др Бранко Ковачевић, председник АИНС

For publishers:

Dr. Milinko Radosavljević, Director of the MI
Prof. Dr. Branko Kovačević, President of the AESS

Штампа:

Colorgrafx, Београд

Press:

Colorgrafx, Belgrade

Тираж:

300 примерака

Circulation:

300 copies

Место и година издања:

Београд, 2018.

Place and year of the issue:

Belgrade, 2018.

YU ISSN 0035-9637

YU ISSN 0035-9637

Адреса:

Редакција Рударског гласника
11000 Београд, Батајнички пут бр. 2
е-пошта: editorial.board@ribeograd.ac.rs

Adress:

Editorial Board of the Bulletin of Mines
11000 Belgrade, Serbia, Batajnički put 2
e-mail: editorial.board@ribeograd.ac.rs

Copyright ©

РУДАРСКИ ИНСТИТУТ БЕОГРАД, 2018.
АКАДЕМИЈА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА СРБИЈЕ

Copyright ©

MINING INSTITUTE, BELGRADE, 2018.
ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES OF SERBIA

ПОРЕЂЕЊЕ КРИСТАЛОГРАФСКО-ХЕМИЈСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА
 СФАЛЕРИТА ИЗ РУДНОГ ЛЕЖИШТА КИЖЕВАК СА НЕКИМ ДРУГИМ
 РУДНИМ ЛЕЖИШТИМА, ДЕО II: КОНСТРУИСАЊЕ ЧЕТВОРО-
 КОМПОНЕНТНОГ a_0 -FES-P-T ДИЈАГРАМА (ОПЦИЈА I) И ОДРЕЂИВАЊЕ
 УСЛОВА ПОСТАНКА

COMPARISON OF THE CRYSTALLOGRAPHIC-CHEMICAL
 CHARACTERISTICS OF SPHALERITES FROM THE KIŽEVAK ORE
 DEPOSIT WITH SOME OTHER DEPOSITS, PART II: CONSTRUCTION OF
 THE FOUR-COMPONENT a_0 -FES-P-T DIAGRAM (OPTION I)
 AND DETERMINATION OF THE FORMATION CONDITIONS

DOI: 10.25075/BM.2018.04

Павле Танчић

Pavle Tančić

Геолошки завод Србије
 pavletan@gmail.com

Geological Survey of Serbia
 pavletan@gmail.com

Сажетак: Исто као и у I делу ових проучавања (Танчић, 2018), кристалографско-хемијске карактеристике сфалерита из рудног лежишта Кижевак су коришћене за поређење са одговарајућим карактеристикама неких других рудних лежишта: Шупља Стијена-Брсково, Леце, Селанац, Трпча, Јањево, Преџица, Црвени Брег и Црнац. Ови подаци су коришћени за одређивање услова постанка и упоређивани су са резултатима добијеним помоћу других и различитих метода и минерала. Конструисана је I опција четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма. За употребу оваквог дијаграма довољно је само израчунати димензију јединичне ћелије (a_0) и одредити садржај FeS компоненте испитиваног сфалерита, а затим на основу тих вредности одредити температуру и притисак његовог постанка. Овај дијаграм би се могао привремено користити док се не сакупе прецизнији и комплетнији подаци који би унапредили његову функционалност и доказали или евентуално оповргли његову вредност. Међутим, прелиминарно добијени резултати температурних вредности у овом раду су позитивни и охрабрујући зато што велика већина узорака показује поклапање са резултатима који су добијени помоћу других метода/минерала и много су бољи у односу на оне добијене помоћу Kullerud-ове (1953) криве. Добијени притисци за ниже температуре су највероватније нешто виши од реалних, што је такође добро познато из претходних литературних података, али су такође много бољи од оних добијених помоћу једначине и дијаграма који су приказали Lusk и Ford (1978). Очигледни су мање или више различити услови постанка за испитиване сфалерите из различитих рудних лежишта, као и за проучавања рудна лежишта такође, а који су у овом раду подељени у три групе: ниско, средње и високо температурни регион.

Кључне речи: Кижевак, сфалерити, кристалографско-хемијске карактеристике, геотермометрија, геобарометрија

Summary: Same as in the I part of these investigations (Tančić, 2018), crystallographic-chemical characteristics for sphalerites from the ore deposit Kiževak were used for the comparison with the corresponding characteristics of some other ore deposits: Šuplja Stijena-Brskovo, Lece, Selanac, Trpča, Janjevo, Prečica, Crveni Breg and Crnac. These data were used for the determination of the formation conditions and they were compared with the results

obtained by other and various methods and minerals. It was constructed I option of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram. For use of such diagram it is only enough to calculate the unit cell dimension (a_0) and obtain the content of the FeS component of the studied sphalerite, and then at basis of that values to determine the temperature and pressure of its origin. This diagram could be temporary used until more precise and complete data will be collected to advance its functionality and to approve or eventually disapprove its validity. However, preliminary obtained results of the temperature values in this paper are positive and encouraging because the great majority of the samples show an agreement with the results which were obtained by other methods/minerals and they are much better than that obtained by Kullerud's (1953) curve. Obtained pressures for lower temperatures are most probably something higher than real, which is also well known from the previous literature, but also much better than that obtained by equation and diagram which were presented by Lusk and Ford (1978). There are obvious more or less different formation conditions for the studied sphalerites from the various ore deposits, and for the studied ore deposits, as well, which are in this paper separated into three groups: low, middle and high temperature region.

Key words: Kiževak, sphalerites, crystallographic-chemical characteristics, comparisons, geothermometry, geobarometry

УВОД

У I делу ових проучавања (Танчић, 2018), 27 узорака сфалерита са различитим димензијама јединичних ћелија и FeS садржајима је анализирано. Кристалографско-хемијске карактеристике сфалерита из рудног лежишта Кижевак (Танчић, 2004; Танчић и Судар, 2004 и 2005) су упоређиване са одговарајућим из неких других рудних лежишта: Шупља Стијена-Брсково (Јанковић и Јанковић-Милосављевић, 1955); Леце, Селанац, Тречча, Јањево, Пречица и Црвени Брег (Крстановић и Крстановић, 1962); и Црнац (Николић и др., 1978). Ови подаци су такође коришћени за прелиминарно разматрање у вези услова настанка и указују да би се различити проучавани сфалерити и рудна лежишта могли поделити у три групе: ниско, средње и високо температурни регион.

Надаље, сви добијени резултати су упоређивани са резултатима који су добијени другим и различитим методама и минералима. Услед запажених конфликта и одступања, закључено је да се Kullerud-ова (1953) крива и једначина и дијаграм који су приказали Lusk и Ford (1978) могу сматрати углавном неприкладним и неприхватљивим за одређивање генезе сфалерита. Kullerud-ова (1953) крива би могла бити делимично прихватљива за одређивање температуре само код природних узорака који су врло близу или пресецају линије 1 и/или 3 на Слици 2 (Танчић, 2018). Наиме, ове две методе се заснивају на одређивању P-t (P-притисак, t-температура) услова настанка сфалерита искључиво из садржаја присутне FeS компоненте.

Са друге стране, сфалерити из различитих рудних лежишта са сличним садржајима FeS компоненти се карактеришу различитим димензијама јединичних ћелија које би могле да, у

INTRODUCTION

In the I part of these studies (Tančić, 2018), 27 sphalerite samples with various unit cell dimensions and FeS contents were analyzed. Crystallographic-chemical characteristics of sphalerites from the ore deposit Kiževak (Tančić, 2004; Tančić and Sудар, 2004 and 2005) were compared with the corresponding from some other ore deposits: Šuplja Stijena-Brskovo (Janković and Janković-Milosavljević, 1955); Lece, Selanac, Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg (Krstanović and Krstanović, 1962); and Crnac (Nikolić et al., 1978). These data were also used for the preliminary reconsideration about the formation conditions and indicate that various studied sphalerites and ore deposits could be separated into three groups: low, middle and high temperature region.

Furthermore, all of the obtained results were compared with the results which were obtained by other and various methods and minerals. Because of the observed conflicts and deviations, it was concluded that the Kullerud's (1953) curve and equation and diagram which were presented by Lusk and Ford (1978) could be consider as mostly inappropriate and unacceptable for determination of the sphalerite genesis. Kullerud's (1953) curve could be partially accepted for the temperature determination only for the natural specimens which are very near or intersect lines 1 and/or 3 at figure 2 (Tančić, 2018). Namely, these two methods are based at determination of the P-t (P-pressure, t-temperature) formation conditions of sphalerite exclusively from the content of the present FeS component.

On the other hand, sphalerites from the different ore deposits with similar contents of the FeS component are characterized with different unit

складу са тиме, укажу на различите P и/или t услове настанка. Обзиром на ту чињеницу, у овом раду је проучавана нова могућност, т.ј. опција I четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма за одређивање њиховог постанка, зато што је у I делу ових проучавања (Танчић, 2018) претпостављено да димензије јединичне ћелије сфалерита могу бити од користи за геотермометрију и геобарометрију. Овај дијаграм би се могао привремено користити док се не сакупе прецизнији и комплетнији подаци који би унапредили његову функционалност и доказали или евентуално оповргли његову вредност.

Затим, сви добијени резултати су упоређивани и, заједно са резултатима који су добијени другим методама и минералима (Kullerud, 1953; Bethke и Barton, 1971; Rye и Czamanske у Field и Moore, 1971; Lusk и Ford, 1978; Ohmoto и Rye, 1979; Wiggins и Craig, 1980; Танчић и др., 2001; Јанежић и др., 2003 и 2004), затим коришћени да би се достигли приближни услови постанка ових сфалерита и рудних лежишта.

Конечно, поново су разматрани закључци Танчић-а и Судар-а (2005) и Танчић-а (2018) о утицају $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ садржаја на одређивање температуре и притиска у поређењу са Fe и FeS садржајима.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

1. Израда четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма (опција I)

Претходно изнети контрадикторни резултати (видети на пример: Toulmin и др., 1991; Vaughan, 2006; Танчић, 2018; и литература унутар) натерала нас је да размотримо неке нове могућности за одређивање услова настанка сфалерита, т.ј. на израду четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма. Овакав дијаграм је конструисан комбинавањем резултата добијених вредности за a_0 и FeS садржаја из табела 1-4 и промена из Barton-а и Toulmin-а (1966), које су представљене као линије 1 и 3 на Слици 2 (Танчић, 2018), са екстраполираним променама притиска и температуре у односу на FeS садржаје из Toulmin-а и др. (1991, слика 2, с. 1040) и Balabin-а и Sack-а (2000, слика 5, с. 937).

Примењена су два приступа за израду дијаграма:

1. Прва претпоставка је да су температурне промене праве линије које се секу под правим углом

cell dimensions which could, according to that, indicate to the different P and/or t formation conditions. Regard to that fact, in this paper it was studied a new possibility, i.e. option I of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram for the determination of their formation, because in the I part of these studies (Tančić, 2018) it was presumed that the sphalerite unit cell dimensions could be useful for the geothermometry and geobarometry. This diagram could be temporary used until more precise and complete data will be collected to advance its functionality and to prove or eventually disapprove its validity.

Then, all of the obtained results were compared and, together with the results which were obtained by other methods and minerals (Kullerud, 1953; Bethke and Barton, 1971; Rye and Czamanske at Field and Moore, 1971; Lusk and Ford, 1978; Ohmoto and Rye, 1979; Wiggins and Craig, 1980; Tančić et al., 2001; Janežić et al., 2003 and 2004), were then used to achieve the approximate formation conditions of these sphalerites and ore deposits.

Finally, it was again reconsidered the conclusions by Tančić and Sudar (2005) and Tančić (2018) of the influence of the $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ contents to the determination of temperature and pressure in comparison with the Fe and FeS contents.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Construction of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram (option I)

Previously exposed contradictory results (see for examples: Toulmin et al., 1991; Vaughan, 2006; Tančić, 2018; and references within) forced us to considerate about some new possibilities for the determination of the sphalerite formation conditions, i.e. by construction of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram. Such diagram was constructed by combining the results of the obtained values for a_0 and the FeS contents from tables 1-4 and variations from Barton and Toulmin (1966), presented as lines 1 and 3 at figure 2 (Tančić, 2018), with the extrapolated pressure and temperature variations by the FeS contents from Toulmin et al. (1991, Figure 2, p. 1040) and Balabin and Sack (2000, Figure 5, p. 937).

There were used two approaches for constructing the diagram:

1. First supposition is that the temperature variations are straight lines normal at the intersections to the lines 1 (marked as interrupted lines for temper-

у односу на линије 1 (означене као испрекидане линије за температурне вредности са нормалним словима у елипсама) и 3 (означене као тачкасте линије за температурне вредности са нормалним словима у правоугаонцима) са слике 2 (Танчић, 2018), која је приказана на слици 1; и

2. Друга претпоставка је да су те температурне промене криве линије које се секу под правим углом у односу на линију 1, али са искривљеним правцима и са неким средњим вредностима помереним ка одговарајућој линији 3 са слике 1, а која је приказана на Слици 2.

Екстраполирани притисци од 10, 8, 6, 4, 2 и 1 kbar из Toulmin-a et al. (1991) су приказани са нормалним словима у елипсама са испрекиданим линијама за линију 1; и са нормалним словима у правоугаонцима са тачкастим линијама за линију 3.

Екстраполирани притисци од 10, 7.5, 5 и 2.5 kbar-а и 1 bar из Balabin-а и Sack-а (2000) су приказани са италић словима у елипсама са испрекиданим линијама за линију 1; и са италић словима у правоугаонцима са тачкастим линијама за линију 3.

Слике 1 и 2 су такође допуњене сфалеритима са a_0 -FeS-t карактеристикама који пресецају, или су врло близу, линије 3 (Танчић, 2018), и односе се на прецизније одређивање температуре.

Са слике 1 може се видети да је на вишим температурама утицај притиска мањи него на ниским температурама на којима је са значајним и растућим ефектом. Према томе, чини се да су притисци испод око 4 kbar-а одговарајући за сфалерите који су настали изнад око 400 °C. Са друге стране, испод око 300 °C и са порастом притиска изнад око 6.5-7 kbar-а јасно је да се разлика између природних узорака и лабораторијских експеримената повећава. Наиме, највеће неслагање између природних узорака, теорије и експеримената се налази у области ниских температура и високих притисака. Дакле, ово су главни разлози са значајним утицајем на претходно наведену дебату (Toulmin и др., 1991; Vaughan, 2006; и Танчић, 2018).

Слика 2 више задовољава компромисе између природних и лабораторијских узорака и закривљености изотермних и изобарних линија раствора које су неопходне из термодинамичких прорачуна (Toulmin и др., 1991). Требало би такође напоменути да је прилично тешко конструисати такав дијаграм без комплетнијих података и без више сфалеритских узорака код којих су већ одређени a_0 , FeS, P и t; и са таквим подацима који би даље потврдили његову вредност. Према томе, овај дијаграм би се привремено користио све док се не прикупе прецизнији и

ature values with normal letters in ellipses) and 3 (marked as dotted lines for temperature values with normal letters in rectangles) from Figure 2 (Tančić, 2018), which is presented at figure 1; and

2. Second supposition is that those temperature variations are curved lines normal at the intersections to the line 1, but with curve directions and with some average values shifted to the line 3 corresponding from figure 1, which is presented at figure 2.

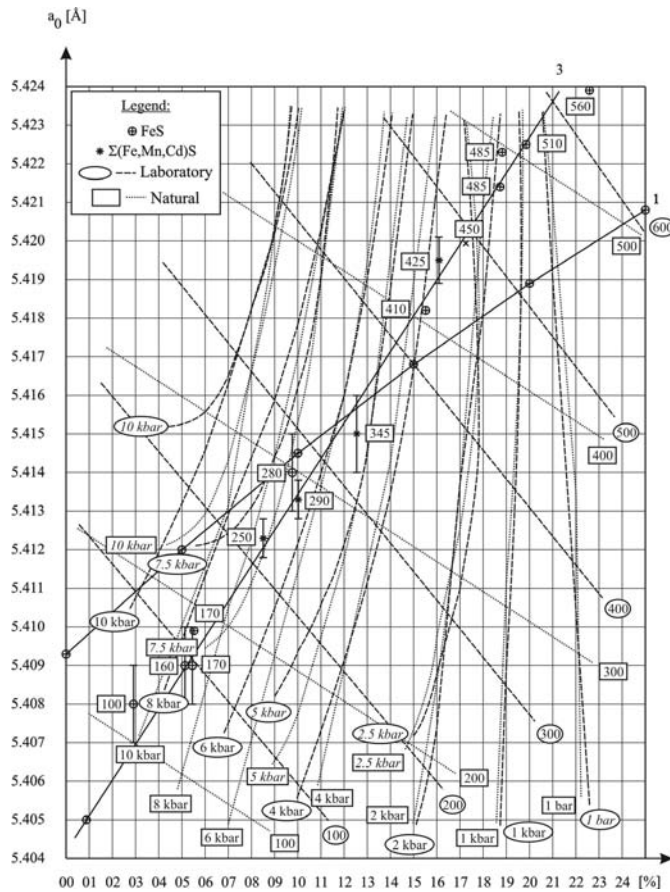
Extrapolated pressures of 10, 8, 6, 4, 2 and 1 kbar from Toulmin et al. (1991) are presented with normal letters in ellipses with interrupted lines for the line 1; and with normal letters in rectangles with dotted lines for the line 3.

Extrapolated pressures of 10, 7.5, 5 and 2.5 kbar and 1 bar from Balabin and Sack (2000) are presented with italic letters in ellipses with interrupted lines for the line 1; and with italic letters in rectangles with dotted lines for the line 3.

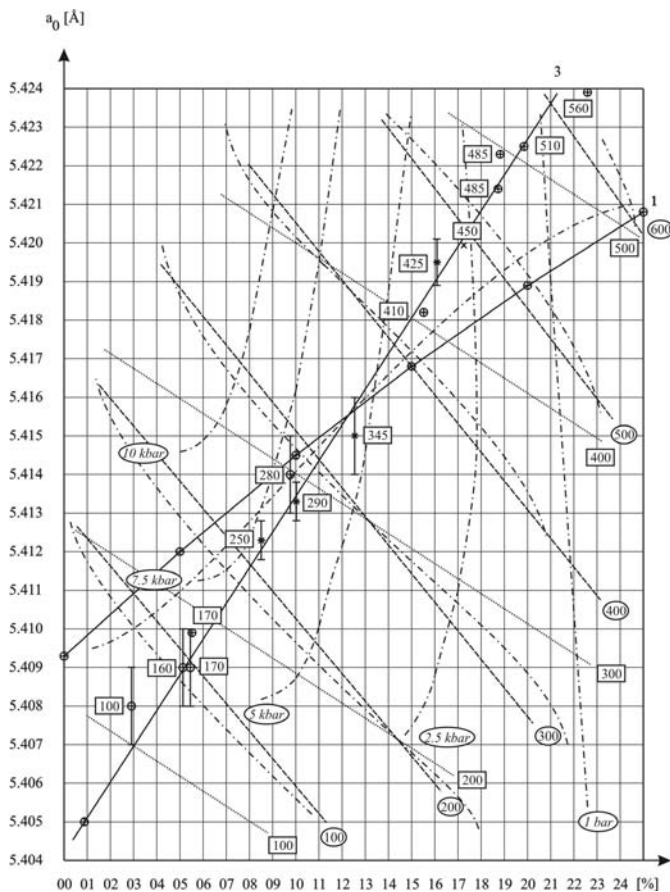
Figures 1 and 2 are also supplemented with sphalerites of the a_0 -FeS-t characteristics which intersects, or are very near, to the line 3 (Tančić, 2018), relatively to the more precise temperature determination.

From figure 1 it can be seen that at higher temperatures pressure effect is smaller than at low temperatures where it is with the considerable and increasing effect. Accordingly, it seems that the pressures bellows of about 4 kbars are adequate for the sphalerites formatted above of about 400 °C. On the other hand, under about 300 °C with increasing pressure over about 6.5-7 kbars it is clearly that the difference between the natural specimens and laboratory experiments is increasing. Namely, the greatest conflict between the natural specimens, theory and experiment is in the region of low temperatures and high pressures. Therefore, those are the main reasons with considerable influence to the previously mentioned debate (Toulmin et al., 1991; Vaughan, 2006; and Tančić, 2018).

Figure 2 more satisfied compromises between the natural and laboratory specimens and curvatures of the isothermal and isobaric solvus lines which are necessary from the thermodynamic calculations (Toulmin et al., 1991). It should be also mentioned that it is quite difficult to construct such diagram without more complete data and without more sphalerite specimens with already determined a_0 , FeS, P and t; and with that data to further verify the validity of it. Therefore, this diagram could be temporary used until more precise



Слика / Figure 1, Екстраполација притисака са температурним променама из Toulmin-а и др. (1991) и Balabin-а и Sack-а (2000) са димензијом јединичне ћелије (a_0) са FeS садржајима. Линеје: 1. Barton и Toulmin (1966); и 3. Танчић (2018). Промене температуре су праволинијске / Extrapolated pressures by temperature variations from Toulmin et al. (1991) and Balabin and Sack (2000) with the unit cell dimension (a_0) by the FeS contents. Lines: 1. Barton and Toulmin (1966); and 3. Tančić (2018). Variations of temperature are linear



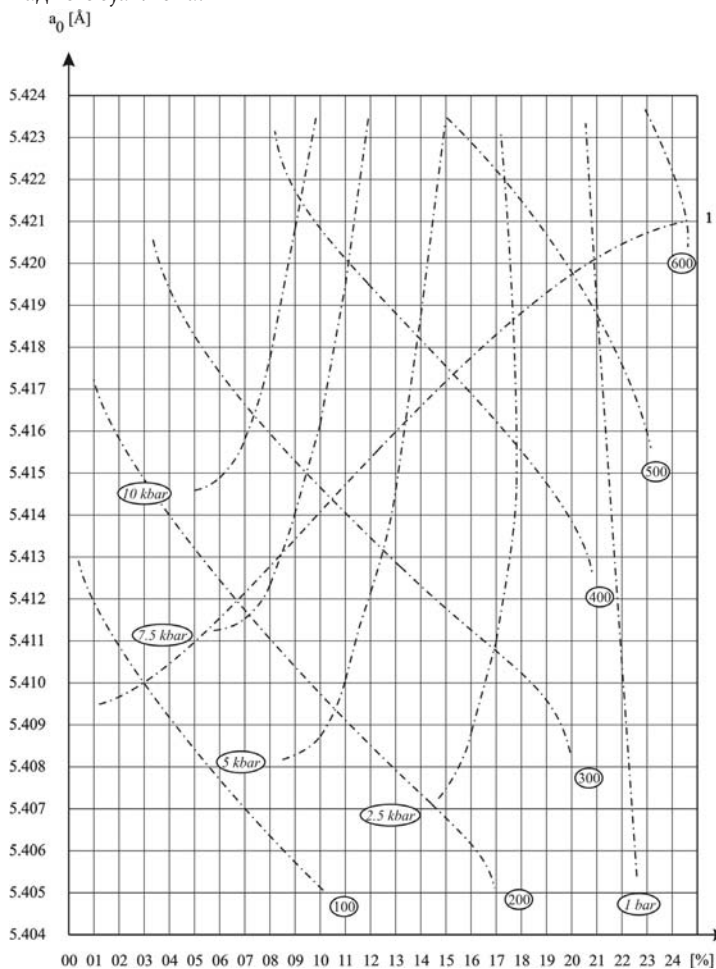
Слика 2, Екстраполација притисака са температурним променама из Balabin-а и Sack-а (2000) са димензијом јединичне ћелије (a_0) са FeS садржајима. Линеје: 1. Barton и Toulmin (1966); и 3. Танчић (2018). Промене температуре су криволинијске
 Figure 2, Extrapolated pressures by temperature variations from Balabin and Sack (2000) with the unit cell dimension (a_0) by the FeS contents. Lines: 1. Barton and Toulmin (1966); and 3. Tančić (2018). Variations of temperatures are curved

комплетнији подаци који би унапредили његову функционалност и доказали или евентуално оповргли његову вредност.

Такође, температурне криве (изотерме) би могле бити нешто различитијег облика и положаја, што би дакле утицало и на облик изобара. У складу са тим, опција I четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма настала из слике 2 (испрекидане линије са тачкама) је предложена и приказана на Слици 3, док ће о неким другим опцијама бити дискутовано у будућим проучавањима која су и даље у току. а која ће бити накнадно објављена.

and complete data will be collected to advance its functionality and to prove or eventually disprove its validity.

Also, temperature curves (isotherms) could be of something different shape and positions, which would therefore affected to the shape of isobars. According to that, the Option I of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram derived from figure 2 (interrupted lines with dots) is proposed and presented at figure 3, while some other options will be discussed with further studies which are still in progress and published afterwards.



Слика 3, Опција I четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма. Линија 1: Основна линија

Figure 3, Option I of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram. Line 1: Base line

2. Одређивања температура и притисака настанка, поређење са другим подацима и разматрање утицаја $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ садржаја на добијене податке

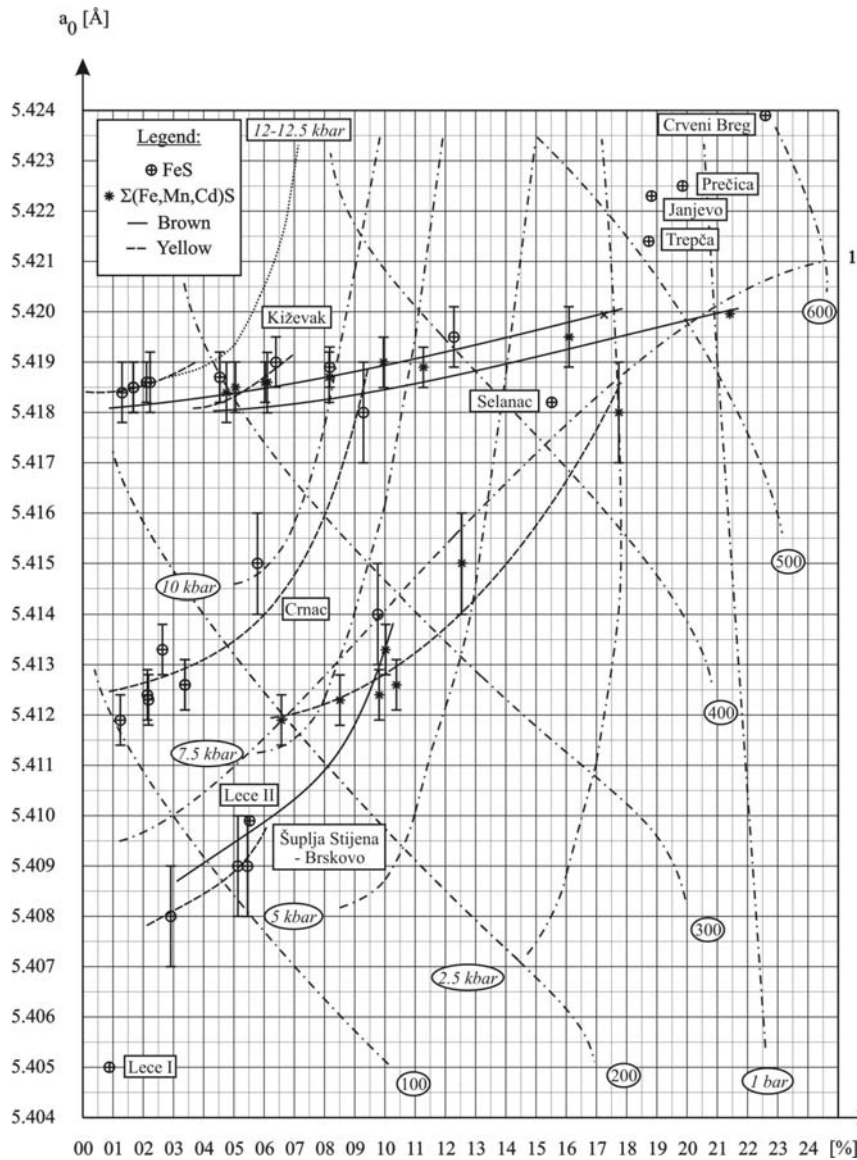
Овом приликом коришћена је слика 3 за процену температуре и притиска за узорке који имају податке за a_0 , FeS и $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ (т.ј. Табеле 1-4 од Танчић-а, 2018) конструкцијом слике 4.

Са слике 4 могу се одредити температуре- t_d (у °C) и притиска- P_d (у kbar) настанка сваког

2. Determinations of the temperatures and pressures of formation, comparison with other data and reconsideration about influence of the $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ contents to the obtained data

For this occasion it was used figure 3 for the temperature and pressure estimations for the specimens with the data of a_0 , FeS and $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ (i. e. Tables 1-4 by Tančić, 2018) by construction of figure 4.

From figure 4 it could be determined temperature- t_d (in °C) and pressure- P_d (in kbars) of formation for



Слика 4, Опција Промене димензије јединичне ћелије (a_0), FeS и $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ садржаја, температура и притисака за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково, Црнац, Селанак, Кижевак, Треча, Јањево, Пречица и Црвени Брег. Линија 1: Основна линија

Figure 4, Variations of the unit cell dimension (a_0), FeS and $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ contents, temperatures and pressures for the ore deposits Lece, Šuplja Stijena-Brskovo, Crnac, Selanac, Kiževak, Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg. Line: 1. Base line

узорка. Процењена стандардна девијација јединичне ћелије је коришћена за процену опсега температуре и притиска, т.ј. његову девијацију. Ови подаци су приказани у табелама 1 (са FeS садржајима) и 2 (са $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ садржајима) заједно са подацима који су добијени другим методама/минералима, т.ј. t_1-t_5 и P_1-P_2 (Танчић, 2018). На такав начин се може проверити ваљаност добијених података, чак иако ове температуре не морају обавезно бити исте као оне које су процењене из парагенеза силикатних минерала, модела изотопских фракција, или других независних видова термометрије заснованих на догађајима чији се однос на равнотежу сфалерита не може доказати (Toulmin и др., 1991).

every one specimen. The estimated standard deviation of the unit cell is used for the estimation of the temperature and pressure range, i.e. its deviation. These data are presented at tables 1 (with the FeS contents) and 2 (with the $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ contents) together with data which were obtained by other methods/minerals, i.e. t_1-t_5 and P_1-P_2 (Tančić, 2018). At such manner it could be checked the validity of the obtained data, even that these temperatures may not necessarily be the same as that estimated from the silicate mineral assemblages, isotopic fractionation patterns, or other independent means of thermometry based on events whose relation to sphalerite equilibration cannot be demonstrated (Toulmin et al., 1991).

Табела 1, Одређене температуре и притисци за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково, Црнац, Селанац, Кижевак, Треча, Јањево, Пречица и Црвени Брег. Коришћени су FeS садржаји
 Table 1, Determined temperatures and pressures for the ore deposits Lece, Šuplja Stijena-Brskovo, Crnac, Selanac, Kiževak, Treča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg. The FeS contents were used

Рудно лежиште Ore deposit	Узорак Sample	a_0	FeS	t_1	t_3	t_4	t_5	P_1	t_{d1}	P_{d1}	
Леце Lece	I	5,4050(1)	0,88	29				24,53	25±3	2,5	
	II	5,4099(1)	5,53	170			16,60	135±3	6		
Шупља Стијена- Брсково Šuplja Stijena- Brskovo	зеленкасти greenish	5,408(1)	2,91	100				20,90	80±20	5,5±1,5	
	жути yellow	5,409(1)	5,13	160			17,23	115±20	6±1,5		
	жути yellow	5,409(1)	5,43	170			16,76	120±20	6±1		
	мрки brown тамни dark	5,414(1)	9,76	280			10,55	285±20	7±0,5		
Црнац Crnac	жути yellow	5,4119(5)	1,24	41	113			23,87	105±10	8±0,5	
	жути yellow	5,4123(5)	2,17	71			22,20	130±10	8,5±0,5		
	жути yellow	5,4124(5)	2,14	71	108		22,25	130±10	8,5±0,5		
	жути yellow	5,4133(5)	2,63	85	106		21,39	160±10	9±0,5		
	жути yellow	5,4126(5)	3,38	110	103		20,10	160±10	8,5±0,5		
	жути yellow	5,415(1)	5,78	180	186		16,21	250±20	10±1		
	жути yellow жути yellow	5,418(1)	9,27	270	186		11,19	350±15	10±1		
Селанац Selanac		5,4182(1)	15,52	410				4,09	415±3	4	
Кижевак Kiževak	670m	15.611b-y	5,4186(6)	2,22	71	210		22,11	250±10	12±0,5	
		15.611b-r	5,4195(6)	12,28	340	214	491/419'	583/465'	7,47	405±9	6,5
	690m	15.623y	5,4186(4)	2,12	68	176	468/259'	950/446'	22,28	245±8	12±0,5
		15.604b	5,4189(4)	8,17	240	374			12,70	350±7	10
		15.640b-b		17,25	450	432			2,55	465	2,5
	710m	15.635y	5,4184(6)	1,29	41	132	464/242'	871/368'	23,78	225±10	12±0,5
		15.633y	5,4185(5)	1,67	53	214	388/194'	457/145'	23,09	240±9	12±0,5
		15.634b	5,4187(5)	4,53	145	320	544/355'	512/248'	18,19	295±9	12±0,5
15.629b		5,4190(5)	6,39	195	215	491/343'	937/595'	15,28	330±8	11,5±0,5	
Треча Treča		5,4214(1)	18,73	485				1,38	505±3	1,5	
Јањево Janjevo		5,4223(1)	18,83	485				1,30	525±3	1,5	
Пречица Prečica		5,4225(1)	19,85	510				0,58	545±3	0,5	
Црвени Брег Crveni Breg		5,4239(1)	22,59	560				-1,04	600±3/550±3'	-1,5/0,5'	

* - кориговано за притисак/corrected for the pressure

Из табеле 1 може се видети да су очигледни више или мање различити услови настанка сфалерита из различитих проучаваних рудних лежишта. Они се могу поделити у три групе-региона:

1. Ниско температурни регион (<200 °C) за сфалерите из рудних лежишта Леце (t од 25±3 до 135±3 °C; P од 2,5 до 6 kbar-a); Шупља Стијена-Брсково (t од 80±20 до 120±20 °C; P од 5,5±1,5 до 6±1 kbar-a); и Црнац (t од 105±10 до 160±10 °C; P од 8±0,5 до 9±0,5 kbar-a);

2. Средње температурни регион (од 200 до 450 °C) за сфалерите из рудних лежишта Шупља Стијена-Брсково (t=285±20 °C; P=7±0,5 kbar-a); Црнац (t од 250±20 до 350±15 °C; P=10±1 kbar-a); Кижевак (t од 225±10 до 405±9 °C; P од 6,5 до 12±0,5 kbar-a); и Селанац (t=415±3 °C; P=4 kbar-a); и

3. Високо температурни регион (>450 °C) за сфалерите из рудних лежишта Кижевак (t=465 °C; P=2,5 kbar-a); Трепча (t=505±3 °C; P=1,5 kbar-a); Јањево (t=525±3 °C; P=1,5 kbar-a); Пречица (t=545±3 °C; P=0,5 kbar-a); и Црвени Брег (t=600±3 °C; P=-1,5 kbar-a). Овде би требало напоменути да би се притисак за сфалерит из рудног лежишта Црвени Брег морао кориговати за најмање 1,5-2 kbar-a у позитивну вредност, што снижава температуру за око 40-50 °C. Дакле, добијено је око 550 °C за P=0,5 kbar-a.

Поређењем температурних резултата (t_{d1}) за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково, Селанац, Трепча, Јањево, Пречица и Црвени Брег са резултатима који су добијени преко Kullerud-ове криве (t_1), добијено је 5 различитих и 6 сличних вредности.

Поређењем температурних резултата (t_{d1}) за рудно лежиште Црнац са резултатима који су добијени преко Kullerud-ове криве (t_1), добијене су све различите вредности са значајно великим неслагањима за FeS садржаје, као што је приказано у табели 1. Николић и др. (1978) су добили две доминантне фракције: прву са 64,5% садржаја и са температуром настанка од 220 °C, и другу са 16,5% садржаја и са температуром настанка од 330 °C. Добијене температуре t_{d1} од 105±10 и 160±10 °C су у много бољој сагласности са t_3 температурама од 113 и 106 °C које су добијене из Cu садржаја (Wiggins и Craig, 1980), а самим тим и објективније него оне које су добили Николић и др. (1978). Са друге стране, поређењем температурних резултата (t_{d2}) за рудно лежиште Црнац са резултатима који су добијени преко Kullerud-ове криве (t_2), добијене су све сличне вредности за $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ садржаје, приказано у табели 2.

From table 1 it can be seen that there are obvious more or less different formation conditions for the sphalerites from various studied ore deposits. They could be separated into three groups-regions:

1. Low temperature region (<200 °C) for sphalerites from the ore deposits Lece (t from 25±3 to 135±3 °C; P from 2.5 to 6 kbar); Šuplja Stijena-Brskovo (t from 80±20 to 120±20 °C; P from 5.5±1.5 to 6±1 kbar); and Crnac (t from 105±10 to 160±10 °C; P from 8±0.5 to 9±0.5 kbar);

2. Middle temperature region (from 200 to 450 °C) for sphalerites from the ore deposits Šuplja Stijena-Brskovo (t=285±20 °C; P=7±0.5 kbar); Crnac (t from 250±20 to 350±15 °C; P=10±1 kbar); Kiževak (t from 225±10 to 405±9 °C; P from 6.5 to 12±0.5 kbar); and Selanac (t=415±3 °C; P=4 kbar); and

3. High temperature region (>450 °C) for sphalerites from the ore deposits Kiževak (t=465 °C; P=2.5 kbar); Trepča (t=505±3 °C; P=1.5 kbar); Janjevo (t=525±3 °C; P=1.5 kbar); Prečica (t=545±3 °C; P=0.5 kbar); and Crveni Breg (t=600±3 °C; P=-1.5 kbar). Here it should be mentioned that the pressure for sphalerite from the Crveni Breg ore deposit must be corrected for at least 1.5-2 kbar to the positive value, which decrease temperature for about 40-50 °C. Therefore, it is obtained about 550 °C for P=0.5 kbar.

By comparison of the temperature results (t_{d1}) for the Lece, Šuplja Stijena-Brskovo, Selanac, Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg ore deposits with the results obtained by Kullerud's curve (t_1), there were obtained 5 different and 6 similar values.

By comparison of the temperature results (t_{d1}) for the Crnac ore deposit with the results obtained by Kullerud's curve (t_1), there were obtained all different values with considerable large disagreement for the FeS contents, table 1. Nikolić et al. (1978) obtained two dominant fractions: one with 64.5% content and with formation temperature of 220 °C, and second with 16.5% content and with formation temperature of 330 °C. The obtained temperatures t_{d1} of 105±10 and 160±10 °C are in much better agreement with the t_3 temperatures of 113 and 106 °C obtained from the Cu contents (Wiggins and Craig, 1980), and accordingly more objective than that obtained by Nikolić et al. (1978). On the other hand, by comparison of the temperature results (t_{d2}) for the Crnac ore deposit with the results obtained by Kullerud's curve (t_2), there were obtained all similar values for the $\Sigma(\text{Fe,Mn,Cd})\text{S}$ contents, shown in table 2.

Табела 2, Одређене температуре и притисци за рудна лежишта Црнац и Кижевак.
 Користићени су $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ садржаји
 Table 2, Determined temperatures and pressures for the ore deposits Crnac and Kiževak.
 The $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ contents were used

Рудно лежиште Ore deposit	Узорак Sample	a_0	$\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$	t_2	P_2	t_{d2}	P_{d2}	
Црнац Crnac жути yellow жути yellow жути yellow жути yellow жути yellow	жути yellow	5,4119(5)	6,62	205	14,94	195±10	7,5±0,5	
	5,4123(5)	8,49	250	12,25	230±10	7±0,5		
	5,4124(5)	9,86	285	10,42	250±10	6±0,5		
	5,4133(5)	10,04	290	10,19	275±10	6±0,5		
	5,4126(5)	10,40	300	9,73	265±10	6±0,5		
	5,415(1)	12,53	345	7,19	335±20	5,5		
	5,418(1)	17,67	460	2,20	440±20	2,5		
Кижевак Kiževak	670m	15.611b-y	5,4186(6)	6,10	190	15,72	340±8	11±0,5
		15.611b-r	5,4195(6)	16,05	425	3,60	445±9	3,5
	690m	15.623y	5,4186(4)	6,06	185	15,78	340±7	11±0,5
		15.604b	5,4189(4)	11,16	315	8,79	390±7	7
		15.640b-b	/	21,42	540	-0,42	525	1bar
	710m	15.635y	5,4184(6)	4,77	150	17,81	295±10	11,5±0,5
		15.633y	5,4185(5)	5,03	160	17,39	305±9	11,5±0,5
		15.634b	5,4187(5)	8,17	240	12,70	350±8	10
		15.629b	5,4190(5)	9,75	280	10,56	375±8	8,5

Сфалерити из рудног лежишта Кижевак почињу са кристализацијом на око 465 °C и 2,5 kbar-a (узорак 15.640 мрко-црни). Ова температура вредност се изванредно слаже са добијеном вредношћу од 475 °C за арсенипитриту геотермометрију из суседног рудног лежишта Саставци (Танчић и др., 2001; Јанежић и др., 2003 и 2004), а такође и са t_1 (450 °C) и t_3 (432 °C). Током даљег процеса кристализације температура опада, док притисак расте, али скоро сигурно не до вредности од 12±0,5 kbar-a, која је исувише висока. Разлози за сумњу код вредности које су више од 6,5-7 kbar-a за температуре испод око 300 °C су претходно објашњени, а што је такође од значаја за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково и Црнац.

Следећи узорци из рудног лежишта Кижевак имају такође врло добро слагање између:

$-t_{d1}$ и t_3 (Wiggins и Craig, 1980): 15.633 жути ($t_{d1}=240\pm9$ °C; $t_3=214$ °C); 15.611 мрко- жути ($t_{d1}=250\pm10$ °C; $t_3=210$ °C); 15.634 мрки ($t_{d1}=295\pm9$ °C; $t_3=320$ °C); и 15.604 мрки ($t_{d1}=350\pm7$ °C; $t_3=374$ °C);

Sphalerites from the Kiževak ore deposit begin with crystallization at about 465 °C and 2.5 kbar (specimen 15.640 brownish-black). That temperature value is in excellent agreement with the obtained value of 475 °C for the arsenopyrite geothermometer from the neighboring ore deposit Sastavci (Tančić et al., 2001; Janežić et al., 2003 and 2004), and also with t_1 (450 °C) and t_3 (432 °C). During the further crystallization process temperature decreases, while the pressure increases, but almost certainly not to the value of 12±0.5 kbar, which is too high. Reasons for suspicion at the values higher than 6.5-7 kbar for the temperatures below about 300 °C are previously explained, and what is also considerable for the Lece, Šuplja Stijena-Brskovo and Crnac ore deposits.

Following specimens from the Kiževak ore deposit has also very good correlation between:

$-t_{d1}$ and t_3 (Wiggins and Craig, 1980): 15.633 yellow ($t_{d1}=240\pm9$ °C; $t_3=214$ °C); 15.611 brownish-yellow ($t_{d1}=250\pm10$ °C; $t_3=210$ °C); 15.634 brown ($t_{d1}=295\pm9$ °C; $t_3=320$ °C); and 15.604 brown ($t_{d1}=350\pm7$ °C; $t_3=374$ °C);

$-t_{d1}$ и t_4 (Bethke и Barton, 1971): 15.635 жути ($t_{d1}=225\pm 10$ °C; $t_4=242$ °C); 15.623 жути ($t_{d1}=245\pm 8$ °C; $t_4=259$ °C); и 15.629 мрки ($t_{d1}=330\pm 8$ °C; $t_4=343$ °C); и

$-t_{d1}$ и $t_{4,5}$ (Bethke и Barton, 1971): 15.634 мрки ($t_{d1}=295\pm 9$ °C; $t_{4,5}=302\pm 53$ °C); и 15.611 мрко-црвени ($t_{d1}=405\pm 9$ °C; $t_{4,5}=442\pm 23$ °C).

Према томе, сви узорци сфалерита из рудног лежишта Кижевак имају веома добро слагање између t_{d1} и температура које су добијене другим методама/минералима. Са друге стране, поређењем температурних резултата (t_{d2}) са резултатима који су добијени преко Kullerud-ове криве (t_2), добијене су само две сличне вредности за $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ садржаје (узорци 15.611 мрко-црвени и 15.640 мрко-црни у табели 2). Такође, поједини узорци показују значајне разлике између t_4 и t_5 , што може указивати или на лошу одредбу Mn садржаја, или на неравнотежу између сфалерита и галенита.

Добијене температурне вредности за рудна лежишта Тречча и Пречица-Црвени Брег (Авала) су у врло доброј сагласности са добијеним вредностима из геотермометрије арсенопирита (Танчић и др., 2001; Јанежић и др., 2003 и 2004) од око 485 °C за рудно лежиште Тречча и 510 °C за рудно лежиште Црвени Брег.

Очигледно је да су t_{d1} и t_1 (а такође и t_{d2} и t_2) скоро истоветни код узорка који пресецају или су врло близу основне линије, као што је приказано на слици 4, док се код осталих неслагања увећавају са удаљеношћу од основне линије.

Код већине добијених притисака (P_{d1} and P_{d2}) постоје велика неслагања са онима који су добијени из једначина и дијаграма које су представили Lusk и Ford (1978)- P_1 и P_2 (табеле 1 и 2). Добијене P_{d1} вредности су много објективније него P_1 код двадесет узорка. P_{d1} и P_1 вредности су скоро подједнаке за рудна лежишта Селанац, Тречча, Јањево, Пречица и Црвени Брег (пет узорка) и за два узорка из рудних лежишта Црнац и Кижевак (са највећим садржајима FeS), а што је највероватније услед њихове температуре постанка изнад 350 °C. Надаље, P_{d2} вредности су много објективније од P_2 за четрнаест узорка, а P_{d2} и P_2 су скоро подједнаки само за два узорка.

Сфалерит из рудног лежишта Црнац је један узорак који је фракционисан (Николић и др., 1978), и стога је притисак (P_{d1}) са малом варијацијом (т.ј. од $8\pm 0,5$ до 10 ± 1 kbar-a).

Просечне одређене температуре (t_{d1} и t_{d2}) и притисци (P_{d1} и P_{d2}) из свих проучаваних узорка за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково,

$-t_{d1}$ and t_4 (Bethke and Barton, 1971): 15.635 yellow ($t_{d1}=225\pm 10$ °C; $t_4=242$ °C); 15.623 yellow ($t_{d1}=245\pm 8$ °C; $t_4=259$ °C); and 15.629 brown ($t_{d1}=330\pm 8$ °C; $t_4=343$ °C); and

$-t_{d1}$ and $t_{4,5}$ (Bethke and Barton, 1971): 15.634 brown ($t_{d1}=295\pm 9$ °C; $t_{4,5}=302\pm 53$ °C); and 15.611 brownish-red ($t_{d1}=405\pm 9$ °C; $t_{4,5}=442\pm 23$ °C).

Therefore, all of the sphalerite specimens from the Kiževak ore deposit have very good correlation between t_{d1} and temperatures obtained with other methods/minerals. On the other hand, by comparison of the temperature results (t_{d2}) with the results obtained by Kullerud's curve (t_2), there were obtained only two similar values for the $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ contents (specimens 15.611 brownish-red and 15.640 brownish-black at table 2). Also, some specimens have the considerable difference between t_4 and t_5 , which could indicate either to a bad determination of the Mn contents, or either to disequilibrium between sphalerite and galena.

Obtained temperature values for the Trepča and Prečica-Crveni Breg (Avala) ore deposits are in very good agreement with the obtained values from the arsenopyrite geothermometry (Tančić et al., 2001; Janežič et al., 2003 and 2004) of about 485 °C for the Trepča ore deposit and 510 °C for the Crveni Breg ore deposit.

It is obvious that t_{d1} and t_1 (and also t_{d2} and t_2) are almost the same for the samples which intersects or are very near to the base line, shown on figure 4, while for the others disagreements are increasing towards the farness from the base line.

For the mostly obtained pressures (P_{d1} and P_{d2}) there are large disagreements with that which was obtained from equations and diagrams presented by Lusk and Ford (1978)- P_1 and P_2 (tables 1 and 2). The obtained P_{d1} values are more objective than P_1 for twenty samples. The P_{d1} and P_1 values are almost the same for the Selanac, Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg ore deposits (five samples) and for two samples from Crnac and Kiževak ore deposits (with highest FeS content), which is most probably due to their formation temperature over 350 °C. Furthermore, P_{d2} values are more objective than P_2 for fourteen samples, and P_{d2} and P_2 are almost the same only for two samples.

Sphalerite from the Crnac ore deposit is one sample which is fractioned (Nikolić et al., 1978), and consequently pressure (P_{d1}) is with little variation (i.e. from 8 ± 0.5 to 10 ± 1 kbar).

The average determined temperatures (t_{d1} and t_{d2}) and pressures (P_{d1} and P_{d2}) from all of the studied samples for the ore deposits Lece, Šuplja Stije-

Црнац и Кижевак су приказане у табели 3. Ради поређења, ови подаци добијени преко Kullerud-ове (1953) криве и једначине и дијаграма који су презентовали Lusk и Ford (1978) код Танчић-а (2018) су такође додати у табели 3 и означени са t_{d1}^* , t_{d2}^* , P_{d1}^* and P_{d2}^* .

na-Brskovo, Crnac and Kiževak are presented at table 3. For the comparison, these data obtained with Kullerud's (1953) curve and equation and diagram which were presented by Lusk and Ford (1978) at Tančić (2018) were also added at table 3 and marked with t_{d1}^* , t_{d2}^* , P_{d1}^* and P_{d2}^* .

Табела 3, Просечне одређене температуре (t_{d1} и t_{d2}) и притисци (P_{d1} и P_{d2}) за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково, Црнац и Кижевак
 Table 3, Average determined temperatures (t_{d1} and t_{d2}) and pressures (P_{d1} and P_{d2}) for the ore deposits Lece, Šuplja Stijena-Brskovo, Crnac and Kiževak

Рудно лежиште Ore deposit		t_{d1}	P_{d1}	t_{d2}	P_{d2}	t_{d1}^*	P_{d1}^*	t_{d2}^*	P_{d2}^*
Леце Lece		80±3	4.0	/	/	100	>20	/	/
Шупља Стијена-Брсково Šuplja Stijena-Brskovo		150±20	6.0±1.1	/	/	178	>16	/	/
Црнац Crnac		184±12	8.9±0.6	284±13	5.8±0.4	118	>19	305	>9
Кижевак Kiževak	цело лежиште whole deposit	312±9	10.0±0.3	374±8	8.2±0.2	178	>16	276	>11
	670m	328±10	9.2±0.2	392±8	7.2±0.2	206	>14	308	>9
	690m	353±8	8.2±0.2	418±7	6.0±0.2	253	>12	317	>8
	710m	272±9	11.9±0.5	331±9	10.4±0.2	108	>20	208	>14
	жути yellow	237±9	12.0±0.5	313±9	11.3±0.5	54	>23	165	17
мрки brown	349±9	9.1±0.3	404±8	6.7±0.1	240	>13	332	>8	

Сходно просечним одређеним температурама, приказаних у табели 3, као и другим појединачним вредностима, приказано у табели 1, проучавана рудна лежишта су подељена у три групе:

1. Ниско температурни регион (<200 °C) за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково и Црнац;
2. Средње температурни регион (од 200 до 450 °C) за рудна лежишта Кижевак и Селанац; и
3. Високо температурни регион (>450 °C) за рудна лежишта Треча, Јанево, Пречица и Црвени Брег.

Дангић и др.,1998) су проучавали изотопски састав сумпора у сулфидима рудног лежишта Кижевак. Њиховим проучавањима утврђен је уски $\delta^{34}\text{S}$ варијациони интервал код галенита (2,19 ‰), сфалерита (1,70 ‰) и пирита (1,36 ‰) који указује на стабилне услове у хидротермалном систему (узак температурни опсег), а што је у врло доброј сагласности са резултатима у овоме раду (т.ј. од 225 до 465, просечно 312 °C). Добијене просечне $\delta^{34}\text{S}$ вредности из рада Дангић-а и др., 1998, табеле 1 и 2, су искоришћене за процену температуре овог рудног лежишта у овом раду (т.ј. углавном са хоризонта на 690m, због тога што је већина њихових проучаваних

According to table 3, the average determined temperatures, as well as to the other individual values, table 1, the studied ore deposits are separated into three groups:

1. Low temperature region (<200 °C) for the ore deposits Lece, Šuplja Stijena-Brskovo and Crnac;
2. Middle temperature region (from 200 to 450 °C) for the ore deposits Kiževak and Selanac; and
3. High temperature region (>450 °C) for the ore deposits Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg.

Dangić et al. (1998) studied isotopic sulfur composition of sulfides from the Kiževak ore deposit. With their studies it was determined narrow $\delta^{34}\text{S}$ variation interval at galena (2.19 ‰), sphalerite (1.70 ‰) and pyrite (1.36 ‰) which indicate to the stable conditions in the hydrothermal system (narrow temperature range), and in a very good agreement with the results in this paper (i.e. from 225 to 465, average 312 °C). Obtained average $\delta^{34}\text{S}$ values from paper by Dangić et al. (1998, Tables 1 and 2) were used for estimating the temperature of this ore deposit in this paper (i.e. mainly for the horizon at 690m, because the majority of their studied samples (6) is from that horizon, one

узорака (6) са тог хоризонта, један је са хоризонта на 670m и два са хоризонта на 710m, п. а.).

Прво, за процену температуре коришћена је калибрациона крива дата од стране Rye и Czamanske (1969) код Field и Moore (1971, Слика 6). Прерачунате су разлике између одговарајућих минералних парова: сфалерит-галенит ($\Delta=4,910-2,975=1,935$), пирит-сфалерит ($\Delta=6,700-4,910=1,790$) и пирит-галенит ($\Delta=6,700-2,975=3,725$). Ови подаци су даље коришћени за добијање температуре постанка од око 350 °C, што је у изванредној сагласности са добијеном вредношћу за хоризонт на 690m од $353\pm 8^\circ\text{C}$, приказано у табели 3.

Друго, коришћен је регресиони израз дат од стране Ohmoto и Rye (1979) за одређивање температуре путем сфалерит-галенит разлике ($\Delta=1,935$). На овакав начин, добијена је температура од 341 °C, што је такође у изванредној сагласности са претходним проучавањима за хоризонт на 690m.

Добијене разлике у температурама из рудног лежишта Кижевак од 272 ± 9 до 353 ± 8 °C нису много изражене, што је такође у сагласности са добијеним резултатима од стране Дангић и др. (1998) и Судар (2001 и 2003).

Као што се може видети, добијени резултати из предложеног четворо-компонентног дијаграма су позитивни и охрабрујући због тога што велика већина узорака показује много објективније податке од оних добијених помоћу Kullerud-ове (1953) криве и једначине и дијаграма који су представили Lusk и Ford (1978). Ово је проверено поређењем са резултатима који су добијени многим другим методама и минералима.

Са слике 4 и из табела 2 и 3 може се закључити да $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ садржаји нису од користи за објективне закључке, због тога што показују значајно више добијене температуре ($\Delta=100$ °C за Црнац и $\Delta=55-76$ °C за Кижевак) и ниже притиске ($\Delta=3,1$ kbar-а за Црнац и $\Delta=0,7-2,4$ kbar-а за Кижевак), него они који су добијени из FeS садржаја, а што је у врло доброј сагласности са претходним проучавањима (Scott, 1973; Toulmin и др., 1991; Танчић и Судар, 2005; и Танчић, 2018).

ЗАКЉУЧАК

Израђена је и предложена I опција четворо-компонентног a_0 -FeS-P-t дијаграма. За коришћење оваквог дијаграма довољно је само да се израчуна димензија јединичне ћелије (a_0) и да се добије садржај FeS компоненте проуча-

is from horizon at 670m and two from horizon at 710m, a. r.).

First, for the estimation of temperature it was used calibration curve by Rye and Czamanske (1969) at Field and Moore (1971, Figure 6). There were recalculated the differences between the corresponding mineral pairs: sphalerite-galena ($\Delta=4.910-2.975=1.935$), pyrite-sphalerite ($\Delta=6.700-4.910=1.790$) and pyrite-galena ($\Delta=6.700-2.975=3.725$). These data were further used for obtaining formation temperature of about 350 °C, what is in excellent agreement with the obtained value for the 690m horizon of $353\pm 8^\circ\text{C}$ (Table 3).

Second, it was used the regression expression by Ohmoto and Rye (1979) for the temperature determination by the sphalerite-galena difference ($\Delta=1.935$). At such manner, it was obtained temperature of 341 °C, which is also in excellent agreement with previous studies for the 690m horizon.

Obtained differences of temperatures from the Kiževak ore deposit from 272 ± 9 to 353 ± 8 °C are not much pronounced, what is also in agreement with the obtained results by Dangić et al. (1998) and Sudar (2001 and 2003).

As it could be seen, the obtained results from proposed four-component diagram are positive and encouraging because the great majority of samples show more objective data than that obtained by Kullerud's (1953) curve and equation and diagram which were presented by Lusk and Ford (1978). This is checked with comparison with the results which were obtained by many other methods and minerals.

From figure 4 and tables 2 and 3 it can be concluded that the $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ contents are not useful for the objective conclusions, because they show considerable higher obtained temperatures ($\Delta=100$ °C for Crnac and $\Delta=55-76$ °C for Kiževak) and lower pressures ($\Delta=3.1$ kbar for Crnac and $\Delta=0.7-2.4$ kbar for Kiževak), than that obtained from the FeS contents, and in very good agreement with the previous studies (Scott, 1973; Toulmin et al., 1991; Tančić and Sudar, 2005; and Tančić, 2018).

CONCLUSION

It was constructed and proposed I option of the four-component a_0 -FeS-P-t diagram. For use of such diagram it is only enough to calculate the unit cell dimension (a_0) and obtain the content of the FeS component of the studied sphalerite, and then

ваног сфалерита, а да се затим на основу тих вредности одреди температура и притисак његовог настанка. Добијени резултати су позитивни и охрабрујући услед тога што је велика већина температурних вредности за рудна лежишта Леце, Шупља Стијена-Брсково, Црнац, Кижевак, Селанац, Трепча, Јањево, Пречица и Црвени Брег у сагласности са резултатима који су добијени другим методама/минералима, а такође су и бољи од оних који су добијени преко Kullerud-ове (1953) криве. Добијени притисци за ниже температуре су највероватније нешто виши него што је то у стварности, али такође много бољи него они који су добијени преко једначине и дијаграма које су представили Lusk и Ford (1978).

Очигледни су мање или више различити услови постанка за испитиване сфалерите и различита рудна лежишта, који су подељени у три групе: ниско, средње и високо температурни регион.

Потврђено је да $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ садржаји нису од користи за објективне закључке због тога што показују значајно више добијене температуре и ниже притиске од оних који су добијени преко FeS садржаја.

Добијени подаци потврђују претпоставке дате од стране Танчић-а (2018), т.ј. да су димензије јединичне ћелије (a_0) веома важне, а да сфалерит може бити од користи заједно и као геотермометар и као геобарометар.

at basis of that values to determine the temperature and pressure of its origin. The obtained results are positive and encouraging because the great majority of temperature values of the samples from the Lece, Šuplja Stijena-Brskovo, Crnac, Kiževak, Selanac, Trepča, Janjevo, Prečica and Crveni Breg ore deposits show an agreement with the results which were obtained by other methods/minerals, and also they are better than that obtained by Kullerud's (1953) curve. Obtained pressures for lower temperatures are most probably something higher than real, but also much better than that obtained by equation and diagram which were presented by Lusk and Ford (1978).

There are obvious more or less different formation conditions for the studied sphalerites and various ore deposits, which are separated into three groups: low, middle and high temperature region.

It was confirmed that contents of the $\Sigma(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cd})\text{S}$ are not useful for the objective conclusions because they show considerable higher obtained temperatures and lower pressures than that obtained from the FeS contents.

The obtained data confirmed suppositions by Tančić (2018), i.e. that the unit cell dimensions (a_0) are very important, and that sphalerite can be useful together as a geothermometer and as a geobarometer.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Balabin, A. I., Sack, R. O., Thermodynamics of (Zn,Fe)S sphalerite: a CVM approach with large basis clusters, *Min. Mag.*, 64, 2000, pp. 923-943.
2. Barton, P. B., Jr., Toulmin, P., Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system, *Econ. Geol.*, 61, 1966, pp. 815-849.
3. Bethke, P. M., Barton, P. B., Jr., Distribution of Some Minor Elements between Coexisting Sulfide minerals, *Econ. Geol.*, 66, 1971, pp. 140-163.
4. Dangić, A., Sudar, S., Cei, B., Zhu, W., Isotopic composition of sulfur in sulfides in the Pb-Zn ore deposit Kiževak (central Serbia), 13th Congress of the Geologist of Yugoslavia, book III, Petrology, mineralogy, geochemistry, Herceg Novi, 1998, pp. 161-169, (in Serbian with English Summary).
5. Field, C. W., Moore, W. J., Sulfur Isotope Study of the "B" Limestone and Galena Fissure Ore Deposits of the U. S. Mine, Bingham Mining district, Utah, *Econ. Geol.*, 66, 1971, pp. 48-62.
6. Janežič, V., Tančić, P. and Dimitrijević, R., X-ray investigations of arsenopyrites from some ore deposits of Serbia, *Bulletin of Geoinstitute*, 38, 2003, pp. 119-127.
7. Janežič, V., Tančić, P., Dimitrijević, R., Arsenopyrite characteristics from the Crveni Breg, Rudnik and Sastavci ore deposits (Serbia), 32nd International Geological Congress, Scientific Sessions: abstracts 1-220, G15.03 Crystal structures of minerals: topology and classification, Florence, Italy, 2004, pp. 42-32.
8. Janković, S., Janković-Milosavljević, R., The iron content and formation temperature of sphalerites in some Yugoslavian ore deposits, *Transactions of the Geological and Mining Faculties*, 3, 1955, pp. 19-23. (in Serbian with German Abstract).

9. Krstanović, I., Krstanović, M., Change in unit cell dimensions of sphalerites with the Fe content, and the temperature of formation of some of ours sulphide ore deposits, V Consultations of the Geologists in SFRY, II, Belgrade, 1962, pp. 7-10, (in Serbian with English Abstract).
10. Kullerud, G., The FeS-ZnS system: A geological thermometer, Norsk Geologisk Tidsskrift, 32, 1953, pp. 61-147.
11. Lusk, J., Ford, C. E., Experimental extension of the sphalerite geobarometer to 10 kbar, Am. Min., 63, 1978, pp. 516-519.
12. Nikolić, D., Cvetković, Lj., Đurić, S., Sphalerite from the Crnac Pb-Zn ore deposit, IX Congress of the Yugoslavian Geologists, Sarajevo, 1978, pp. 409-415, Sarajevo. (in Serbian with English Summary).
13. Ohmoto, H., Rye, R. O., Isotopes of sulfur and carbon, In: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Barnes, H. L. (ed.), J. Wiley and Sons, 1979, pp. 509-567.
14. Scott, S. D., Experimental calibration on the sphalerite geobarometer, Econ Geol., 68, 1973, pp. 466-474.
15. Sudar, S., Contents and distribution of the microelements at the ore minerals of the Pb - Zn ore deposit Kiževak, Magistrature theses, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 2001, (in Serbian)
16. Sudar, S., Geochemistry of micro and macro elements in sphalerites of the Pb - Zn ore deposit Kiževak (Raška, Serbia), Bulletin of Geoinstitute, vol. 38, Belgrade, 2003, pp. 87-100.
17. Tančić, P., Relation between the crystallographical parameters and the FeS and CuS contents at sphalerites from Kizevak, XII Conference of the Serbian Crystallographic Society, Proceedings, Kragujevac, 2004, 44 p.
18. Tančić, P., Comparison of the crystallographic-chemical characteristics of sphalerites from the Kiževak ore deposit with some other deposits, Part I: Preliminary reconsideration about their formation conditions, Bulletin of Mines, Belgrade, 2018, pp. 101-117.
19. Tančić, P., Sudar, S., Crystallographically-chemical characteristics of sphalerites from the polymetallic Pb-Zn ore deposit Kizevak (Raska, Serbia), Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 47, Sofia, Bulgaria, 2004, pp. 159-163.
20. Tančić, P., Sudar, S., Crystallochemically investigations of the sphalerites from the polymetallic Pb-Zn ore deposit Kizevak, Bulletin of Geoinstitute, vol. 40, Belgrade, 2005, pp. 123-140.
21. Tančić, P., Dimitrijević, R., Janežić, V., Arsenopyrites from some ore deposits of Serbia, IX Conference of the Serbian Crystallographic Society, Proceedings, Belgrade, 2001, 35 p.
22. Toulmin, P., III, Barton, P. B., Jr., Wiggins, L. B., Commentary on the sphalerite geobarometer, Am. Min., 76, 1991, pp. 1038-1051.
23. Vaughan, D. J., (ed), Sulfide Mineralogy and Geochemistry, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, The Mineralogical Society of America, Virginia, USA, 61, 2006, 714 p.
24. Wiggins, L. B., Craig, J. R., Reconnaissance of the Cu-Fe-Zn-S system: Sphalerite phase relationships, Econ. Geol., 75, 1980, pp. 742-751.