



Geological characteristics and 3D modeling of the Pobrđe borate deposit

Branko KOSTIĆ^{1*} , Dragana ŽIVOTIĆ¹  & Vladimir SIMIĆ¹ 

¹University of Belgrade - Faculty of Mining and Geology, Djusina 7, 11000 Belgrade, Serbia.

*Corresponding Author e-mail: G612-23@student.rgf.bg.ac.rs

Abstract: The volcanogenic–sedimentary Pobrđe deposit represents the first and currently the only active borate mine within the territory of the Republic of Serbia. The genesis and present-day morphology of the deposit are the result of a complex interaction between tectonic processes, hydrothermal fluids, and a lacustrine environment, controlled by specific relief and paleoclimatic conditions.

The Pobrđe deposit is located within the Ibar intramontane basin, which belongs to the Dinaric tectonic belt and represents one of the Neogene lacustrine systems. Based on exploration drilling and mining exploration activities, the morphostructural and morphogenetic characteristics of the deposit were defined, indicating a geometry composed of two subparallel layers. The geological setting of the deposit is characterized by an alternation of sandstones, claystones, volcanoclastics, tuffaceous sediments, and carbonates, with a characteristic presence of kerogen observed throughout the underground mine workings. Implicit modeling of the ore bodies was performed using the Studio RM software package (Datamine), resulting in the development of a genetic model of the deposit. The database was constructed from exploration drillhole data and detailed mapping of underground mine workings, which enabled the generation of a series of pseudo-drillholes based on mapped drifts. The modeling results identified three subparallel ore layers, as well as a zone of vertical mineralization in the southern part of the investigated area, suggesting the presence of a potential feeder structure. The model highlights the southern part of the deposit as particularly prospective in terms of resource expansion.

Keywords: implicit modeling; Studio RM/Datamine; Ibar Basin; borates.

Article history: <Manuscript received 30 January 2026. - Accepted 26 February 2026>

Геолошке карактеристике и 3Д модел лежишта бората Побрђе

Бранко КОСТИЋ^{1*}, Драгана ЖИВОТИЋ¹ & Владимир СИМИЋ¹

¹Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, 11000 Београд, Србија.

*Corresponding Author e-mail: G612-23@student.rgf.bg.ac.rs

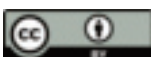
Апстракт: Вулканогено – седиментно лежиште Побрђе је први и тренутно једини активни рудник бората на простору Републике Србије. Специфична интеракција тектонских процеса, хидротермалних раствора и језерске средине обликоване карактеристичним рељефом и климатским условима, допринела је генези лежишта и његовом савременом облику.

Ибарски интрамонтански басен, у оквиру којег се налази лежиште Побрђе, припада Динарском појасу и један је од неогених језерских система. Истражним бушењем и рударским истражним радовима дефинисан је морфоструктурно-морфогенетски облик лежишта представљен са два субпаралелна слоја. Геолошку грађу лежишта карактерише смена пешчара, глинаца, вуланоластита, туфогених седимената и карбонатних стена уз карактеристично присуство керогена опажано дуж јамских просторија рудника.

Применом софтверског пакета Studio RM - програма Datamine извршено је имплицитно моделовање рудних тела при чему је креиран генетски модел. База података заснива се на истражним бушотинама и картирању јамских просторија помоћу којег је израђен низ псеудобушотина заснован на картираним ортовима. Моделовањем је издвојено три субпаралелна рудна слоја уз присуство зоне вертикалног оруђења у јужном делу истраживаног подручја које указује на потенцијални доводни канал. Модел указује на потенцијалност јужног дела лежишта са аспекта повећања ресурса.

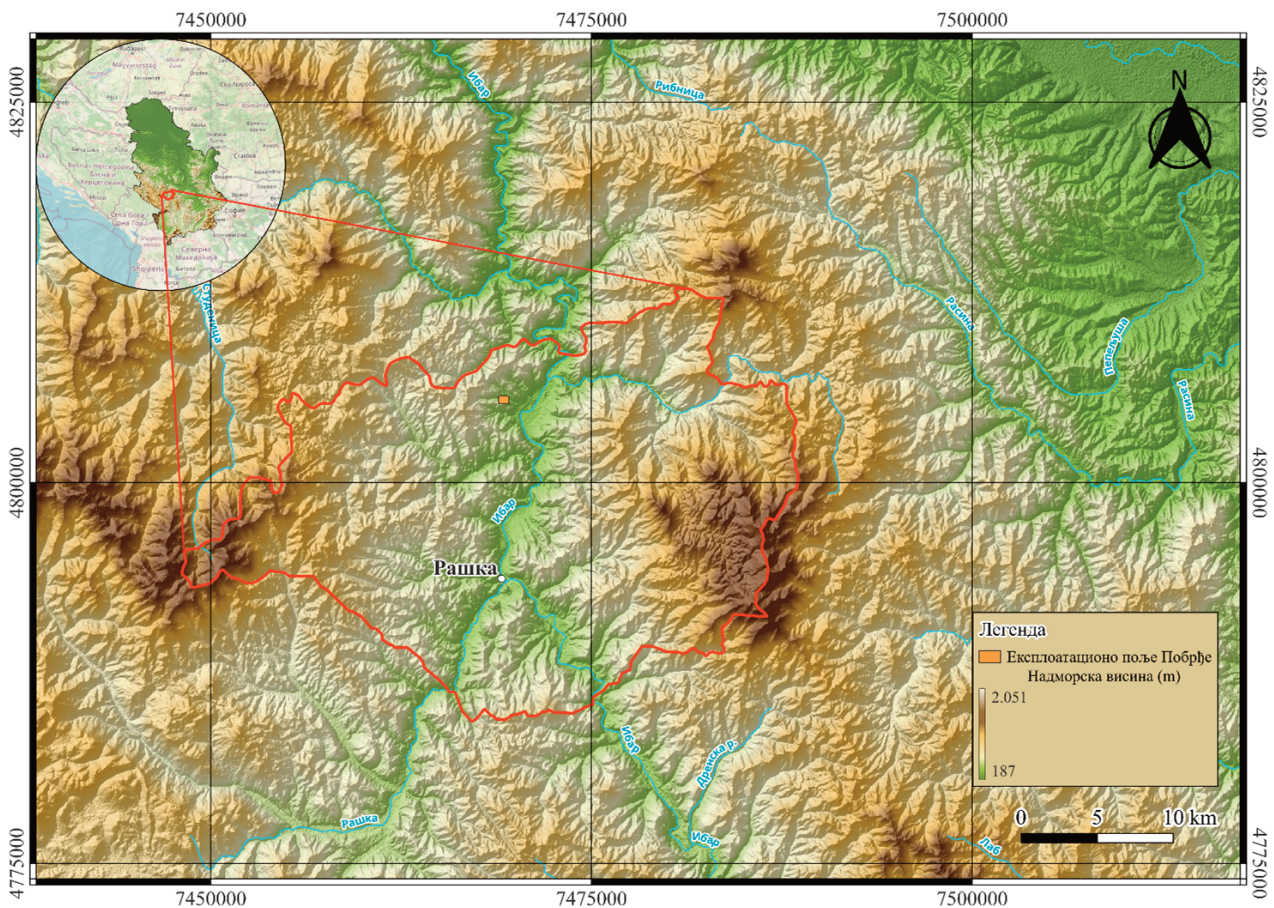
Кључне речи: имплицитно моделовање; Studio RM/Datamine; Ибарски басен; борати.

Хронологија: <Рад примљен 30. јануар 2026. - Прихваћен 26. фебруар 2026>



1. Увод

Јарандолски интрамонтански неогени суб-басен представља део Ибарског басена који се простире дуж правца север-југ, од Ушћа на северу до Рашке на југу (Слика 1). Ова група обухвата, поред Јарандолског, и Ушћански, Тадењски и Градачки суб-басен. Интрамонтанске басене у полусушним и сушним регионима често карактерише хетерогена седиментација, под утицајем климатских, хидролошких, биолошких и тектонских фактора (Cohen et al., 2015).



Слика 1. Географска карта истражног подручја Побрђе (Према <https://www.diva-gis.org/>)

Настанак Јарандолског суб-басена везан је за почетак миоцена, када је дошло до раседања палеорељефа изграђеног пре свега од серпентинита и старијих дацитских андезита у област интензивне вишеструке вулканске активности (Andrić et al., 2015, Schefer et al., 2011). Седиментација у оквиру Ибарског басена започиње депоновањем базалтних конгломерата. У овим конгломератима, поред старијих валутака различитих геолошких формација, препознати су и фрагменти вулканита прве вулканске фазе из Копаоничке области (Куређевић, 2013). Изнад ових следе слојеви пешчара променљиве дебљине, разноврсног састава и величине зрна, који постепено прелазе у глинце и лапорце. Дакле, процес запуњавања језера односно Јарандолског суб-басена, започео је након што је дошло до изливања вулканита прве фазе андезитско-дацитског типа, наставило се током друге кварцлатитске вулканске фазе и завршено је након утискивања гранодиоритске интрузије на Копаонику. Еволуција Ибарског басена поклапа се са миоценским климатским оптимумом (~18–13 Ма), када су тектонске екстензионе фазе и локални магматизам значајно утицали на седиментацију и проток рудоносних хидротермалних раствора (Andrić et al., 2017, Sant et al., 2018). Током еволуције, суб-басени какав је и Јарандолски могу постати хидролошки затворени и развити слано-

алкални карактер (Renaut et al., 2021). У случају Ибарског басена, депозиција је такође под утицајем геотермалних извора и пост-екстензионих тектонских догађаја (Andrić et al., 2015; Schefer et al., 2011). У овом контексту, Ибарски басен представља оптимално место за проучавање интеракције климатских, хидротермалних и тектонских фактора у контроли депозиције борних минерала, као и алкалних седимената у интрамонтанским басенима Динарида (Andrić-Tomašević et al., 2025).

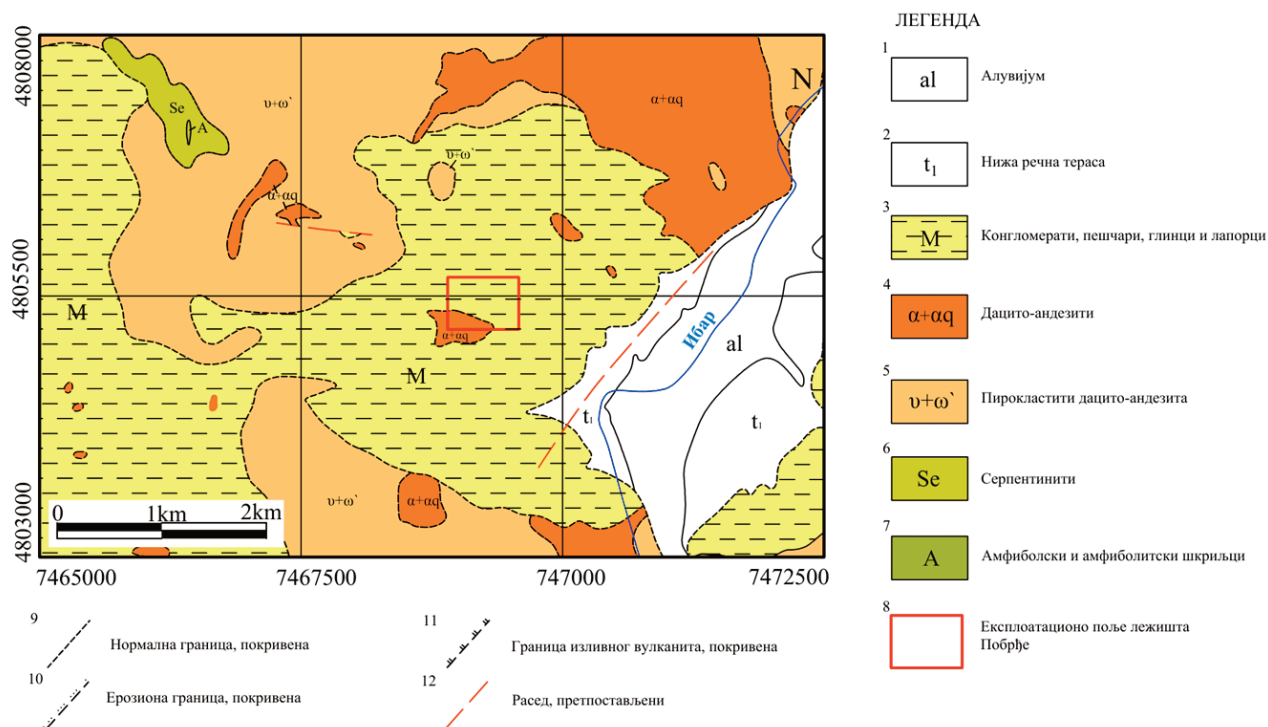
Савремени концепт истраживања лежишта минералних сировина све више примењује метод 3Д геолошко моделовање као кључни алат за интеграцију различитих података у циљу унапређење разумевања просторног положаја рудних тела, као и променљивости квалитета у простору. За разлику од класичних дводимензионалних карата и профила, 3Д геолошки модели омогућавају реалистичну визуелизацију геолошке грађе, структурних елемената и геометрије рудних тела у простору, као и анализу њихових међусобних односа (Turner, 2006). Геолошко моделовање представља процес реконструкције подповршинске геолошке средине на основу геолошких, геофизичких, геохемијских података, као и рударских истражних радова, при чему се примењују експлицитне или имплицитне методе интерполације (Caumon et al., 2009; Guo et al., 2020). Примена 3Д модела омогућава интеграцију података различите резолуције и степена поузданости у јединствен геолошки модел који служи као основа за доношење одлука у планирању и управљању ресурсима (Yan-lin et al., 2011).

Овај рад обухвата израду и анализу 3Д геолошког модела лежишта Побрђе, заснованог на подацима из истражних бушотина и рударских истражних радова. У оквиру истраживања извршено је одређивање кључних геолошких карактеристика лежишта које условљавају и унапређују квалитет 3Д модела, са посебним освртом на просторну интерпретацију литолошких јединица и борне минерализације у оквиру Побрђског дела Јарандолског суб-басена. Рад указује на значај 3Д моделовања као специфичног метода у геолошким истраживањима и доприноси разумевању унутрашње грађе и еволуције вулканогено – седиментног лежишта Побрђе у Јарандолском суб-басену.

2. Геолошке карактеристике

Ибарски басен је интрамонтански басен у унутрашњим Динаридима, формиран током миоцена као „supra-detachment“ басен чија еволуција се везује за екстензију и ексхумацију метаморфног језгра Копаника и Студенице пре 21-17 Ма (Слика 2, Schefer et al., 2010). Седиментација у оквиру басена је почела у континенталним условима пре око 19–17 Ма и обухватила је све континенталне фазије, од алувијалних и делтних до слатководних језерских средина (Krstić et al., 2001; Prysazhnjuk et al., 2000). Током фазе отвореног језера, хумидна клима миоценског климатског оптимума (МСО), у комбинацији са тектонским активностима, контролисала је висок прилив седимената у басен. Алувијални и делтни седименти указују да је материјал у њима пореклом из локалних извора - офилита, андезита и гранодиорита. Промена климе ка ариднијим климатским условима довела је до формирања затвореног језерског система, са карактеристичним падом нивоа воде. Кратки хумидни периоди карактерисани су повишеним водостајем који је допринео таложењу кластичних седимената (Obradović et al., 1992). Термална историја басена је одређена применом метода „fission track“ на узорцима апатита и циркона и података добијених мерењем рефлексије витринита, показујући максималне палеотемпературе од 120–130 °C (Andrić et al., 2015). Већа рефлексија витринита у узорцима из Тадењског суб-басена указује на већу термалну енергију у односу на Пискањски део Јарандолског суб-басена. Период хлађења, а на основу моделовања термалних података апатита, почиње пре 10-8 Ма (Andrić et al., 2015), док се у оквиру лежишта Пискања локални термални утицај манифестује око 7,1 Ма што указује на накнадна резагревања (Schefer et al., 2011). Термална еволуција контролисана је ексхумацијом и хлађењем Студеничког и Копаничког језгра, при чему је брзо хлађење подинског блока довело до преноса топлоте на повлатни блок басена. Промена са екстензије на инверзију басена и ерозију, као период хлађења од око 10–8 Ма, означава промену тектонских услова. Синхрони тектонски и магматски процеси у подручју са аридним климом утицали су на стварање и развој сланих-алкалних језера. У централним деловима Јарандолског суб-басена локализована су лежишта

бората, која се стратиграфски налазе изнад магнетита и угљених слојева (Obradović & Vasić, 1990). Хидротермални флуиди као носиоци бора у језерској средини са високим односом $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ утицали су на кристализацију колеманита, док је каснија промена хемизма раствора услед растварања глина условила таложење Na–Ca и Na-бората као што су улексит и боракс (Andrić-Tomašević et al., 2025). У завршним фазама генезе борних минерала обогаћење порних флуида силицијумом условило је таложење хаулита, који је делимично заменио раније формиран колеманит (Obradović et al., 1992).



Слика 2. Геолошка карта шире околине лежишта Побрђе (Модификовано према Урошевић et al. 1973)

3. Методе

У раду су коришћени софтверски пакети Studio RM и AutoCAD. У сврху 3Д компјутерског моделовања лежишта примењен је програм Datamine Studio RM верзија 1.13.202.0. AutoCAD v.2023 коришћен је у циљу дефинисања просторног положаја јамских просторија рудника Побрђе, као и картираних и опробованих ортова. На основу тако добијених података касније је креиран низ додатних тачака-псеудобушотина ради добијања тачнијег просторног размештаја борне минерализације и ефикаснијег планирања будућих рударских активности.

3.1 База података

За потребе израде 3Д геолошког модела коришћен је софтвер Datamine, у оквиру кога је формирана јединствена релациона база података састављена од четири основне базе: Collar, Survey, Lithology и Assay. Наведене базе представљају основни скуп улазних података за просторну интерпретацију истражних бушотина и омогућавају интеграцију геометријских, геолошких и квалитативних параметара лежишта.

3.1.1 Collar база података

Collar база података садржи основне информације о бушотинама (Слика 3а), које дефинишу њихов просторни положај и опште техничке карактеристике. У овој бази су евидентиране координате улазних тачака бушотина (X, Y, Z), укупна дубина бушотина (ENDDPTH), као и референтни систем (REFSYS) и референтни метод (REFMETH) уз датум извођења бушења (ENDDATE). Ови подаци представљају примарни референтни оквир за позиционирање бушотина у просторном координатном систему и неопходни су за све даље фазе моделовања.

3.1.2 Survey база података

Survey база података обухвата параметре оријентације бушотина дуж њихове осе (Слика 3б). У њој су дефинисани елементи пада бушотина по дубинским интервалима, као и подаци о евентуалним девијацијама од пројектованог правца бушења. Поред колона за појединачне бушотине (BHID) у оквиру ове базе налазе се и колона за интеервале (AT), колона за азимут (BRG), као и колона за пад бушотина (DIP). Ови подаци омогућавају корекцију стварног просторног положаја бушотина и обезбеђују тачност геометријске интерпретације у простору.

а)

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	ENDDEPTH	REFSYS	REFMETH	ENDDATE
B-1	7469154	4805483	461.3	70	Local	GPS	11.11.1983
B-2	7469152	4805460	469.63	68	Local	GPS	11.11.1983
B-3	7469113	4805479	468.63	45	Local	GPS	11.11.1983
B-4	7469186	4805450	466.83	70	Local	GPS	12.11.1983
B-5	7469181	4805476	458.7	96	Local	GPS	11.11.1983

б)

BHID	AT	BRG	DIP
B-1	0	180	90
B-1	70	180	90
B-2	0	180	90
B-2	68	180	90

г)

BHID	FROM	TO	B ₂ O ₃
B-1	41.97	42.57	27.6
B-1	42.57	43.27	35.93
B-1	43.27	43.47	36.22
B-2	27.7	29.7	35.61
B-2	62.0	62.6	36.9

в)

BHID	FROM	TO	NLITH	ZONE	LITH
B-1	0.0	6.0	1JH	1	Хумус
B-1	6.0	21.9	1JTK	5	Фино ламинирани лапорци и алевролити
B-1	21.9	27.1	3JV	3	Дацит
B-1	27.1	39.6	3JKV	3	Конгломерати са фрагментима дацита
B-1	39.6	41.0	3JKR	3	Бречасте лапоровити карбонати

Слика 3. Пример појединачних база података; а) Collar база; б) Survey база; в) Lithology база; г) Assay база;

3.1.3 Lithology база података

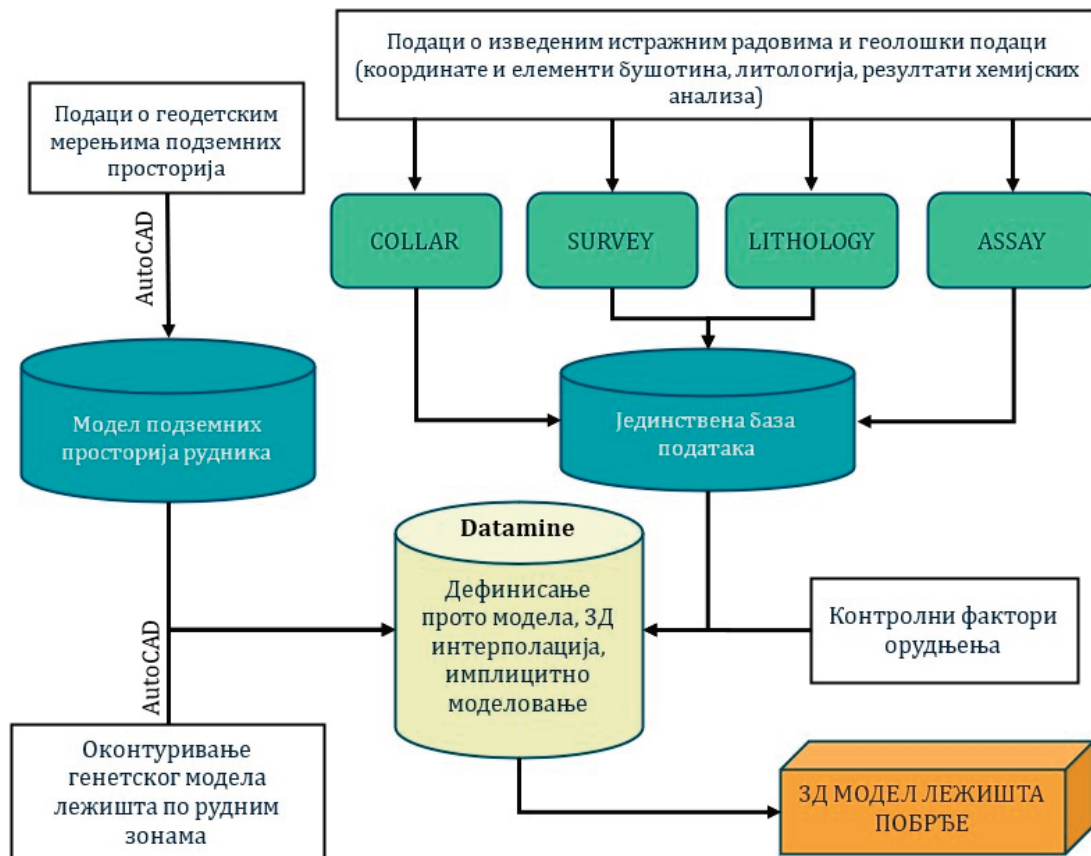
Lithology база података садржи резултате геолошког картирања бушотина по дубини (Слика 3в). Литолошке јединице су кодиране и класификоване у пет издвојених зона, на основу њихових литолошких карактеристика. У оквиру ове класификације, друга и четврта зона идентификоване су као рудне зоне. Оваква категоризација омогућава јасно разграничење литолошких целина и представља основу за дефинисање геолошких домена у процесу 3Д моделовања.

3.1.4 Assay база података

Assay база података садржи аналитичке резултате лабораторијских испитивања узорака из бушотина (Слика 3г). У базу су унети подаци о садржају B₂O₃ по опробованим интервалима. Ови подаци представљају основ за квалитативну и квантитативну анализу орудњења, као и за неопходно оконтуривање друге и четврте зоне. Такође, резултати лабораторијских испитивања могу бити коришћени за даљу процену расподеле корисне компоненте унутар дефинисаних геолошких блокова.

3.2 Метод 3Д моделовања

Процес израде модела састоји се од три дела (Слика 4). Први део има за циљ формирање појединачних база и унос података о просторном положају истражних радова, литологији и квалитету. Други део обрађује податке у циљу дигитализације истражних радова и подземних просторија у оквиру рудника Побрђе. Трећи део обухвата интерпретацију 3Д модела на основу комбинације оконтурених зона са јединственим моделом формираним интеграцијом свих позитивних интервала из истражних бушотина уз примену имплицитног моделовања. Креирани генетски модел примењује математичке алгоритме геометријске интерполације у циљу аутоматског генерисања слојева од интереса на основу података из бушотина поштујући геолошку контролу минерализације.



Слика 4. Блок шема 3Д моделовања (Модификовано према Xuan et al., 2024)

4. Резултати

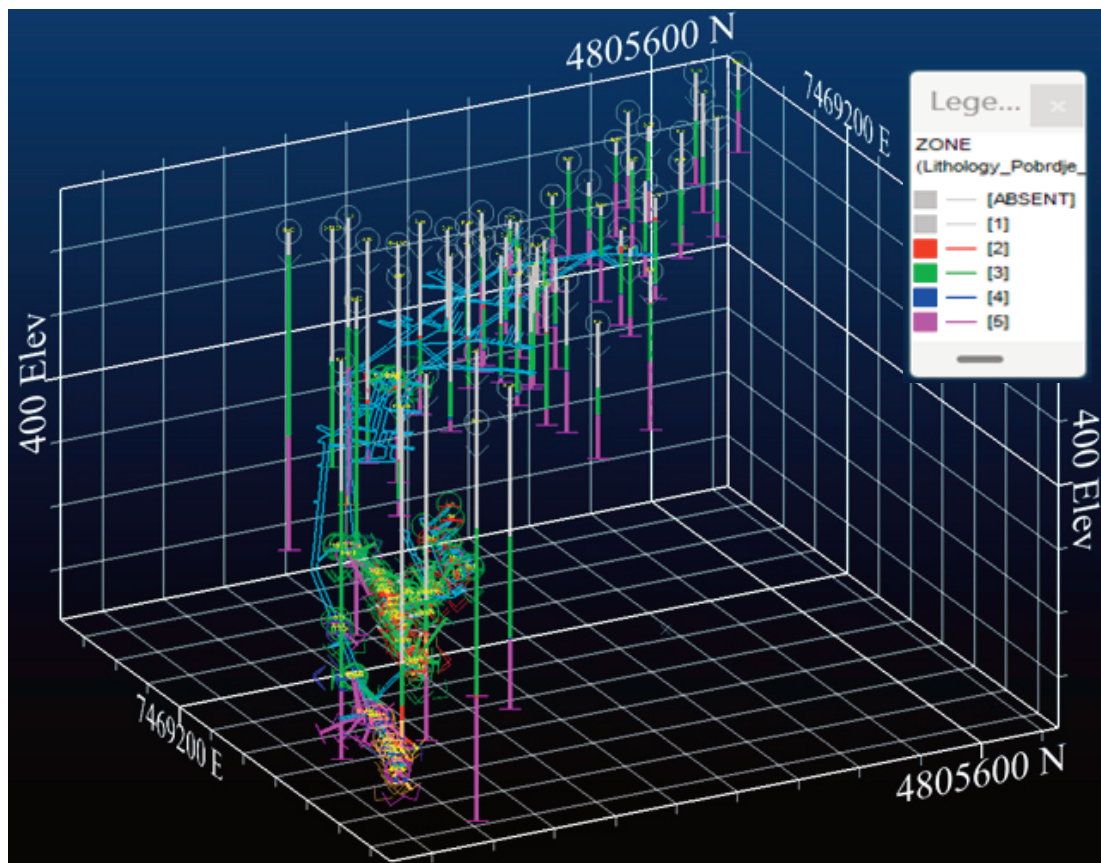
Применом софтверског пакета Studio RM и AutoCAD, као интеграцијом расположивих података израђен је 3Д генетски модел лежишта бората Побрђе.

4.1 Просторна интерпретација истражних бушотина и јамских просторија

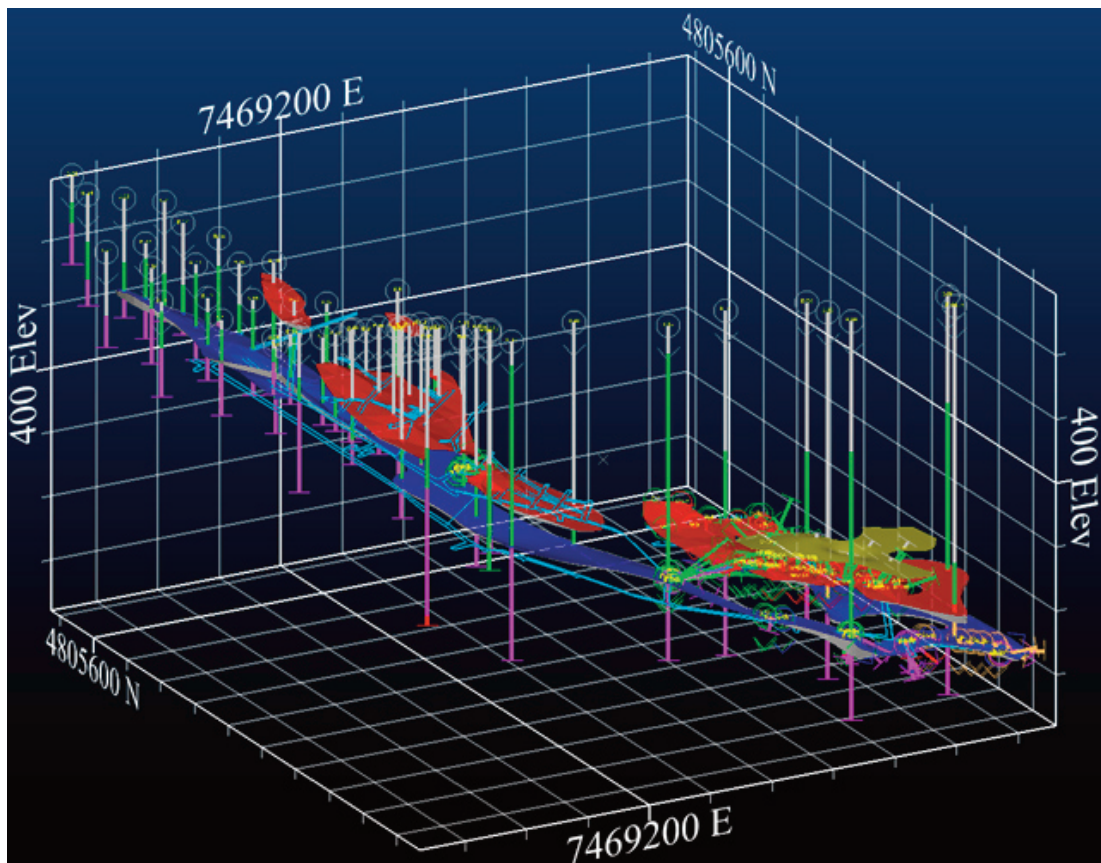
На основу база података Collar и Survey извршена је детаљна реконструкција оријентације истражних бушотина. Дигитализацијом подземних просторија, и постојећих рударских истражних радова у радно окружење софтвера AutoCAD и њиховом интеграцијом у Datamine, формиран је просторни модел који обједињује податке из површинских бушотина, бушотина ређених из јамских просторија са рударским истражним радовима (Слика 5).

4.2 Геолошка грађа и дефинисање рудних зона

Анализом Lithology и Assay база података, као и резултата геолошког картирања бушотина и јамских просторија издвојено је пет литолошких зона. Друга и четврта зона јасно су дефинисане као рудне зоне (Слика 6), што је потврђено њиховим континуитетом и повишеним садржајем В2О3. Генетско оконтуривање друге и четврте зоне, а затим и њихово 3Д моделовање указује на променљиву дебљину, али са јасно дефинисаним континуитетом прижања ССЗ-ЈИ. Зона два је представљена кроз четири издвојена рудна тела, од којих су две доминантне целине на јужном делу лежишта. Пад друге рудне зоне је у просеку 17° , док је просечна дебљина 1,34 m. Имплицитним моделовањем је уочено да је могуће раслојавање друге зоне у јужном делу истраживаног подручја на шта указује посебно субхоризонтално слојевито рудно тело. Услед недовољно густе мреже истражних бушотина и оријентације јамских просторија не може се са сигурношћу тврдити да је реч о истом слоју. Зона четири интерпретирана је као једно континуирано рудно тело просечне дебљине од 1,23 m. Пад четврте зоне је у просеку 26° . Генерално, дебљина рудних тела показује тенденцију раста у смеру ка југозападу.



Слика 5. ЗД модел подземних просторија рудника „Побрђе“ са приказом истражних бушотина (Grid spacing = 40m)



Слика 6. ЗД модел лежишта „Побрђе“ са приказом истражних бушотина и подземних просторија (Grid spacing = 40m)

4.3 Ресурси

У оквиру друге рудне зоне одређена је запремина од 23.444,25 m³, при запреминској маси борне минералне сировине од 2,48 t/m³ (Аничић, 1996) количина ресурса износи 58.141,75 t. Потенцијално раслојени део друге зоне има запремину 3.905,42 m³, односно ресурсе од 9.685,44 t. Запремина четврте зоне износи 34.651,72 m³, при запреминској маси од 2,48 g/m³ (Аничић, 1996) количина ресурса износи 85.936,27 t.

5. Дискусија

Израда 3Д генетског модела лежишта Побрђе омогућила је интеграцију различитих врста података у један просторни оквир са јасном интерпретацијом рудних слојева. 3Д модел лежишта Побрђе омогућио је боље квантитативно и квалитативно разумевање података у простору у односу на геолошке планове и профиле у складу са општим трендом примене софтвера у геолошким истраживањима (Turner, 2006). Примена методе имплицитног моделовања на скупу података из истражних бушотина и рударских истражних радова омогућила је реконструкцију континуитета рудних тела, као и сагледавање променљивости дебљине рудних тела у простору (Li et al., 2022). Моделовањем је утврђено могуће постојање трећег рудног слоја, односно могућег раслојавања друге рудне зоне на коти ~350 m. Примењена мрежа бушења показује задовољавајући степен поузданости у већем делу лежишта. Међутим, централној зони лежишта неопходно је њено додатно огушњавање ради поузданијег дефинисања облика и континуитета рудних тела, нарочито друге зоне.

Поређењем количине резерви одређених применом метода геолошких блокова и геолошких профила у склопу „Елабората о квалитету и резервама борних минерала – Побрђски поток-Баљевац на Ибру“ (Аничић, 1996) и оконтуреног модела у софтверу Datamine одређена је разлика у количини ресурса мања од 2%.

У склопу извршеног истражног бушења, на јужном делу истражног подручја, током моделовања рудних тела уз поштовање података геолошког картирања бушотина и резултата хемијских анализа, детектован је изражен вертикални интервал орудњења. Уочена морфологија и просторна локализација позитивних интервала у бушотинама могу указивати на постојање потенцијалног доводног канала, што захтева спровођење додатних, детаљнијих геолошких и структурних истраживања, као и примену допунских истражних метода ради поузданије интерпретације. (Codeço et al., 2022).

Поред аналитичког значаја, креирани 3Д модел има и практичну примену у геолошким истраживањима и рударству. Модел омогућава прецизно планирање будућих рударских радова, одређивање зона са потенцијалним високим садржајем бора у циљу пројектовања детаљних истраживања и минимизирање ризика од негативног бушења. Такође, модел служи као алат за оптимизацију експлоатације, прорачуна ресурса и дефинисање економски најповољнијих путева транспортних и других инфраструктурних објеката унутар рудника (Wu & Hu, 2014; Li et al., 2022).

6. Закључак

У раду је приказан 3Д генетски модел вулакогено-седиментног лежишта бората Побрђе, користећи податке из истражних бушотина и рударских истражних радова, интегрисаних у софтверским пакетима Studio RM – Datamine и AutoCAD. Геолошка анализа показала је постојање пет литолошких зона, при чему су друга и четврта зона јасно дефинисане као рудне на основу резултата хемијских анализа садржаја В₂О₃ у узорцима. Имплицитним моделовањем утврђена је варијабилност дебљине рудних тела и потенцијално постојање додатног слоја који раније није истраживан у јужном делу лежишта, као и зона вертикалног орудњења која указује на могући доводни канал.

Процена ресурса показала је да друга рудна зона садржи 58.141,75 t, док четврта зона садржи 85.936,27 t, што потврђује потенцијални економски значај лежишта. Поређење са Елаборатом о квалитету и резервама борних минерала – Побрђски поток-Баљевац на Ибру“ (Аничић, 1996) показало је разлику мању од 2%, што указује на висок ниво поузданости примене 3Д модела у процени ресурса.

Рад истиче значај 3Д геолошког моделовања не само као аналитичког алата за разумевање геолошке грађе лежишта, већ и као практичног средства за планирање рударских активности, оптимизацију експлоатације и смањење ризика при новим истражним радовима. Модел омогућава прецизан просторни приказ рудних тела, идентификацију потенцијално богатих зона и ефикасно планирање будућих истражних радова унутар рудника. Примењена техника моделовања потврђује да интеграција података из различитих извора у јединствени 3Д модел представља кључни корак у модерним геолошким истраживањима и управљању рудним ресурсима, у складу са савременим трендовима примене имплицитног моделовања (Turner, 2006; Li et al., 2022; Zhang et al., 2025).

У следећој фази рада потребно је додатно погушћавање мреже бушотина, посебно у централном делу лежишта, као и примена других геолошких метода, што би омогућило прецизније дефинисање облика рудних тела, њихово распрострањење, боље карактерисање потенцијалних доводних канала и оптимизацију експлоатације.

Доприноси аутора

Аутори потврђују да је рукопис аутентичан и да нема сукоба интереса везаних за извор података. Бранко Костић је поред писања рада, већинским делом учествовао у изради 3Д модела. Проф. др Драгана Живоћић је значајно помогла при креирању базе података потребне за израду 3Д модела, док је проф. др Владимир Симић допринео разумевању генезе лежишта и морфоструктурних карактеристика лежишта значајних за оконтуривање генетског модела.

Финансирање

Ово истраживање је подржано од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије по основу уговора 451-03-34/2026-03/ 200126 и 451-03-33/2026-03/ 200126.

Захвалност

Аутори се захваљују Управи Ибарских рудника угља, а посебно геолошкој служби Ибарских рудника угља под руководством дипл. инж. геол. Перише Бачанина на уступљеној документацији и помоћи при фази теренских истраживања.

Сукоб интереса

Аутори изјављују да немају било какав финансијски, професионални или лични сукоб интереса који би могао утицати на објективност резултата и тумачење података представљених у овом раду. Ниједан од аутора није у позицији која би могла изазвати сумњу у непристрасност истраживања, нити је било директног или индиректног комерцијалног, институционалног или личног утицаја на израду рукописа. Уколико дође до промене околности, аутори ће благовремено обавестити уредништво.

Литература - References

- Andrić-Tomašević, N., F. Walter, B., Simić, V., Raza, M., Životić, D., Novković, Ž., Kolb, J., Gerdes, A., & Beranoaguirre, A. (2025). "Contributions of arid climate and hydrothermal fluid flow on sedimentation in saline-alkaline lakes: Insight from the Ibar intramontane basin (Southern Serbia)". *The Depositional Record*. <https://doi.org/10.1002/dep2.70017>
- Andrić, N., Sant, K., Maženco, L., Mandić, O., Tomljenović, B., Pavelić, D., Hrvatović, H., Demir, V. & Ooms, J. (2017). The link between tectonics and sedimentation in asymmetric extensional basins—inferences from the study of the Sarajevo-Zenica Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 83, 305–332. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.02.024>
- Andrić, N., Fügenschuh, B., Životić, D., & Cvetković, V. (2015). The thermal history of the Miocene Ibar Basin (Southern Serbia): new constraints from apatite and zircon fission-track and vitrinite reflectance data. *Geologica Carpatica*, 66-1, 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.020>
- Aničić S. (1996). *Elaborat o kvalitetu i rezervama bornih minerala - Pobrđski potok- Baljevac na Ibru*. DP "Geozavod-nemetali", Beograd.
- Caumon, G., Collon-Drouaillet, P., Le Carlier de Veslud, C., Viseur, S., & Sausse, J. (2009). Surface-Based 3D Modeling of Geological Structures. *Mathematical Geosciences*. 41. 927-945. <https://doi.org/10.1007/s11004-009-9244-2>
- Codeço, M. S., Weis, P., & Andersen, C. (2022). Numerical modeling of structurally controlled ore formation in magmatic-hydrothermal systems. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23. <https://doi.org/10.1029/2021GC010302>
- Cohen, A., McGlue, M.M., Ellis, G.S., Zani, H., Swarzenski, P.W., Assine, M.L. & Silva, A. (2015). Lake formation, characteristics, and evolution in retroarc deposystems: a synthesis of the modern Andean orogen and its associated basins. In: DeCelles, P.G., Ducea, M.N., Carrapa, B. & Kapp, P.A. (Eds.) *Geodynamics of the Cordilleran Orogenic System: the Central Andes of Argentina and Northern Chile*, Vol. 212. Boulder, Colorado: *Geological Society of America Memoir*, pp. 309–335. <https://doi.org/10.1130/2015.1212>
- Xuan, D. N., Phan Trong, T., Trinh Hai, S., Bui Vinh, H., Nguyen Quoc, D., & Van-Hao, D. (2024). 3D models for hydrothermal copper ore bodies at Sin Quyen deposit, North Vietnam: A case report for ore reserves and prediction of hidden mineral resource potential. *Heliyon*. 10 (12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33017>
- Guo, J., Wang, J., Wu, L., Liu, C., Li, C., Li, F., Lin, M., Jessell, M. W., Li, P., Dai, X., & Tang, J. (2020). Explicit-implicit-integrated 3-D geological modelling approach: A case study of the Xianyan Demolition Volcano (Fujian, China). *Tectonophysics*, 795, Article 228648. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228648>
- Krstić N., Dumadžanov N., Olujić J., Vujanović L. & Janković Golubović J. (2001). Interbedded tuff and bentonite in the Neogene lacustrine sediments of the central part of the Balkan Peninsula. A review. *Acta Vulcanol.* 13, 91—99. <https://digital.casalini.it/10.1400/19067>
- Kurešević, L. M. (2013). Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena: doktorska disertacija (стр. 254). <http://phaidrabg.bg.ac.rs/o:7686>
- Li, J., Liu, P., Wang, X., et al. (2022). 3D geological implicit modeling method of regular voxel splitting based on layered interpolation data. *Scientific Reports*, 12, 13840. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17231-x>
- Obradović, J., Stamatakis, M.G., Anić, S. & Economou, G.S. (1992). Borate and borosilicate deposits in the Miocene Jaranđol Basin, Serbia, Yugoslavia. *Economic Geology*, 87(8), 2169–2174. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.8.2169>
- Obradović, J., & Vasić, N., 1990, Sedimentary facies and some ore deposits in Yugoslavia: *Internat. Assoc. Sedimentologists Spec. Pub.*, v. 11, p. 147-156.
- Prysjazhnjuk V., Kovalenko V. & Krstić N. (2000). On the terrestrial and freshwater molluscs from Neogene of Western Serbia. *Geology and metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone. Proc. Internat. Symp.*, Zvornik, Belgrade, 219—224.
- Renaut, R.W., Owen, R.B., Lowenstein, T.K., De Cort, G., McNulty, E., Scott, J.J. & Mbutia, A. (2021). The role of hydrothermal fluids in sedimentation in saline alkaline lakes: evidence from Nasikie Engida, Kenya Rift Valley. *Sedimentology*, 68, 108–134. <https://doi.org/10.1111/sed.12778>

- Sant, K., Mandić, O., Rundić, L., Kuiper, K.F. & Krijgsman, W. (2018). Age and evolution of the Serbian Lake System: integrated results from Middle Miocene Lake Popovac. *Newsletters on Stratigraphy*, 51, 117–143. <http://dx.doi.org/10.1127/nos/2016/0360>
- Schefer, S., Cvetković, V., Fügenschuh, B., Kounov, A., Ovtcharova, M., Schaltegger, U., Schmid, S., M., (2011). Cenozoic granitoids in the Dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan Peninsula. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 100, 1181–1206. <https://doi.org/10.1007/s00531-010-0599-x>
- Schefer, S., Egli, D., Missoni, S., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Gawlick, H.J., Jovanović, D., Krystyn, L., Lein, R., Schmid, S.M. & Sudar, M.N. (2010). Triassic metasediments in the Internal Dinarides (Kopaonik area, southern Serbia): stratigraphy, paleogeographic and tectonic significance. *Geologica Carpathica*, 61, 89–109. <https://doi.org/10.2478/v10096-010-0003-6>
- Turner, A.K. (2006). Challenges and trends for geological modelling and visualisation. *Bull Eng Geol Environ* 65, 109–127. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0015-0>
- Urošević, M., Pavlović, Z., Klisić, M., Brković, T., Malešević, M., & Trifunović, S. (1973). *Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Vrnjci (K 34-18)*. Savezni geološki zavod. Beograd.
- Wu, Q., & Xu, H. (2014). Three-dimensional geological modeling and its application in digital mine. *Science China Earth Sciences*, 57(3), 491–502. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4671-9>
- Yan-lin, S., Ai-ling, Z., You-bin, H., & Ke-yan, X. (2011). 3D Geological Modeling and Its Application under Complex Geological Conditions. *Procedia Engineering*, 12, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.008>
- Zhang, S. E., Lawley, C. J. M., Bourdeau, J. E., Parsa, M., Cumani, R., & Thompson, A. (2025). Mineral prospectivity modeling of graphite deposits and occurrences in Canada. *Natural Resources Research*, 34, 1243–1270. <https://doi.org/10.1007/s11053-024-10451-0>

Одрицање од одговорности / Напомена издавача: Изјаве, мишљења и подаци садржани у свим публикацијама су искључиво мишљење појединачних аутора/аутора и сарадника и не представљају ставове СГД и/или уредника. СГД и/или уредници одричу се одговорности за било какве повреде личности или имовине које могу настати као резултат било којих идеја, метода, упутстава или производа на које се упућује у садржају.