

# Research of bauxite deposits from underground mining works

The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin  
UDC: 622.1:622.2  
DOI: 10.17794/rgn.2018.3.10

Review scientific paper



Ivan Budeš<sup>1</sup>; Ivo Galić<sup>2</sup>; Ivan Dragičević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Rudnici boksita Jajce d.d. Jajce, Trg hrvatskih branitelja b.b. Jajce, B&H

<sup>2</sup> University of Zagreb, Mining, Geology and Petroleum Engineering Faculty, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

<sup>3</sup> Zelinska 2, 10000 Zagreb

## Abstract

This paper presents a new approach to exploring bauxite deposits from underground mining works in the bauxite-bearing mines of Bešpelj near Jajce in Bosnia and Herzegovina. In the area under consideration, bauxite deposits have been investigated and exploited for over 60 years. Despite the high degree of exploration in the geologically complicated structures of Bešpelj, there are numerous unexplored reserves. Up to now, they have been mainly investigated by drilling from the surface into the borehole network as dictated by legal geological regulations. Due to the increase in depths on which deposits are located and complex structural relationships, such research has become more expensive and less effective. From a geological point of view, the bauxite deposits have developed in the horizontal position. However, long-lasting geological evolution from the Upper Cretaceous to the present, has brought deposits in very different structural positions. That is why we find them in an inclined position, in subvertical and vertical, and often in an overturned position. For further research to become rational and efficient, a new approach of study from underground mining works was developed that will serve for study and then for the exploitation of bauxite deposits.

## Keywords

Bauxite deposits, geological research, new approach, underground mining works.

## 1. Introduction

In the wider Bauxite area of Jajce, there are numerous high-quality bauxite deposits. There are four bauxite-bearing sites: Crvene Stijene, Poljane, Bešpelj and Liskovica. Crvene Stijene and Poljane are areas which have mostly been studied from the surface, while the remaining deposits of bauxite are exploited by underground mining works. The bauxite-bearing areas of Bešpelj and Liskovica have not yet been sufficiently explored. However, according to well-known geological data, it is assumed that there are still undiscovered, very valuable deposits deep beneath the surface of the terrain in all the bauxite areas (Farkaš, 2006, Slanc, 2011). These facts further justify investment in research.

The area of Bešpelj is characterized by intricate structural geological relations. Numerous and diverse geological investigations have found deposits in inclined, vertical and inverse positions. They are located from the surface to a depth of several hundred meters. In addition to the deposits on the surface of the terrain that represent erosion residues, the rest have clearly defined stratigraphic underlying and overlying rocks. In inclined deposits, they are mining underlying and overlying rocks at the same time. In the overturned position, the stratigraphic underlying

rocks become mining overlying rocks and the stratigraphic overlying rocks become mining underlying deposits. In the primary, i.e. in the horizontal position, the bauxite deposits occupy a significant ground-plan, while in the case of the subvertical and vertical position of the deposits, this ground-plan has a very narrow elongated octagonal zone that closely follows the contact of the underlying and overlying rocks. Such a structural pattern has an important effect on the path of bauxite deposit studies. If we continue drilling research in the well-drilled well network from the ground surface, the probability of finding a deposit in this very narrow and steep zone is reduced to a minimum. Increasing depth further increases the quantum of research drilling works.

For this reason, a new rational approach to research involving a combination of underground mining rooms and exploration drills was proposed. It should be noted immediately that the underground mining rooms, after researching the deposits, are also used for the exploitation of bauxite.

## 2. Natural characteristics of the bauxite-bearing Bešpelj area

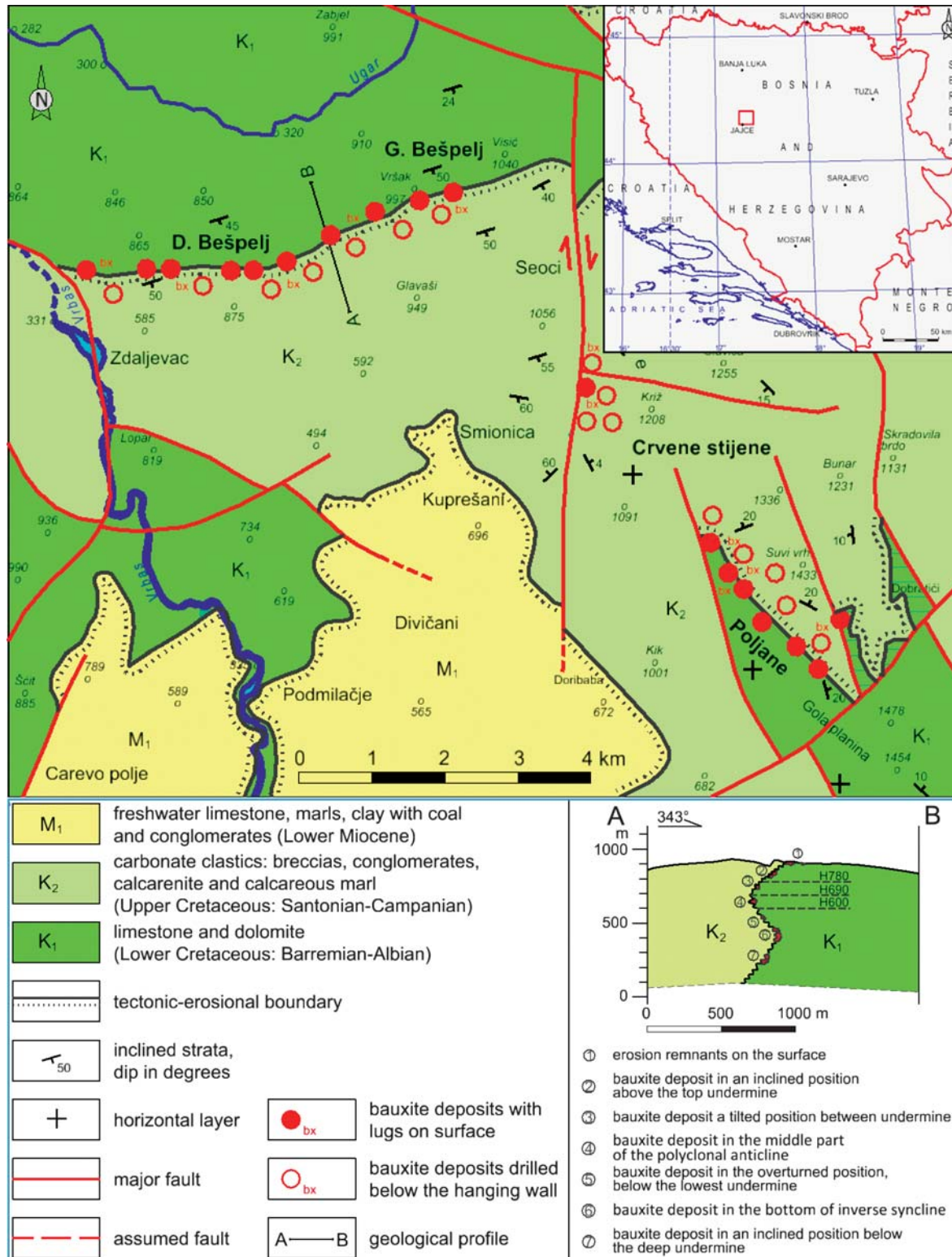
### 2.1 Geographic position

The bauxite area of Bešpelj is located about 10 kilometers north of Jajce and occupies an area of about 20 km<sup>2</sup>. The northern boundary of the area is Ugar Canyon.

Corresponding author: Ivo Galić  
ivo.galic@oblak.rgn.hr

The eastern boundary of the area is Ober Mountain. The southern boundary is marked by the steep slopes of Studenac and Debeljak, and the western boundary is outlined by the Vrbas River canyon. Bešpelj represents a small plateau at an average altitude of about 900 m

(Dragičević et al., 2003). On the plateau, there are two settlements: Donji and Gornji Bešpelj. A transport connection with Bešpelj has been achieved by an asphalt road from Jajce via Divičani and Kuprešani, at a length of 25 km.



**Figure 1:** Geographical position and geological map of bauxite areas in Jajce (Marinković & Ahac, 1975; supplemented and adapted to Dragičević, 1981, 1987, 1997)

## 2.2 Geological structure

The geological structure of the broader bauxite area is shown in Figure 1. The fundamental geological relations are solved by the creation of a basic geological map, 1:100,000, the Jajce sheet (**Marinković and Ahac, 1975**). According to this data, the bauxite deposits are related to a terrestrial phase, respectively the stratigraphic gap between the Cenoman-Turonian limestone in the foot wall and the Senonian carbonate sediments in the hanging wall of bauxite deposits. This is a tectonic-erosive discordance with an angle of discordance up to  $10^\circ$ .

Structural relations in the area are complicated. The main structural deformations are represented by folds and faults with a W-E strike. Most of the faults are of the reverse type. Folds are asymmetrical to overturned, with axial surfaces inclined to the south.

Due to very valuable bauxites, over the past 60 years, a wide variety of geological studies have been carried out in the Bešpelj area. More precisely, the stratigraphic position of the bauxite reservoir was defined, along with the duration of the stratigraphic gaps. It was found that the foot wall of the bauxite is a shallow marine limestone of late Albian age, and the hanging wall sediments are represented by heterogeneous carbonate clasts, sporadically limestones, of Campanian and Maastrichtian age (**Dragičević, 1981, 1987, 1997**). So the terrestrial phase during which bauxites were created lasted about 18 million years. The special value of these works are geological profiles which, very carefully and on the basis of the borehole data, give an exact picture of the complexity of the structural relations in the area of Bešpelj. The structural position of the base, respectively the contact surface of the foot wall-to-hanging wall is shown in detail. Some of the deposits are in a tilted position, most of them are very steep to vertical, and part of the deposits in the overturned position, which further complicates exploration and exploitation (**Hajsek, 2005; Galić et al., 2006-1, 2006-2; Dragičević & Velić, 2006; Budeš, 2009; Crnoja, 2015**).

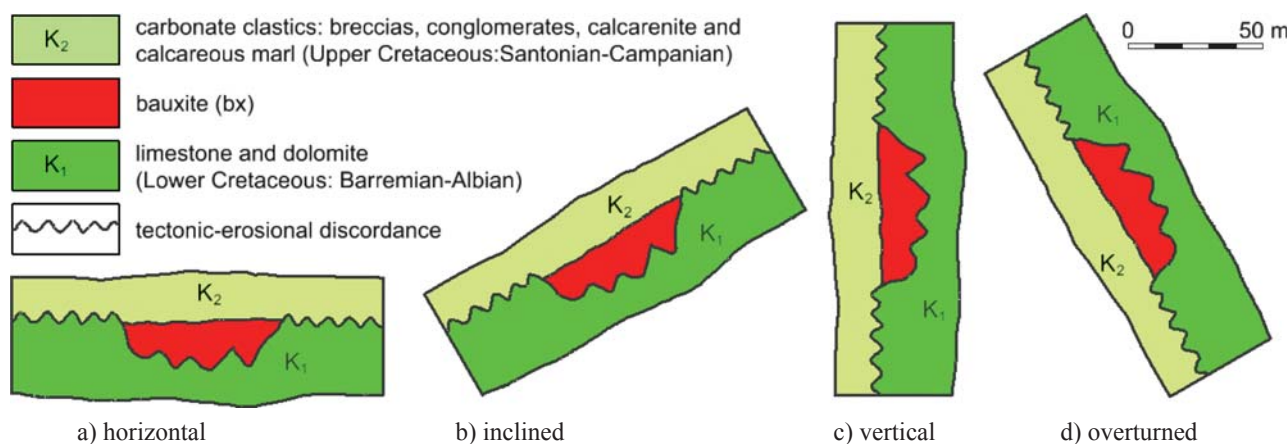
## 2.3 The position of the bauxite deposits within geological structures

The primary, i.e. depositional position of all deposits is horizontal (see Figure 2a, horizontal). In general, if bauxites are in this position, they are not significantly affected by tectonic processes. There are no such bauxite deposits in the area of Bešpelj. The very common structural position of the bauxite deposits is that it is inclined together with the foot wall and hanging layers (**Bárdossy, 2013**). They are located in the area of Bešpelj near the tectonic and erosion boundaries (see Figure 2b, inclined). Further tilting of the contact surface between the foot wall and the hanging wall of the deposits, resulted in a very steep (subvertical) to vertical position of bauxite (see Figure 2c, vertical). Due to further tangential-compressive tectonic effects, the inverse position of the contact surface between the foot wall and the hanging wall layers was formed together with the bauxite deposits (see **Figure 2d**, overturned).

In cases where the deposits are in very steep, vertical and overturned positions, the study area becomes a very narrow zone extending to the surface along with the cartographic line of the transgressive boundary. It should be noted that in the overturned positions of the bauxite deposits, the stratigraphic underlying rocks (limestone) become mining overlying rocks, and the stratigraphic overlying rocks (mainly carbonate clast) become mining underlying rocks (**Budeš, 2009; Crnoja, 2015**). Such structural relations make it very difficult to study surface deposits, so such research is regularly economically unjustified. This is the reason why a new approach to study deposits from underground mining facilities was proposed.

## 3. Study of the bauxite deposits from underground mining rooms

The first ideas on the study of bauxite deposits from underground mining facilities in the area of Bešpelj were



**Figure 2:** Schematic illustration of the structural position of the bauxite deposits (**Budeš, 2009**)

given by Ilić (1989) in the conceptual solution for the study and opening of the Bešpelj deposits in the bauxite Jajce mine. The methodology was well established, but for unknowledges of stratigraphic and thus structural relations directly to the contact surface, the practical application of these methods did not yield the expected results. Namely, the location of the contact surface, which is only relevant for locating the base, is changed by stretching and tilting from inclined to steeply inclined, upright to overturned, and therefore the exploratory drilling needs to be constantly adapted to its structural position. It should be emphasized, in particular, that the success of these studies depends on the geological mapping of the contact surface or underground mining works (Hajsek, 2005; Galić et al., 2006-1, 2006-2, 2008).

Underground mining study works should be planned to be carried out at the contact surface itself and to be used as exploitation objects after a deposit is found. After a geologist determines the position of the contact surface in relation to underground mining research, the design of exploratory drilling is being approached. It is necessary to carry out drilling with core drilling.

This approach resulted in finding new bauxite deposits from underground mining works and completing the survey of foundations that were only partially detected by drilling from the surface. (Dragičević et al., 2007; Galić et al., 2006, 2008).

### 3.1 Methods of exploratory drilling from underground mining sites

#### a) Drilling down

The explorative drilling down will occur when the contact surface is inclined and vertical or approximately vertical. Then the upper corridor (780) will be punched down (690) and the contact surface will be monitored as shown in Figures 3a and 3b.

#### b) Drilling down and up

The exploration drill downwards and upwards will be applied when the contact surface changes the posting and tilting position frequently and appears in the overturned position. If the exploration corridor moves away from the contact surface then it is necessary to create access to the contact surface, and then the study mode described above (see Figure 4) applies.

#### c) Drilling upwards

Drilling up is used only in special cases, for example when there is an inaccessible terrain and it is impossible to drill from the surface, or the deposit is closer to underground mining facilities than the surface, or to prevent property-legal relations. In these cases, we have the opportunity to drill the existing underground mining facilities to the surface as shown in Figure 5.

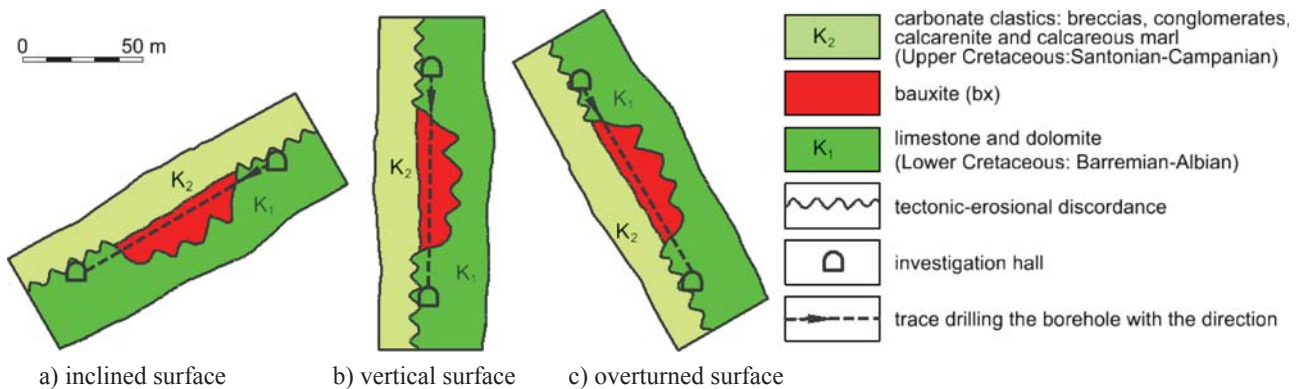


Figure 3: Schematic illustration of drilling model from top to bottom (Budeš, 2009)

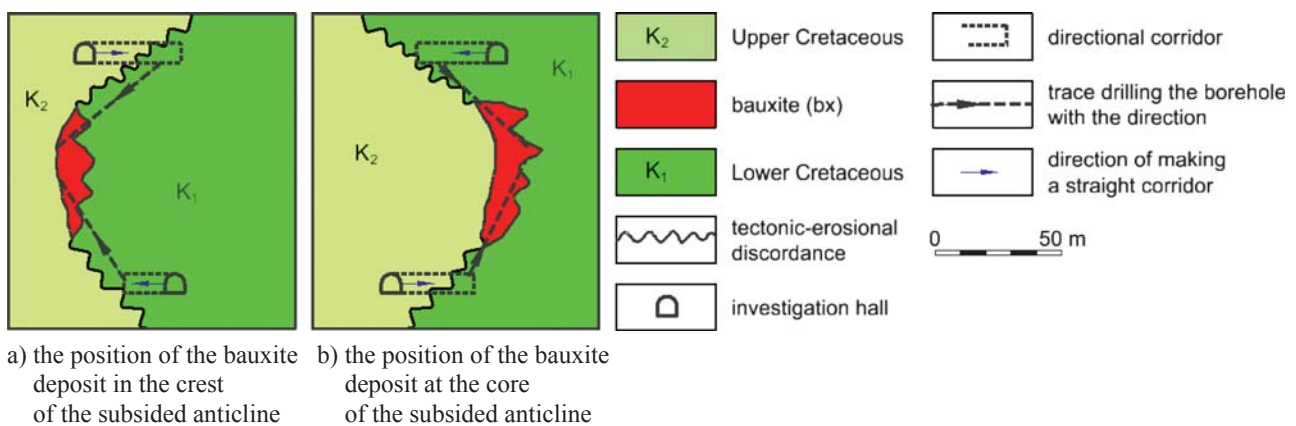


Figure 4: Schematic illustration of drilling model when the investigative corridor is away from the contact surface either in the underlying or overlying rocks (Budeš, 2009)

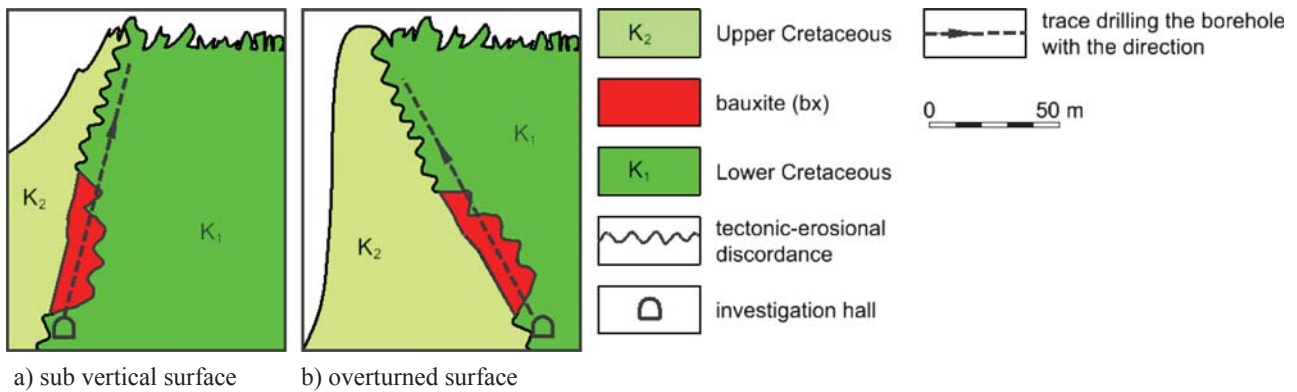


Figure 5: Schematic illustration of the drilling model bottom-up (Budeš, 2009)

### 3.2 Examples of application of a new approach to the bauxite deposit study

Up until now, in the area of Bešpelj, studies were done exclusively by drilling from the surface. Further drilling from the surface would be extremely irrational, because the cost of research would raise the price of bauxite up to 50%. If the costs of exploitation were still taken into account, the final result would be disadvantageous and ineffective. Therefore, a new approach to the study of the bauxite deposit has been applied, and research has continued with the construction of subterranean and underground corridors which will also open the mine. For the purpose of research and later the opening of the mine, corridors will be created to undermine the levels of 600, 690 and 780 m. The corridors come to the contact surface and then the investigative corridors follow the same route. The corridors can be run either in the foot wall or in the hanging wall but as close as possible to the contact surface. Later, during the exploitation phase, investigatory corridors will have the role of preparatory corridors, transport corridors and ventilation. Keeping all this in mind, the size and shape of the

corridor is adapted to modern mechanization. From the room, investigative drilling would be made every 40 meters, and exploratory drilling would be created in places only where it would be needed (see Figure 6). The size of the research chamber is very important because it is necessary to mount the exploratory drill sets. However, research can be further rationalized if an integral study approach to the entire area is assumed that simultaneously explores the possibility of the existence of other mineral raw materials with bauxite deposits, such as dimension stone (Galić et al., 2015).

#### Example L-29 deposits

Bauxite Jajce mines have continued bauxite research in the area of Bešpelj and new deposits have been found and contoured in the last ten years. Studies are conducted by combined methods, underground rooms and exploratory drilling from the corridors that are directly adjacent to the contact surface. By constructing the 780 base and the investigative rooms located at the same level, the deposit L-29 (see Figure 7) was found. This deposit was completely in the study room, along the

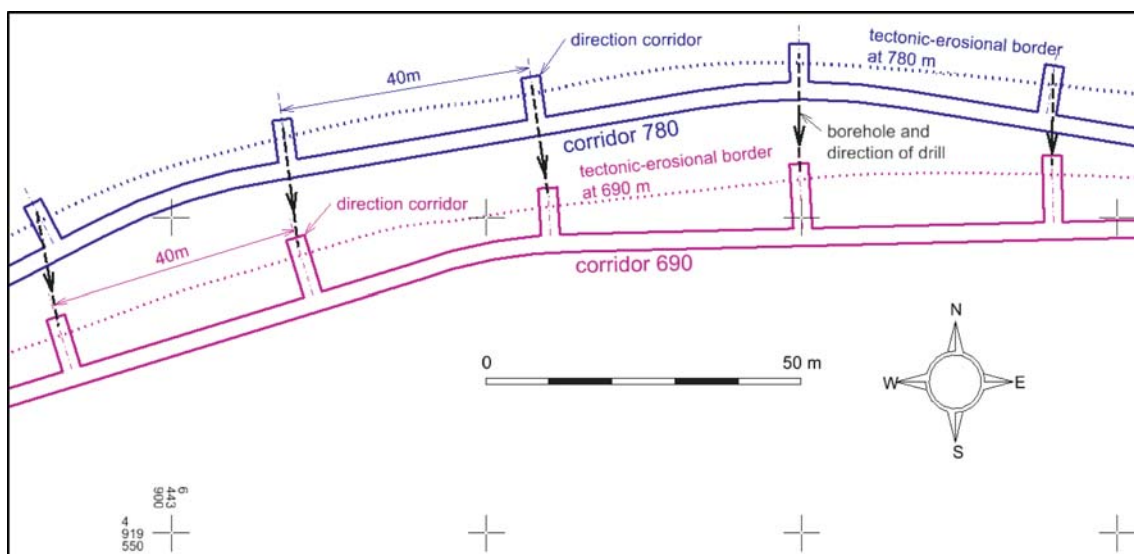


Figure 6: Schematic of study and directional corridors (Galić et al., 2006)

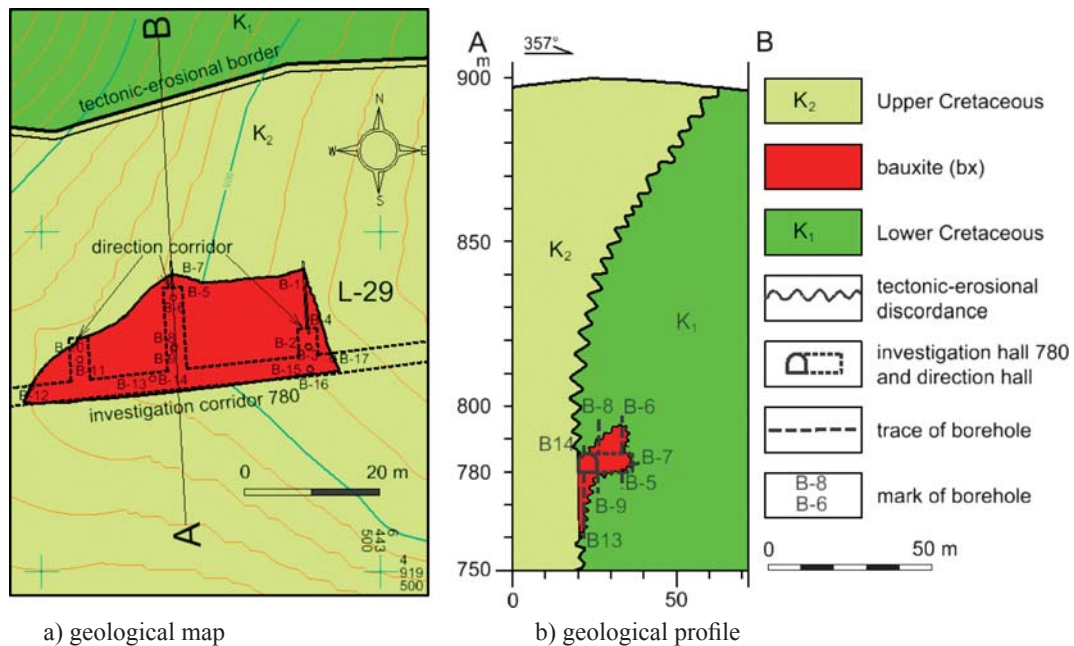


Figure 7: Example drilling pattern on bauxite deposit L-29 (Dragičević et al., 2007; Galić et al., 2008)

contact surface, with three corridors perpendicular to the study room and 17 investigative boreholes made of longitudinal and directional corridors up and down from the level of the corridor 780.

## 4. Expected results

### 4.1 Model of research bauxite deposits from the surface

The basic assumption in this analysis is that prior to the commencement of the investigation we have not yet determined the existence of any deposits. The aim is to determine the existence of bauxite deposits in the field of research and the theoretical value of total costs by a certain research method. Comparing research costs will result in the effectiveness of the research method.

In order to determine the effectiveness of investigations, either from the surface or from underground mining, it is necessary to determine or dimension the area of research (Haldar, 2013). The research area, hypothetically, must be identical to drilling from the surface and exploration works from the underground. Since the bauxite-bearing area Bešpelj is over 5 km long, an area 2,000 m long and 40 m wide is an example taken for analysis. If a proper network of investigative boreholes 40 x 40 m is set, a total of 100 investigative boreholes will be obtained, which need to be drilled from the surface.

In addition to the dimensioning of the research area, it is also necessary to determine the depths (levels) at which investigations will be carried out both from the surface and in the underground. For this analysis, it was determined that the drilling depths are: 90, 180, 270 and 360 m. Drilling depths are appropriate to the altitude where the main corridors will be.

The drilling price on the core, from the surface, amounts to an average of 100 €/m, up to 200 m in depth. The drilling price, from the surface, increases with depth at 25 €/100m. Surface research should also make an access road to the drilling site. The cost of developing access roads is 100 €/m.

### 4.2 Model of research bauxite deposits from underground mining facilities

The study from underground mining works will be made from the corridors which will be at levels 780, 690, 600 and 510 m. The length of the longitudinal investigative corridors will depend on the level at which they will be punched and will be:

- 2600 m for corridor 780
- 4100 m for corridor 690.
- 6200 m for corridor 600
- 8300 m for corridor 510.

The price of one meter of corridor is 400 €. Investigative boreholes are planned every 40 meters along the corridor, as well as for surface drilling but only in one row, directly in the contact surface. There is no need for drilling in a second row because knowledge of structural and stratigraphic relations with the contact surface will be able to determine whether there is a bauxite deposit at that position. The drilling length is approximately 96 meters between the two main corridors because the slope of the contact surfaces of about 70° and about 96 m from the surface 780. This will effectively study the contact surface from level 510 to the surface area (870 m above sea level) and determine if there is a bauxite deposit in the area.

Accordingly, drilling will be performed on 50 locations in the length of a total of 360 meters. The drilling price on the core from underground mining works is 40 €/m.

**Table 1:** Dependency of cost of site and depth of research

Depth	Investigations from the surface							Investigations from underground rooms						
	investigation drilling			access road			Total	investigation drilling			underground rooms			Total
m'	length m'	price €/m'	cost €	length m'	price €/m'	cost €	€	length m'	price €/m'	cost €	length m'	price €/m'	cost €	€
<b>90</b>	9000	100	900000	2500	100	3E+05	<b>1 150 000</b>	4790	40	191595	2600	400	1040000	<b>1 231 595</b>
<b>180</b>	18000	100	2E+06	2500	100	3E+05	<b>2 050 000</b>	9580	40	383190	4100	400	1640000	<b>2 023 190</b>
<b>270</b>	27000	125	3E+06	2500	100	3E+05	<b>3 625 000</b>	14370	40	574786	6200	400	2480000	<b>3 054 786</b>
<b>360</b>	36000	150	5E+06	2500	100	3E+05	<b>5 650 000</b>	19160	40	766381	8300	400	3320000	<b>4 086 381</b>

However, there are additional costs involved in drilling chambers in the underground room study. Since the drilling chambers will not be made at each drilling position, but only in the required places where the corridors are to move away from the contact surface. It is assumed that, in the most unfavourable case, it will be necessary to make 40 chambers on four corridors (780, 690, 600 and 510).

The size of the chamber must be large enough to have a drill set in them. For the production of 20 chambers with a length of 5 meters on average, it is necessary to create 100 meters of corridor. The price of a corridor is 400 €/m.

#### 4.3 Results of the bauxite deposits research model analysis

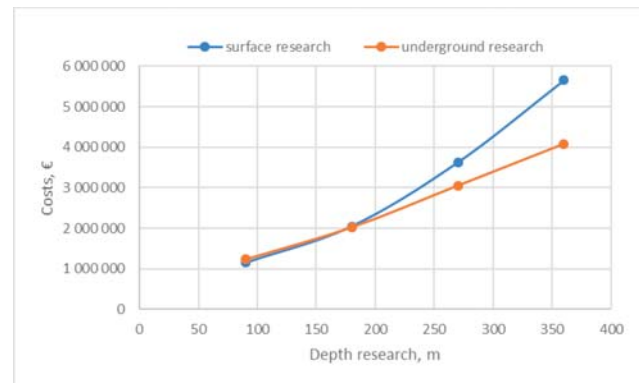
Based on the input data described in the research models, cost analysis was performed. The results of the analysis are shown in **Table 1**.

The total exploration costs of the assumed area from underground mining facilities, up to a depth of 180 m, are slightly higher than the cost of study from the surface. However, with a 190 m depth increase, surface exploration costs exceed the costs of exploration in underground mining facilities.

With the increase in the depth of the deposit or the length of the investigative boreholes, over 200 m' unit drilling price increases as the diameter of the introductory column increases. Therefore, with an increase in depth, the amount of exploration cost from the surface increases considerably compared to the study of underground rooms, as shown in **Table 1** and **Figure 8**.

However, exploratory drilling from the surface does not follow the tilt of the contact surface and is therefore much more unreliable than underground research. In the underground study, opening and processing facilities are also preparation for the exploitation of the deposit and thus represent a large savings in total costs.

It can be established that after a certain depth of the study it is more cost-effective to create underground rooms than make drilling boreholes from the surface. It can be established that, after a certain depth of the study, it is more profitable to create underground rooms than drill boreholes from the surface.

**Figure 8:** Diagram of the cost of surface and underground exploration

## 5. Conclusion

The Bešpelj exploitation field has been exploiting bauxite for many years now, but studies conducted so far have shown that there are still more valuable bauxite deposits in this area.

For a long time, detailed studies have been done by drilling from the surface. Due to complicated structural geological relations, inclined to vertical and overturned positions of the bauxite deposits, it was necessary to devise a new approach to the research of deposits. Investigative drilling from the surface to deep bauxite deposits is expensive and irrational. Therefore, a new approach to the study involving underground mining rooms and exploratory drilling from these rooms was proposed. The contact surface of the underlying and overlying rocks of the bauxite deposits is a steep but variable slope by providing and tilting. Therefore, with the creation of underground mining rooms, geological mapping has to be carried out with the aim of further routing works.

In this paper, the presented concept of research by making investigative boreholes from longitudinal corridors directly to the contact surface gives great probability of finding new bauxite deposits.

Analysing the economic indicators, it was found that the cost of underground mining study was nominally lower than the surface study drilling because part of the cost is the preparation for the exploitation of bauxite. The proposed approach can be used to determine the

boundary depth of the study under which much more favorable research from underground mining works, even if the underground rooms are designed as intended for exploration drilling rooms.

## 6. References

- Bárdossy, G. (2013): Karst bauxites: Developments in Economic Geology 14. Elsevier, Amsterdam, 442 p.
- Budeš, I. (2009): Exploration of bauxite from underground mining, graduate thesis, 27 p. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Crnoja, F. (2015): Geological settings in the bauxite bearing area „Poljane“ near Jajce (BiH) with special emphasis on deposits of bauxite and dimension stone : master's thesis, 26 p. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Dragičević, I. (1981): Geological settings in the bauxite-bearing area Jajce (in Croatian), Master's thesis. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, p. 65, Zagreb.
- Dragičević, I. (1987): Palaeogeographic evolution of the edge of the Mesozoic carbonate platform of Dinarides between the Vrbas and Bosnia (in Croatian). PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, p. 90, Zagreb.
- Dragičević, I. & Velić, I. (1994): Stratigraphical position and significance of reef facies at the Northern margin of the Dinaric carbonate platform during the Late Jurassic and Cretaceous in Croatia and Bosnia. *Geologie Mediterranee*, Tome XXI, NO 3-4, pp.59-63, Marseille.
- Dragičević, I. (1997): The Bauxites of the Northern Margin of the Dinarides Carbonate Platform (Area of Jajce, Bosnia). 8th Internat. Congress of ICSOBA, Milan, April 16/18-1997, *Travaux, ICSOBA*, 24, 64-73, Milan.
- Dragičević, I., Nuić, J., Nuić, M. (2003): Study on Classification, Categorization and Budget of Red Bauxite Reserves on deposits: L-20, L-24, L-25, L-26, L-27, L-34 and L-35 in the area of Bešpelj (Jajce-B&H), Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Dragičević, I., Velić, I. (2006): Litostratigraphic settings of bauxite deposits in the Bešpelj Area (in Croatian). *GEO-ECO.ing d.o.o.* p.30, Zagreb
- Dragičević, I., Galić, I. (2007): Study on Classification, Categorization and Budget of Red Bauxite Reserves on L-29 in the area of Bešpelj (Jajce-B&H), Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Farkaš, B. (2006): Modeling of the bauxite area Vlasinje with the concept of new research works, graduate thesis, 62 p. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Galić, I., Krasić, D. & Dragičević, I. (2015): Evaluation of research in a bauxite-bearing area on a locality „Crvene stijene“ with emphasis on exploitation of associated deposits. *Geologia Croatica*, 68, 3, 225-236.
- Galić, I., Dragičević, I., Živković, SA, Janković, B., Hajsek, D., Radovac, T., Kovacsics, A., József, H., Podanyi, T. (2006): Main Mining Project exploitation of bauxite deposits in the exploitation field “Bešpelj”, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Galić, I., Dragičević, I., Radovac, T. (2006): Appliance of computer programs in modeling of surface and underground pits. *International Mining Symposium-Mining 2006. Exploration, exploitation and processing of solid mineral raw materials*, Žunec, Nenad ; Horvat, Jasna ; Bunić, Silvija (ed.). *Grafika Hrašće*, 126-139, Zagreb.
- Galić, I., Dragičević, I., Janković, B., Hajsek, D., Radovac, T., Kovacsics, A., Podanyi, T. (2008): Addition Mining Project exploitation of bauxite deposits in the exploitation field “Bešpelj” (L-29), Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Hajsek, D. (2005): The use of computer programs in the process of forming opening, elaborating and exploring rooms in exploitation field “Bešpelj”, graduate thesis, 27 p. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb.
- Haldar, S.K. (2013): *Mineral Exploration: Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam, 334 p.
- Ilić, Z. (1989): Conceptual solution for exploration and opening of reservoir Bešpelj in bauxite Jajce mine, Zemun Mining Institute.
- Marinković, R. and Ahac, A. (1975): Basic geological map 1:100 000, Jajce sheet. *Geo Engineering, Institute of Geology, Sarajevo*.
- Papeš, J. (1984): Geological map of the bauxite fields of Liskovica, Bešpelj, Seoca, Crvene Stijene and Poljane, at Jajce, M1: 25000. *Geo Engineering, Institute of Geology, Sarajevo*.
- Slanc, G. (2011): Impact of the inclination of the bauxite contact surface and supporting rocks on the type and layout of investigative works in the area of Bešpelj, final work-baccalareus, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, 41 p., Zagreb.

## Author's contribution

**Ivan Budeš** (technical manager) – the main contribution is to create a model of underground mining works to investigate bauxite deposits. **Ivo Galić** (Associate Professor) - the main contribution is in conjunction with the development of new approaches and models of research bauxite from underground mining operations and comparative analysis of the efficiency of research from the surface and from underground chambers. **Ivan Dragičević** (Retired Professor) - the main contribution is in defining geological relations in the field of research and collaboration in the development of a new approach and model of research of bauxite deposits from underground mining works.



# Istraživanje ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova

The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin  
UDC: 622.1:622.2  
DOI: 10.17794/rgn.2018.3.10

Pregledni znanstveni rad



Ivan Budeš<sup>1</sup>, Ivo Galić<sup>2</sup>, Ivan Dragičević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Rudnici boksita Jajce d.d. Jajce, Trg hrvatskih branitelja b.b., Jajce, BiH

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

<sup>3</sup> Zelinska 2, 10000 Zagreb

## Sažetak

Rad prikazuje novi pristup istraživanju ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova u boksitonosnome području Bešpelj kod Jajca u Bosni i Hercegovini. U razmatranome području ležišta boksita istražuju se i eksploatiraju preko 60 godina. Usprkos visokomu stupnju istraženosti u geološki zamršenim strukturama Bešpelja nalaze se brojna do kraja neistražena ležišta. Ona su do sada uglavnom istraživana bušenjem s površine u mreži bušotina kako to diktiraju zakonski propisi. Zbog povećanja dubina na kojima su smještena ležišta, a i zamršenih strukturalnih odnosa, takva istraživanja postala su skupa i manje učinkovita. S geološkoga stajališta ležišta boksita primarno se nalaze u vodoravnome položaju. No dugotrajna geološka evolucija od gornje krede do danas dovela je ležišta u vrlo različite strukturne položaje. Zato ih nalazimo u nagnutom položaju, u subvertikalnome i vertikalnome te nerijetko u inverznome položaju. Kako bi daljnja istraživanja postala racionalna i učinkovita, razvijen je novi pristup istraživanja iz podzemnih rudarskih radova koji će poslužiti za istraživanje i potom za eksploataciju boksitnih ležišta.

## Ključne riječi:

ležišta boksita, istraživanja, novi pristup, podzemni rudarski radovi

## 1. Uvod

U širem boksitonosnom području Jajca nalaze se brojna ležišta visokokvalitetnih boksita. Razlikuju se četiri boksitonosna revira: Crvene stijene, Poljane, Bešpelj i Liskovica. Crvene stijene i Poljane većim su dijelom istražena područja s površine, a preostale utvrđene zalihe boksita iskorištavaju se podzemnim rudarskim radovima. Područja boksita Bešpelja i Liskovice još uvijek nisu dovoljno istražena. No prema poznatim geološkim podacima pretpostavlja se postojanje još neotkrivenih, vrlo vrijednih ležišta duboko ispod površine terena na svim boksitonosnim područjima (Farkaš, 2006, Slanc, 2011). Te činjenice opravdavaju daljnja ulaganja u istraživanja.

Područje Bešpelja odlikuje se zamršenim strukturnim geološkim odnosima. Brojnim i raznovrsnim geološkim istraživanjima utvrđena su ležišta u nagnutom, uspravnome i inverznome položaju. Ona se nalaze od same površine terena do dubina od nekoliko stotina metara. Osim ležišta koja se nalaze na površini terena i predstavljaju erozijske ostatke, ostala imaju jasno definiranu stratigrafsku podinu i krovinu. Kod nagnutih ležišta one su istovremeno i rudarska krovina i podina. Kod ležišta u inverznome položaju stratigrafska podina postaje rudarska krovina, a stratigrafska krovina postaje rudarska podina. U primarnome, dakle horizontalnome položaju, ležišta boksita zauzimaju znatne površine, dok u slučaju

subvertikalnoga i vertikalnoga položaja ležišta, ova površina ima ocrtno vrlo uske izdužene zone koja približno prati kontakt podinskih i krovinskih stijena. Takav strukturni sklop bitno utječe na način istraživanja ležišta boksita. Ako bi se nastavila istraživanja bušenjem u propisanoj mreži bušotina s površine terena, vjerojatnost pronalaska ležišta u takvoj vrlo uskoj i strmim zoni svedena je na minimum. Povećanje dubine bušenja dodatno poskupljuje istraživanja.

Zbog toga je predložen novi racionalni pristup istraživanju koji uključuje kombinaciju podzemnih rudarskih prostorija i istraživačkih bušotina. Treba odmah napomenuti da se podzemne rudarske prostorije, nakon istraživanja, također koriste za eksploataciju boksita.

## 2. Prirodne značajke boksitonosnoga područja Bešpelj

### 2.1 Zemljopisni položaj

Boksitonosno područje Bešpelj nalazi se oko 10 kilometara zračne udaljenosti sjeverno od Jajca te zauzima površinu od oko 20 km<sup>2</sup>. Sjevernu granicu područja čini kanjon Ugra. Na istoku je granica planina Ober. Južna granica označena je strmim padinama Studenca i Debeljaka, a zapadnu granicu čini markantni kanjon rijeke Vrbasa. Bešpelj predstavlja blagu zaravan na prosječnoj nadmorskoj visini od oko 900 m (Dragičević et al.,

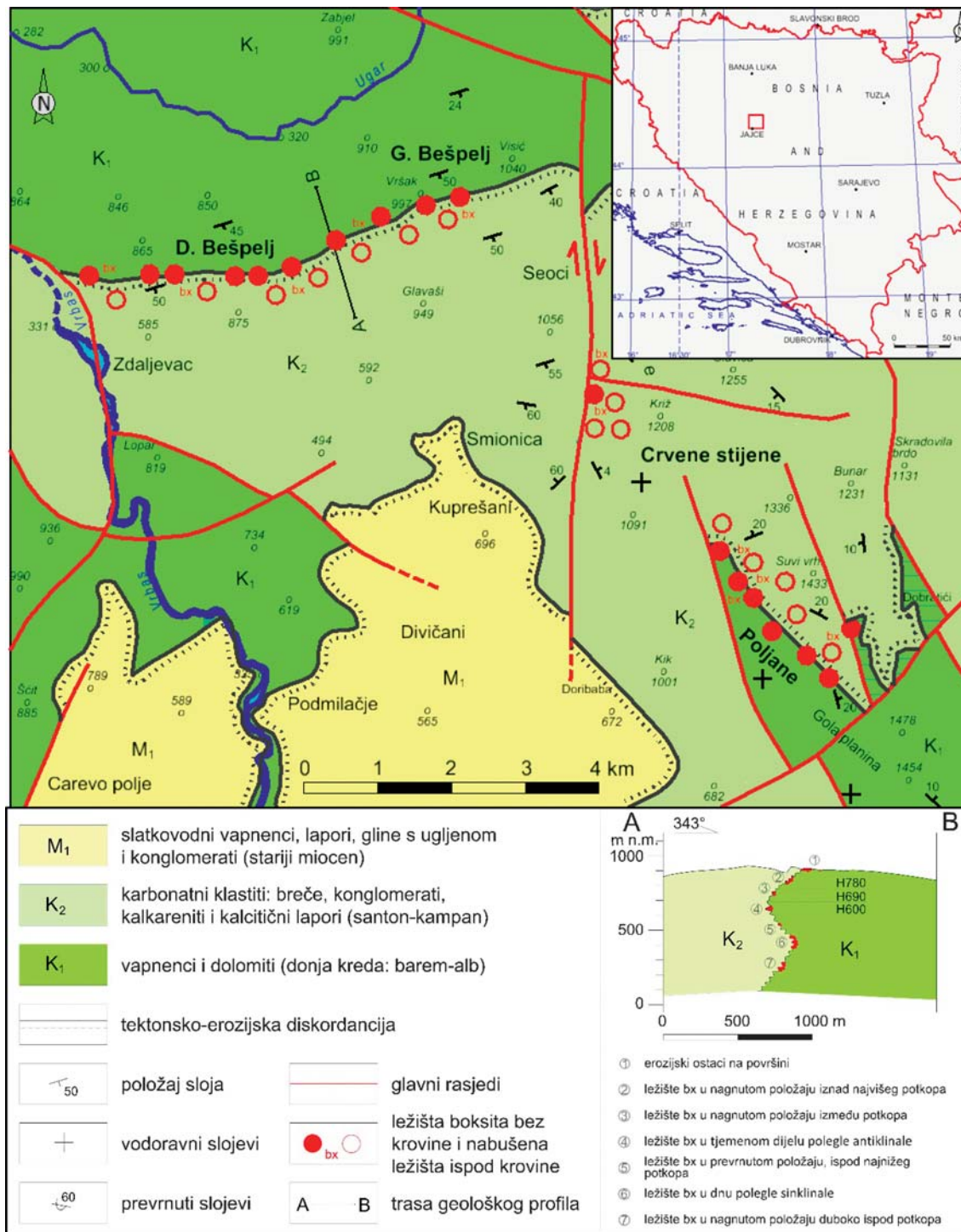
2003). Na zaravni su dva naselja: Donji i Gornji Bešpelj. Prometna povezanost s Bešpeljom ostvarena je asfaltnim putem od Jajca preko Divičana i Kuprešana, u dužini od 25 km.

## 2.2 Geološka građa

Geološka građa širega boksitonosnog područja prikazana je na **slici 1**. Temeljni su geološki odnosi riješeni

izradom osnovne geološke karte 1 : 100 000, list Jajce (**Marinković i Ahac, 1975**). Prema tim podacima ležišta boksita vezana su za kopnenu fazu, odnosno stratigrafsku prazninu između cenoman-turonskih vapnenaca u podini i senonskih karbonatnih taložina u krovini ležišta boksita. To je tektonsko-erozijska diskordancija s kutom diskordancije do 10°.

Strukturni odnosi u području su zamršeni. Prevladavaju bore i rasjedi pružanja zapad – istok. Glavnina ra-



**Slika 1:** Zemljopisni položaj i geološka karta boksitonosnih područja kod Jajca (**Marinković & Ahac, 1975**; dopunjeno i prilagođeno prema **Dragičević, 1981, 1987, 1997**)

sjeda iz domene je reversnih. Bore su kose do prebačene, a vergencije su osnih ploha južne. Zbog vrlo vrijednih boksita zadnjih šezdesetak godina u području Bešpelja provedena su raznovrsna i brojna geološka istraživanja. Preciznije je definiran stratigrafski položaj ležišta boksita, odnosno trajanje stratigrafske praznine. Utvrđeno je da podinu ležištima boksita tvore plitkovodni marinski vapnenci najmlađega alba, a krovinski su sedimenti predstavljeni heterogenim karbonatnim klastitima, mjestimice i vapnencima, koji su započeli s taloženjem u kampanu i mastrihtu (Dragičević, 1981, 1987, 1997). Dakle kopnena faza tijekom koje su nastali boksiti trajala je oko 18 milijuna godina. Posebnu vrijednost navedenih radova predstavljaju geološki profili koji vrlo zorno i na temelju bušotinskih podataka, dakle egzaktno, daju sliku o zamršenosti strukturnih odnosa u području Bešpelja. Detaljno se prikazuje strukturni položaj ležišta, odnosno kontaktne plohe podina-krovina. Neka od ležišta nalaze se u nagnutom položaju, veći dio u vrlo strmome do verikalnome, a dio je ležišta u prevrnutome položaju, što dodatno otežava istraživanje i eksploataciju (Hajsek, 2005; Galić i dr., 2006-1, 2006-2; Dragičević i Velić, 2006; Budeš, 2009; Crnoja, 2015).

### 2.3 Položaj ležišta boksita

Primarni je položaj svih ležišta horizontalan (slika 2a). Gledajući generalno, ako ležišta nalazimo u ovome položaju, ona nisu bila znatnije zahvaćena tektonskim procesima. Takvih ležišta boksita nema u području Bešpelja. Vrlo čest strukturni položaj ležišta boksita jest da su ona zajedno s podinskim i krovinskim slojevima nagnuta (Bárdossy, 2013). Njih u području Bešpelja nalazimo u blizini tektonsko-erozijske granice (slika 2b). Daljnjim ustrmljavanjem kontaktne plohe između podine i krovine ležišta, ona dolaze u vrlo strm (subvertikalno) do vertikalno položaj (slika 2c). Zbog daljnjih tangencijalno-kompresijskih tektonskih djelovanja dolazi do prebačenoga (inverzno) položaja kontaktne plohe između podinskih i krovinskih slojeva, a time i takva položaja ležišta boksita (slika 2d).

U slučajevima kada se ležišta nalaze u vrlo strmim, uspravnim i prebačenim položajima, područje istraživa-

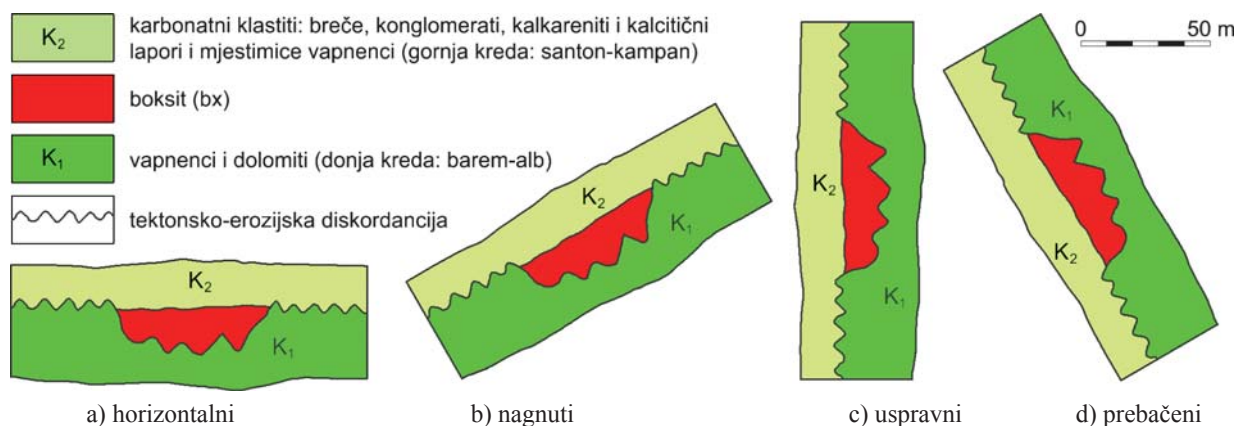
nja s površine postaje vrlo uska zona koja se proteže na površini uz kartografski prikazanu crtu transgresivne granice. Treba istaknuti da kod inverznih položaja ležišta boksita stratigrafska podina (vapnenci) postaje rudarska krovina, a stratigrafska krovina (pretežito karbonatni klastiti) postaje rudarska podina (Budeš, 2009; Crnoja, 2015). Takvi strukturni odnosi vrlo otežavaju istraživanja ležišta s površine. Redovito su takva istraživanja ekonomski neopravdana. Zbog toga je predložen novi pristup istraživanju ležišta iz podzemnih rudarskih prostorija.

### 3. Istraživanje ležišta boksita iz podzemnih rudarskih prostorija

Prve ideje o istraživanju ležišta boksita iz podzemnih rudarskih prostorija u području Bešpelja dao je Ilić (1989) u koncepcijskome rješenju za istraživanje i otvaranje ležišta Bešpelj u rudnicima boksita Jajce. Metodologija je bila dobro postavljena, no zbog nepoznavanja stratigrafskih, a time i strukturnih odnosa neposredno uz kontaktnu plohu, praktična primjena tih metoda nije dala očekivane rezultate. Naime položaj kontaktne plohe, koja je jedina relevantna za pronalaženje ležišta, mijenja se po pružanju i zalijeganju od nagnute do strmo nagnute, uspravne do inverzne te se zbog toga istraživačko bušenje treba stalno prilagođavati njezinu strukturnom položaju. Posebno treba naglasiti da uspješnost takvih istraživanja nužno ovisi o stalnome geološkom kartiranju kontaktne plohe, odnosno podzemnih rudarskih radova (Hajsek, 2005; Galić et al., 2006-1, 2006-2, 2008).

Podzemni rudarsko-istraživački radovi trebaju biti isplanirani tako da se izvode uz samu kontaktnu plohu te da se nakon pronađenoga ležišta mogu iskoristiti i kao eksploatacijski objekti. Nakon što geolog utvrdi položaj kontaktne plohe u odnosu na podzemni rudarski istraživački rad, pristupa se projektiranju istraživačkoga bušenja. Nužno je izvesti bušenje s jezgrovanjem.

Takav pristup rezultirao je pronalaženjem novih ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova i završetkom



Slika 2: Shematski prikaz strukturnoga položaja ležišta boksita (Budeš, 2009)

istraživanja ležišta koja su samo dijelom ustanovljena bušenjem s površine. (Dragičević et al., 2007; Galić et al., 2006, 2008).

### 3.1 Načini istraživačkoga bušenja iz podzemnih rudarskih prostorija

#### a) Bušenje prema dolje

Istraživačko bušenje prema dolje izvodit će se kada je kontaktna ploha u nagnutom i vertikalnome ili približno vertikalnome položaju. Tada će se s višega hodnika (780) bušiti prema nižemu (690) te će se pratiti kontaktna ploha kako je prikazano na **slici 3a i 3b**.

#### b) Bušenje prema dolje i prema gore

Istraživačko bušenje prema dolje i prema gore primijenit će se kada kontaktna ploha učestalo mijenja položaj po pružanju i zalijeganju te se pojavljuje u prevrnutome (inverznome) položaju. Ako se istraživački hodnik udalji od kontaktne plohe, onda je potrebno izraditi smjerni hodnik prema kontaktnoj plohi, a zatim vrijedi naprijed opisani način istraživanja (**slika 4**).

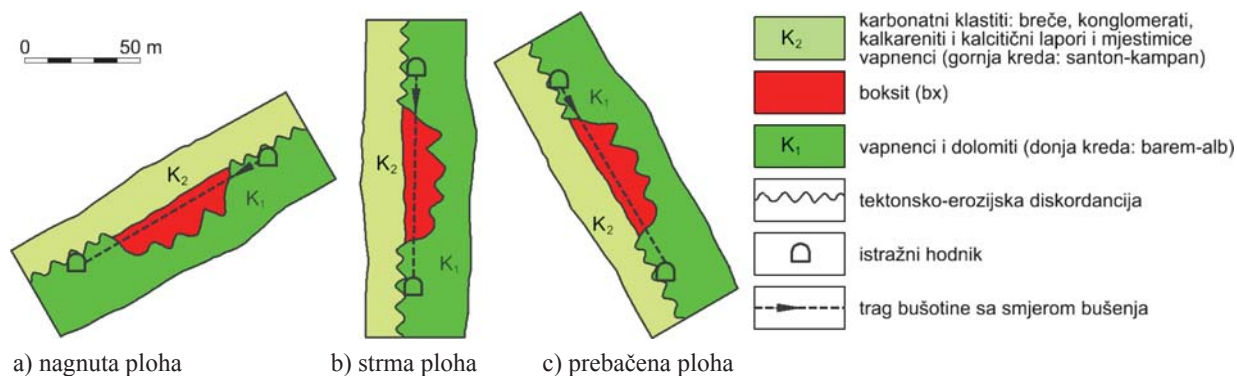
#### c) Bušenje prema gore

Bušenje prema gore koristi se samo u posebnim slučajevima, npr. kad nam je nepristupačan teren pa je onemogućeno bušenje s površine, ili je ležište bliže pod-

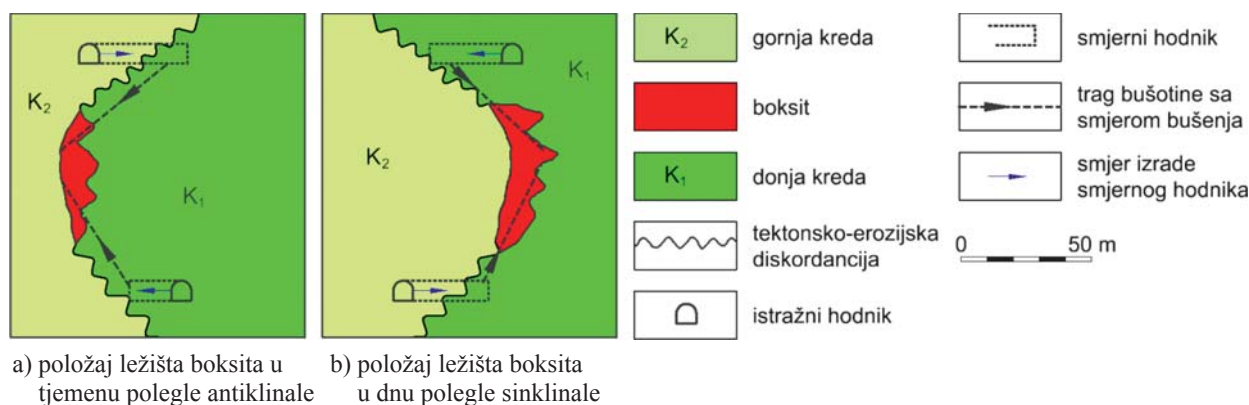
zemnim rudarskim prostorijama nego površini, ili nas sprječavaju imovinsko-pravni odnosi. U tim slučajevima imamo mogućnost da iz postojećih podzemnih rudarskih prostorija bušimo prema površini, kako je prikazano na **slici 5**.

### 3.2 Primjeri primjene novoga pristupa istraživanja ležišta boksita

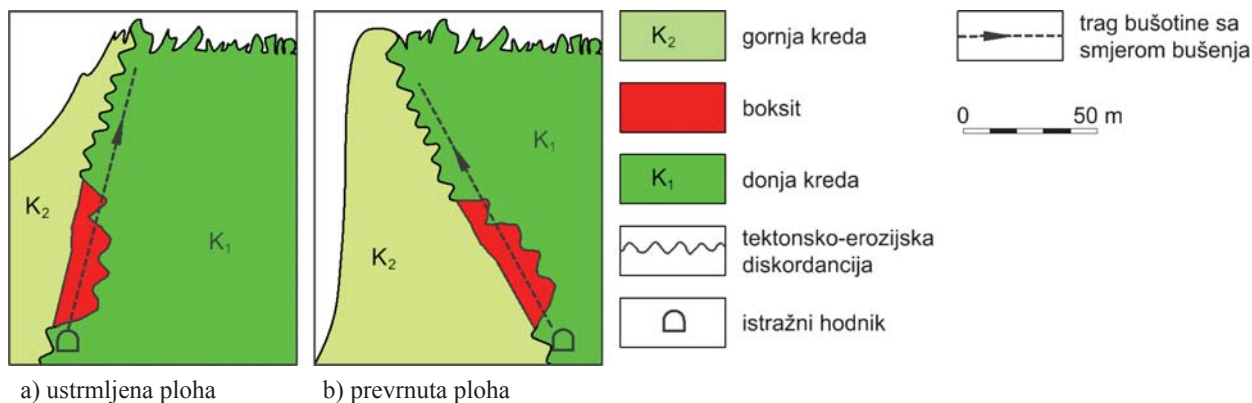
Do sada su na području Bešpelja istraživanja radena isključivo bušenjem s površine terena. Daljnje bušenje s površine bilo bi krajnje neracionalno, jer bi u cijeni boksita troškovi za istraživanje iznosili i do 50 %. Kada bi se još uzeli troškovi jamske eksploatacije, krajnji rezultat bio bi nepovoljan i neekonomičan. Stoga je primijenjen novi pristup istraživanjima ležišta boksita, te su istraživanja nastavljena izradom potkopa i podzemnih hodnika kojima će se ujedno i otvarati rudnik. U svrhu istraživanja, a kasnije i otvaranja rudnika, izradili bi se potkopi na kotama 600, 690 i 780 m. Potkopi dolaze do kontaktne plohe, a zatim se ona slijedi istraživačkim hodnicima. Hodnici se mogu izvoditi ili u podini ili u krovini, ali što bliže kontaktnoj plohi. Kasnije, u fazi eksploatacije, istraživački hodnici imat će ulogu pripremnih hodnika, hodnika za transport i ventilaciju. Zbog toga su veličine i oblici hodnika prilagođeni modernoj mehanizaciji. Iz hodnika bi se radila istraživačka bušenja na svakih 40 metara, a komore za istraživačko bušenje izra-



**Slika 3:** Shematski prikaz modela bušenja odozgo prema dolje (Budeš, 2009)



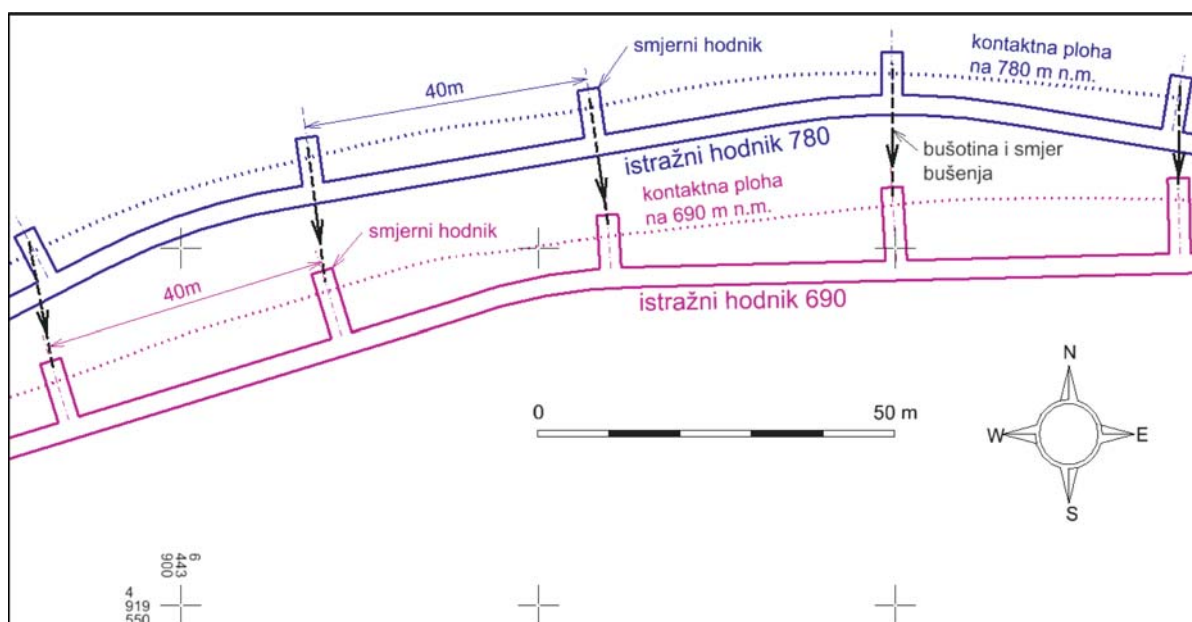
**Slika 4:** Shematski prikaz modela bušenja kada je istraživački hodnik udaljen od kontaktne plohe, bilo u podini bilo u krovini (Budeš, 2009)



a) ustrmljena ploha

b) prevrnutna ploha

Slika 5: Shematski prikaz modela bušenja odozdo prema gore (Budeš, 2009)



Slika 6: Shematski prikaz istraživačkih i smjernih hodnika (Galić et al., 2006)

dile bi se samo tamo gdje bi za to bilo potreba (slika 6). Veličina komora za istraživanje vrlo je bitna, jer se u njima moraju montirati garniture za istraživačko bušenje. No, ovdje se istraživanja mogu i dodatno racionalizirati ako se primijeni pristup integralnoga istraživanja cijeloga područja koji pretpostavlja da se istodobno istraži mogućnost postojanja i drugih mineralnih sirovina uz ležišta boksita, poput arhitektonsko-građevnoga kamena (Galić et al., 2015).

#### Primjer ležišta L-29

Rudnici boksita Jajce nastavili su istraživanja boksita u području Bešpelja te su u posljednjih desetak godina pronađena i okonturena nova ležišta. Istraživanja se provode kombiniranim metodama, izradom podzemnih prostorija i istraživačkim bušenjem iz hodnika koji se nalaze neposredno uz kontaktnu plohu. Izradom potkopa 780 i istraživačkih hodnika koji se nalaze na istoj razini pronađeno je ležište L-29 (slika 7). Ono je potpuno utvrđeno istraživačkim hodnikom, koji je izrađen uzduž

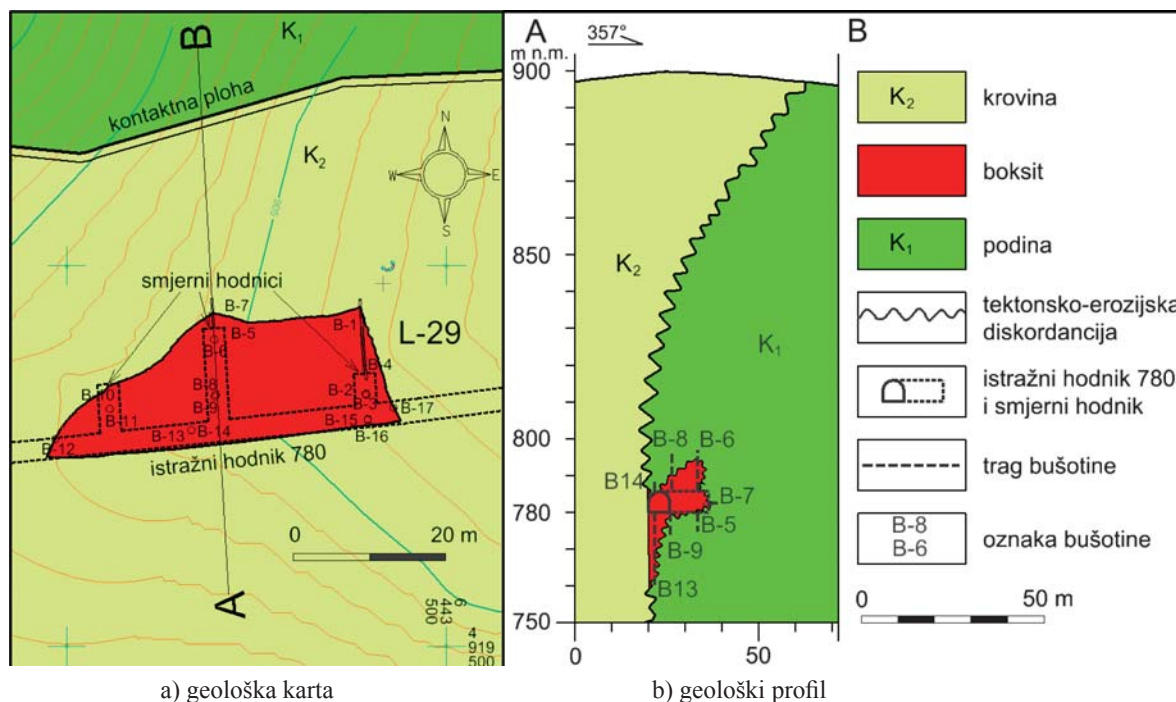
kontaktno plohe, s tri smjerna hodnika okomito na istraživački hodnik te 17 istraživačkih bušotina koje su izrađene iz uzdužnih i smjernih hodnika, prema gore i dolje, s razine potkopa 780.

Ovaj primjer pokazao je kako je nužno raditi uzdužni hodnik uz kontaktnu plohu ili što bliže uz nju, jer se time povećava vjerojatnost pronalaska ležišta boksita na razini jednoga potkopa ili između dvaju potkopa, ako ono zaista i postoji (Dragičević et al., 2007; Galić et al., 2008).

## 4. Očekivani rezultati

### 4.1 Model istraživanja ležišta boksita s površine

Osnovna je pretpostavka u ovoj analizi da prije početka istraživačkih radova nismo još utvrdili postojanje niti jednoga ležišta. Cilj je utvrditi postojanje ležišta boksita na području istraživanja i teorijsku vrijednost ukupnih troškova određenom metodom istraživanja. Uspored-



Slika 7: Primjer modela bušenja na ležištu boksita L-29 (Dragičević i dr., 2007)

bom troškova istraživanja proizići će učinkovitost metode istraživanja.

Da bi utvrdili učinkovitost istraživačkih radova, bilo s površine bilo iz podzemnih rudarskih radova, potrebno je odrediti ili dimenzionirati područje istraživanja (Haldar, 2013). Područje istraživanja, hipotetski, mora biti identično i za bušenje s površine i za istraživačke radove iz podzemlja. Budući da je boksitonosno područje Bešpelj dugačko preko 5 km, kao primjer za ovu analizu pretpostavljeno je područje koje zahvaća 2000 m duljine i 40 m širine. Ako se postavi pravilna mreža istraživačkih bušotina 40 x 40 m, dobit će se ukupan broj od 100 istraživačkih bušotina, koje je potrebno izbušiti s površine.

Osim dimenzioniranja područja istraživanja potrebno je odrediti i dubine (razine) do kojih će se izvoditi istraživački radovi s površine i iz podzemlja. Za ovu analizu određeno je da dubine bušenja budu: 90, 180, 270 i 360 m. Dubine bušenja prikladne su nadmorskim visinama na kojima će biti glavni hodnici.

Cijena bušenja na jezgru, s površine, iznosi prosječno 100 €/m<sup>3</sup>, do 200 m dubine. Cijena bušenja, s površine, povećava se s dubinom, i to 25 €/100m. Pri površinsko-me istraživanju treba izraditi i prilazne ceste do mjesta bušenja. Cijena izrade prilaznih cesta iznosi 100 €/m<sup>3</sup>.

#### 4.2 Model istraživanja ležišta boksita iz podzemnih rudarskih prostorija

Istraživanje iz podzemnih rudarskih radova izvodit će se iz hodnika koji će biti na razinama 780, 690, 600 i 510 m. Dimenzije područja istraživanja identične su kao i za istraživanja s površine. Duljina uzdužnih istraživačkih

hodnika ovisit će o razini do koje će se bušiti te će iznositi:

- 2600 m za hodnik 780
- 4100 m za hodnik 690
- 6200 m za hodnik 600
- 8300 m za hodnik 510.

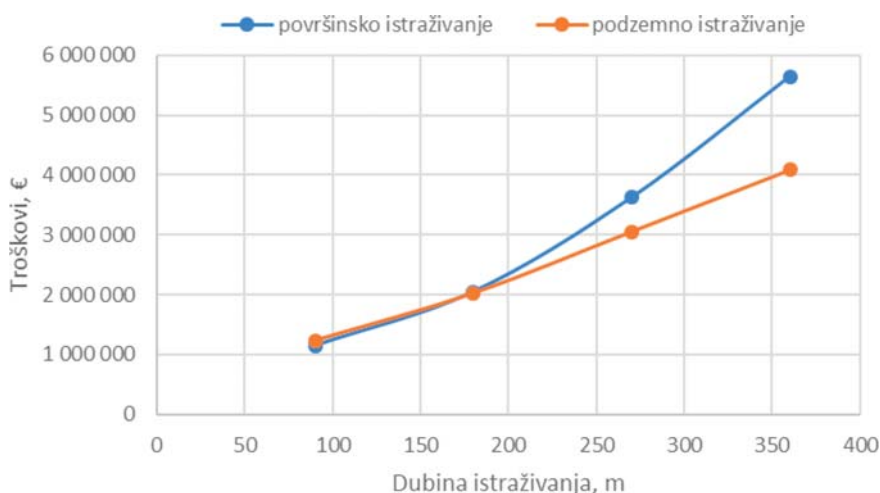
Cijena izrade jednoga metra hodnika iznosi 400 €. Istraživačka bušenja planirana su na svakih 40 metara, uzduž hodnika, kao i kod površinskoga bušenja, ali samo u jednome redu, neposredno uz kontakt. Nepotrebno je raditi bušenje u drugome redu jer će se već iz poznavanja strukturnih i stratigrafskih odnosa uz kontaktnu plohu moći utvrditi postoji li ležište boksita na toj poziciji. Duljina bušenja iznosi oko 96 metara između dvaju potkopa, jer je nagib kontaktne plohe oko 70° te oko 96 m od razine 780 prema površini. Time će se praktično istražiti kontaktna ploha od razine 510 do površine terena (870 m nad morem) i utvrditi postoji li ležište boksita u tome području. Prema tome, bušenje će se izvoditi na 50 lokacija u duljini od ukupno oko 360 metara. Cijena bušenja jednoga metra na jezgru iz podzemnih rudarskih radova iznosi 40 €.

No, u istraživanju iz podzemnih prostorija postoje i dodatni troškovi sadržani u izradi komora za bušenje. Komore za bušenje neće se izrađivati na svakoj poziciji bušenja, nego samo na potrebnim mjestima, gdje hodnici budu odmaknuti od kontaktne plohe. Pretpostavlja se da će u najnepovoljnijem slučaju biti potrebno izraditi 40 komora na četiri hodnika (780, 690, 600 i 510). Komore moraju biti dovoljno velike da u njih stane bušača garnitura. Za izradu 40 komora u duljini od 5 metara u prosjeku potrebno je izraditi 200 metara hodnika. Cijena izrade jednoga metra hodnika iznosi 400 €.

Tablica 1: Ovisnost troškova o mjestu i dubini istraživanja

Dubina	Istražni radovi s površine							Istražni radovi iz podzemnih prostorija						
	Istražno bušenje			prilazne ceste			Ukupno	Istražno bušenje			podzemne prostorije			Ukupno
m'	duljina m'	cijena €/m'	trošak €	duljina m'	cijena €/m'	trošak €	€	duljina m'	cijena €/m'	trošak €	duljina m'	cijena €/m'	trošak €	€
90	9000	100	900000	2500	100	3E+05	<b>1 150 000</b>	4790	40	191595	2600	400	1040000	<b>1 231 595</b>
180	18000	100	2E+06	2500	100	3E+05	<b>2 050 000</b>	9580	40	383190	4100	400	1640000	<b>2 023 190</b>
270	27000	125	3E+06	2500	100	3E+05	<b>3 625 000</b>	14370	40	574786	6200	400	2480000	<b>3 054 786</b>
360	36000	150	5E+06	2500	100	3E+05	<b>5 650 000</b>	19160	40	766381	8300	400	3320000	<b>4 086 381</b>

Slika 8: Dijagram troškova površinskoga i podzemnoga istraživanja



#### 4.3 Rezultati analize modela istraživanja ležišta boksita

Temeljem ulaznih podataka opisanih u modelima istraživanja napravljena je analiza troškova. Rezultati analize prikazani su u **tablici 1**.

Ukupni troškovi istraživanja pretpostavljenoga područja iz podzemnih rudarskih prostorija do dubine 180 m neznatno su veći od vrijednosti troškova istraživanja s površine. No, već s porastom dubine na 190 m troškovi istraživanja s površine premašuju troškove istraživanja iz podzemnih rudarskih prostorija.

S porastom dubine ležišta, odnosno duljine istraživačkih bušotina, iznad 200 m' jedinična cijena bušenja povećava se jer se povećava promjer uvodne kolone. Stoga se s porastom dubine iznos troškova istraživanja s površine znatno povećava u odnosu na istraživanje iz podzemnih prostorija, što je prikazano u **tablici 1** i na **slici 8**.

Nadalje, istraživačka bušenja s površine ne prate nagib kontaktne plohe te su stoga puno nepouzdanija od podzemnih istraživanja. Pri podzemnim istraživanjima, prostorije otvaranja i razrade ujedno su i priprema za eksploataciju ležišta te time predstavljaju veliku uštedu u ukupnim troškovima. Može se utvrditi da je nakon određene dubine istraživanja isplativije izraditi i podzemne prostorije od bušenja bušotina s površine.

#### 5. Zaključak

Na eksploatacijskome polju Bešpelj izvodi se eksploatacija boksita već dugi niz godina, međutim dosad provedena istraživanja upućuju na to da se na tome području nalazi još vrijednih ležišta boksita. Mnogo godina detaljna istraživanja obavljala su se bušenjem s površine. Zbog zamršenih strukturnih geoloških odnosa, strmih do vertikalnih te prevrnutih (inverznih) položaja ležišta boksita, bilo je potrebno osmisliti novi pristup istraživanjima ležišta. Istraživačko bušenje s površine do dubokih ležišta boksita skupo je i neracionalno. Stoga je predložen novi pristup istraživanja koji obuhvaća izradu podzemnih rudarskih prostorija i istraživačko bušenje iz tih prostorija. Kontaktna ploha podine i krovine na ležištima boksita strma je, no promjenjivoga nagiba po pružanju i zalijeganju. Zato je uz izradu podzemnih rudarskih prostorija potrebno stalno izvoditi geološko kartiranje s ciljem daljnjega usmjeravanja radova.

U radu prikazani koncept istraživanja izradom istraživačkih bušotina iz uzdužnih hodnika neposredno uz kontaktnu plohu daje veliku vjerojatnost pronalaska novih ležišta boksita. Analizom ekonomskih pokazatelja utvrđeno je da su troškovi istraživanja iz podzemnih rudarskih radova nominalno niži u odnosu na površinska istraživačka bušenja jer se dio troškova ubraja u pripremu za eksploataciju boksita. Predloženim pristupom

može se odrediti granična dubina istraživanja ispod koje je puno povoljnije istraživanje iz podzemnih rudarskih radova, čak i ako se podzemne prostorije izrađuju namjenski kao pripreme prostorije za istraživačko bušenje.

## 6. Literatura

- Bárdossy, G. (2013): Karst bauxites: Developments in Economic Geology 14. Elsevier, Amsterdam, 442 p.
- Budeš, I. (2009): Istraživanje boksita iz podzemnih rudarskih radova, diplomski rad, 27 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Crnoja, F. (2015): Geološki odnosi u boksitonosnom području "Poljane" kod Jajca (BiH) s posebnim osvrtom na ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena, diplomski rad, 26 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Dragičević, I. (1981): Geološki odnosi u boksitonosnom području Jajca, magistarski rad, str. 65. Sveučilište u Zagrebu, Centar za postdiplomski studij, Zagreb.
- Dragičević, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezozojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne, disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Dragičević, I. & Velić, I. (1994): Stratigraphical position and significance of reef facies at the Northern margin of the Dinaric carbonate platform during the Late Jurassic and Cretaceous in Croatia and Bosnia. *Geologie Mediterranee*, Tome XXI, NO 3–4, 59–63, Marseille.
- Dragičević, I. (1997): The Bauxites of the Northern Margin of the Dinarides Carbonate Platform (Area of Jajce, Bosnia). 8th Internat. Congress of ICSOBA, Milan, April 16/18-1997, Travaux, ICSOBA, Vol. 24, 64–73, Milan.
- Dragičević, I., Nuić, J., Nuić, M. (2003): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi crvenog boksita na ležištima: L-20, L-24, L-25, L-26, L-27, L-34 i L-35 u području Bešpelja (Jajce-BiH), Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Dragičević, I., Velić, I. (2006): Litostratigrafski odnosi ležišta boksita u području Bešpelj. *GEOECO.ing d.o.o.* p.30, Zagreb.
- Dragičević, I., Galić, I. (2007): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi crvenog boksita na ležištu L-29 u području Bešpelja (Jajce – BiH), Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Farkaš, B. (2006): Modeliranje boksitonosnog područja Vlasinje s konceptom novih istraživačkih radova, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 62 str.
- Galić, I., Krasić, D. & Dragičević, I. (2015): Evaluation of research in a bauxite-bearing area on a locality „Crvene stijene“ with emphasis on exploitation of associated deposits. *Geologia Croatica*, Vol. 68/3, 225–236.
- Galić, I., Dragičević, I., Živković, S. A., Janković, B., Hajsek, D., Radovac, T., Kovacsics, A., József, H., Podanyi, T. (2006): Glavni rudarski projekt eksploatacije ležišta boksita u eksploatacijskom polju «Bešpelj», Zavod za rudarstvo i geotehniku, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Galić, I., Dragičević, I., Radovac, T. (2006): Primjena računalnih programa pri modeliranju površinskih i podzemnih kopova. //Međunarodni rudarski simpozij-mining 2006. Istraživanje, eksploatacija i prerada čvrstih mineralnih sirovina/ Žunec, Nenad; Horvat, Jasna; Bunić, Silvija (ur.), Grafika Hrašće, Zagreb, 126–139.
- Galić, I., Dragičević, I., Janković, B., Hajsek, D., Radovac, T., Kovacsics, A., Podanyi, T. (2008): Dopunski rudarski projekt eksploatacije ležišta boksita u eksploatacijskom polju «Bešpelj» (L-29), Zavod za rudarstvo i geotehniku, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Hajsek, D. (2005): Primjena računalnih programa pri modeliranju prostorija otvaranja, razrade i istraživanja u eksploatacijskom polju «Bešpelj», diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 46 str.
- Haldar, S.K. (2013): Mineral Exploration: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 334 p.
- Ilić, Z. (1989): Konceptijsko rješenje za istraživanje i otvaranje ležišta Bešpelj u rudnicima boksita Jajce, Rudarski institut Zemun.
- Marinković, R. i Ahac, A. (1975): Osnovna geološka karta, list Jajce. Geoinženjering, Institut za geologiju, Sarajevo.
- Papeš, J. (1984): Geološka karta boksitonosnih terena Liskovice, Bešpelja, Seoca, Crvenih stijena i Poljana, kod Jajca, M 1 : 25 000. Geoinženjering, Institut za geologiju, Sarajevo.
- Slanc, G. (2011): Utjecaj nagiba kontaktne plohe boksita i pratećih stijena na vrstu i raspored istraživačkih radova na području Bešpelja, završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 41 str.

## Doprinosi autora

**Ivan Budeš** (tehnički rukovoditelj) – glavni doprinos u kreiranju modela podzemnih rudarskih radova u funkciji istraživanja ležišta boksita. **Ivo Galić** (izvanredni profesor) – glavni doprinos u suradnji pri izradi novoga pristupa i modela istraživanja ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova i komparativnoj analizi efikasnosti istraživanja s površine i iz podzemnih prostorija. **Ivan Dragičević** (profesor u mirovini) – glavni doprinos u definiranju geoloških odnosa u području istraživanja te suradnji pri izradi novoga pristupa i modela istraživanja ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova.