

# Uticaј geološke neizvesnosti u razvoju rudarskih projekata; Impact of geological uncertainty in the development of mining projects

Petar Marković, Dejan Stevanović, Mirjana Banković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Uticaј geološke neizvesnosti u razvoju rudarskih projekata; Impact of geological uncertainty in the development of mining projects | Petar Marković, Dejan Stevanović, Mirjana Banković | XI Међународна конференција "Угаљ и критични минерали 2023", ССМ 2023, Златибор, 11-14. октобар 2023. | 2023 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008197>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)



---

## UTICAJ GEOLOŠKE NEIZVESNOSTI U RAZVOJU RUDARSKIH PROJEKATA

### IMPACT OF GEOLOGICAL UNCERTAINTY IN THE DEVELOPMENT OF MINING PROJECTS

Marković P.<sup>1</sup>, Stevanović D.<sup>2</sup>, Banković M.<sup>3</sup>

#### Apstrakt

Rudarstvo je industrija koja se nosi sa različitim vrstama neizvesnosti i rizika zbog svoje prirode i specifičnosti. Neizvesnost u rudarstvu može poticati iz različitih izvora i uticati na različite aspekte rudarskih projekata. Kao jedan od dominantnih faktora, ističe se geološka neizvesnost. Geološka neizvesnost igra ključnu ulogu u rudarstvu i može značajno uticati na procenu resursa i rezervi, planiranje eksploatacije, ekonomsku isplativost i upravljanje rizicima. Ova neizvesnost se ne može eliminisati, ali se uz primenu adekvatnih standarda i zakona može umanjiti. Kroz ovaj rad prikazane su razlike u regionalnoj i stranoj praksi sa aspekta kategorizacije resursa i rezervi, kao i uticaj stepena pouzdanosti geoloških karakteristika ležišta na rezultate optimizacije granice kopa. Analiza je sprovedena na ležištu rude gvožđa, i bazira se na pretpostavljenoj neizvesnosti koja se može javiti u proceni sadržaja korisne komponente u rudi (sadržaja gvožđa u rudi). Rezultati su generisani u programskom paketu Whittle.

**Ključne reči:** *geološka neizvesnost, rizik, optimizacija kopa, planiranje*

#### Abstract

Mining is an industry that deals with different types of risks due to its nature and specificity. Uncertainty in mining can come from different sources and affect different aspects of mining projects. Geological uncertainty stands out as one of the dominant factors. Geological uncertainty plays a key role in mining and can significantly affect resource and reserve estimation, exploitation planning, economic profitability and risk management. This uncertainty cannot be eliminated, but with the application of adequate standards and laws, it can be reduced. Through this paper, the differences in regional and foreign practice from the aspect of categorization of resources and reserves, as well as the influence of the degree of reliability of the geological characteristics of the deposit on the results of the pit optimization, are shown. The analysis was carried out on an iron ore deposit and is based on the assumed uncertainty that may occur in the assessment of the content of the useful component in the ore (grade of iron in the ore). The results were generated in the Whittle software package.

**Keywords:** *geological uncertainty, risk, pit optimization, planning*

## 1. Uvod

Savremeno rudarstvo izloženo je stalnom trendu pogoršanja uslova poslovanja. Mogućnost ostvarenja ekonomskih i drugih ciljeva rudarskog projekta kompromitovana je stalnim pogoršanjem kvaliteta ležišta na kojima se vrši eksploatacija, kao i značajnoj dozi neizvesnosti povezane sa geološkim, ekonomskim i tehničkim parametrima proizvodnje (Stevanović D., 2015).

---

<sup>1</sup> Asistent Marković Petar, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

<sup>2</sup> Prof. dr Stevanović Dejan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

<sup>3</sup> Doc. dr Banković Mirjana, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Neizvesnost je sastavni deo rudarskih projekata, odnosno duboko je inkorporirana u samu prirodu praktično svakog elementa rudarske prakse. Imajući ovo u vidu, Royer (Royer PS., 2000) napominje da jedan od prvih koraka u procesu planiranja, treba da bude identifikacija i procena uticaja neizvesnosti. Samo na ovakav način može se pravilno upravljati rizicima poslovanja. Autor dalje navodi da je upravljanje rizicima kritična etapa projekta i najčešći razlog negativnog ishoda projekta leži u činjenici da su rizici bili zanemareni ili je njihov uticaj bio potcenjen. Takođe zanemarivanje neizvesne prirode elemenata u projektu za posledicu mogu imati i gubitak potencijalnih prilika za ostvarenje dodatnog profita ili ostalih benefita poslovanja (Stevanović D., 2015) (Snowden D. V., Glacken I. and Noppe M., 2002).

Neizvesnost u rudarstvu (koja je direktno povezana sa rizikom) može poticati iz različitih izvora i uticati na različite aspekte rudarskih projekata, od kojih su najznačajniji:

- *Geološka neizvesnost*: Neizvesnost u vezi sa stvarnom geološkom strukturom i karakteristikama ležišta.
- *Cenovna neizvesnost*: Cene mineralni sirovina često osciliraju na tržištu. Neizvesnost u vezi sa budućim cenama može značajno uticati na isplativost rudarskog projekta
- *Tehnička neizvesnost*: Tehnički izazovi kao što su izbor tehnologije, metoda eksploatacije, transporta i procesa prerade rude, takođe mogu doprineti neizvesnosti.
- *Ekološka i regulatorna neizvesnost*: Rudarski projekti su često podložni strogim ekološkim i regulatornim zahtevima. Promene u zakonodavstvu i regulatornom okruženju mogu dodatno komplikovati projekat.
- *Finansijska neizvesnost*: Osiguravanje finansijskih sredstava za rudarski projekt i upravljanje troškovima su ključni faktori. Neizvesnost u vezi sa finansijskim tržištima i dostupnošću kapitala može otežati razvoj projekta.
- *Vremenska neizvesnost*: Rudarski projekti često zahtevaju značajno vreme za razvoj i eksploataciju, a kašnjenja u izvođenju mogu uticati na planiranje i isplativost.
- *Socialno-ekonomska neizvesnost*: Lokalni faktori, kao što su odnosi sa zajednicom, politička stabilnost i socijalni faktori, takođe mogu doprineti neizvesnosti u rudarskim projektima.

Svi navedeni faktori mogu imati veći ili manji uticaj, ali ono što suštinski razdvaja rudarske projekte od projekata u ostalim poslovnim i industrijskim delatnostima, jeste postojanje geološke komponente i neizvesnosti koja je sa njom povezana.

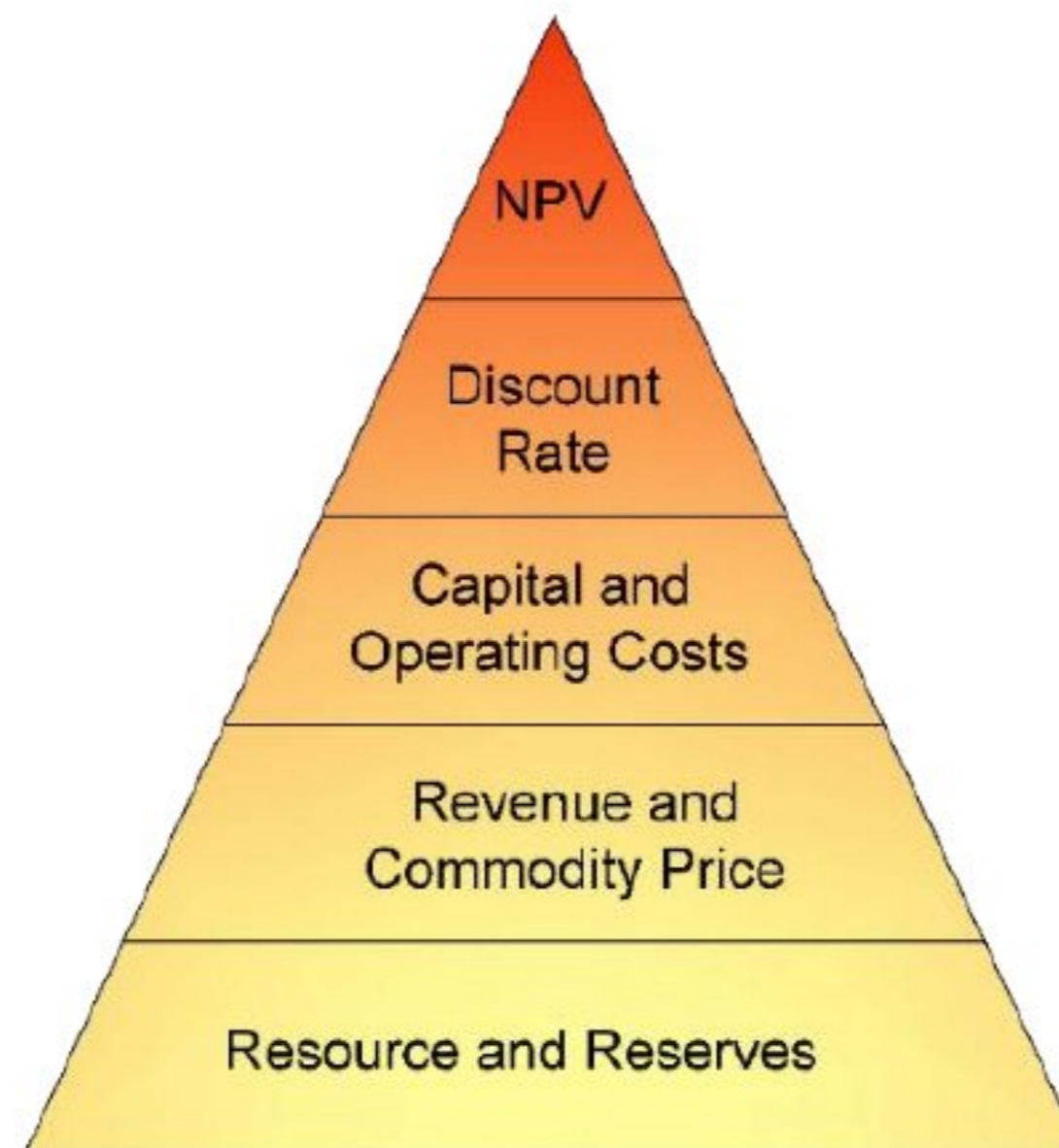
Geološka neizvesnost ima veliki uticaj tokom celokupno životnog veka rudnika, ali je od posebnog značaja za fazu projektovanja i planiranja (pre svega na proces optimizacije granice kopa i planiranje razvoja rudarskih radova). Kroz ovu fazu izrađuje se odgovarajuća investiciona i projektna dokumentacija, na osnovu koje se donose odluke o daljem investiranju i implementaciji, te greške u ovoj fazi mogu prouzrokovati velike gubitke i projekat učiniti neuspešnim.

## **2. Geološka neizvesnost**

Procena resursa na početku i eventualna procena rezervi, osnovna je podloga za finansijsku analizu rudarskog projekta. Za svaku procenu resursa i rezervi se može reći da je netačna, pri čemu su određene procene manje netačne od drugih (Rozman, L.I., 1998). S obzirom na konstataciju, može se zaključiti da je ekonomska analiza projekta u određenoj meri svakako netačna (Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj., 2015). Uprkos ovoj činjenici, geološka neizvesnost koja se javlja u proceni resursa i rezervi se obično potpuno ignoriše u izradi rudarskih projekata.

Za razliku od drugih inputa koji se implementiraju u ekonomsku procenu projekta i koji imaju samo kvantitativne vrednosti, geološke komponente (procenjeni resursi i rezerve) imaju i kvantitativne i kvalitativne komponente, što ih čini posebno pogodnim za stvaranje nesigurnosti (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999). Čak i u slučaju kada je procena rezervi i resursa, potpuno korektno izvršena primenom klasičnih determinističkih metoda, dobijeni rezultati se razlikuju u opsegu od  $\pm 15\%$  rezultata

gde se uzima u obzir geološka nesigurnost. Ovu tvrdnju autori (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999) potkrepljuju faznim dijagramom u analizi novčanih tokova (Slika 1). Dijagram na Slici 1 prikazuje piramidalnu strukturu za neto sadašnju vrednost (NPV) projekta. U osnovi piramide (Slika 1) je procena resursa i rezervi, a greške napravljene u ovoj (najnižoj fazi) prenose se na sve više nivoe isplativosti projekta. Struktura naglašava važnost tačne procene resursa i rezervi za ceo projekat. Imajući ovo u vidu, posledice potcenjivanja geološke neizvesnosti mogu imati veliki uticaj na ekonomsku procenu vrednosti projekta (Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj., 2015) (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999).



*Slika 5. Faze u analizi novčanog toka projekta (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999)*

Procena mineralnih resursa/rezervi sprovodi se kroz sledeće četiri faze (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019):

- Prikupljanje, obrada i kontrola podataka,
- Geološka interpretaciju i modeliranje,
- Analiza i procena sadržaja, i
- Procena i kontrola rizika.

Procena resursa treba da bude kompletirana sa procenom rizika. Svi numerički modeli imaju višestruke značajne izvore rizika, vezane za podatke, geološku interpretaciju i modeliranje (procenu) sadržaja. Ocena rizika, vezana za promenljive koje čine bazu procene resursa je sastavni deo dobre prakse (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019).

### **3. Kategorizacija i klasifikacija resursa i rezervi**

Mineralne sirovine se po stepenu poznavanja dele na dve različite kategorije, resurse i rezerve, od kojih se svaka deli na klase pouzdanosti. Resursi se dele na klase po stepenu pouzdanosti (proučenosti i poznavanju) na osnovu: fizičkih, hemijskih, statističkih, tehničkih i dr. parametara. Rezerve se takođe dele na klase po stepenu pouzdanosti, pri čemu se pored faktora koji opredeljuju klasu resursa uzimaju u obzir i tehno-ekonomski parametri vezani za utvrđivanje isplativosti eksploatacije, odnosno za analizu modifikujućih faktora (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001).

Kriterijumi za klasifikaciju resursa su standardizovani, uzimajući u obzir: način bušenja, ispravnost procedure uzorkovanja i analize proba, rastojanje između istražnih bušotina i drugih istražnih radova, geološki kontinuitet ležišta, kontinuitet sadržaja, metodu procene i veličinu blokova u blok modelu, mogući način eksploatacije i period eksploatacije (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012).

Klasifikacija rezervi mora da uzme u obzir klasifikaciju resursa po pouzdanosti, i rezerve dalje klasifikovati na osnovu ocene mogućnosti eksploatacije, razmatrajući sledeće faktore: granični sadržaj, procenjeni parametri iskorišćenja i gubitaka za rudarsku i metaluršku preradu, troškovi proizvodnje i faktori prihoda, tržišni uslovi i ostali faktori rizika po uspešnost eksploatacije kao što su ekološki,

socijalni, politički, i dr (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012).

Klasifikacija resursa se po savremenim standardima sprovodi u dva koraka (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001):

- *Ocena pouzdanosti procenjenih resursa*, kada se analiziraju raspoloživi podaci i njihova pouzdanost, i na bazi te ocene definišu delovi ležišta u kojima su ispunjeni uslovi za postojanje određenih klasa, i
- *Klasifikacija blokova u resurs modelu*, pri čemu se osim pouzdanosti uzama u obzir i varijabilnost sadržaja u ležištu.

Proces klasifikacije je očigledno multi-kriterijumski, u nekim delovima podložan subjektivnoj proceni kompetentnih lica.

Ocena pouzdanosti procenjenih resursa zasniva se na oceni pouzdanosti raspoloživih podataka koji čine osnovu procene resursa. Za ocenu pouzdanosti razmatraju se svi raspoloživi podaci, za ležište u celini ili po pojedinim njegovim delovima, i to su (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001):

- Gustina istražnih radova (istražnih bušotina i dr.),
- Procenat iskorišćenja jezgra iz bušotina,
- Litološka interpretacija na osnovu istražnih radova,
- Kontrola kvaliteta pripreme podataka i laboratorijskih analiza,
- Metodologija modeliranja ležišta i procene sadržaja i
- Ocena mogućnosti i načina eksploatacije (srednji i granični sadržaji, i dr).

U svetskoj praksi razvijeno je nekoliko sistema za klasifikaciju i kategorizaciju resursa, od kojih su najznačajniji (Emery X., Ortiz J., Rodriguez J., 2006):

- JORC Code (Australian Joint Ore Reserves Committee)
- CIM Guidelines (CIM, 2000) and National Instrument 43-101 (CSA, 2001)
- SME Guide (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA)
- PERC Code (Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee) i
- UNFC (United Nations Framework Classification for Resources, 2009/2019)

Klasifikaciju mineralnih resursa i rezervi se u domaćoj praksi sprovodi se na osnovu *Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list SFRJ), broj 53 od 19. oktobra 1979*). Ovim pravilnikom predviđena je nešto drugačija klasifikacija rezervi u odnosu na svetske standardne koji su prethodno navedni, i ima određene nedostatke.

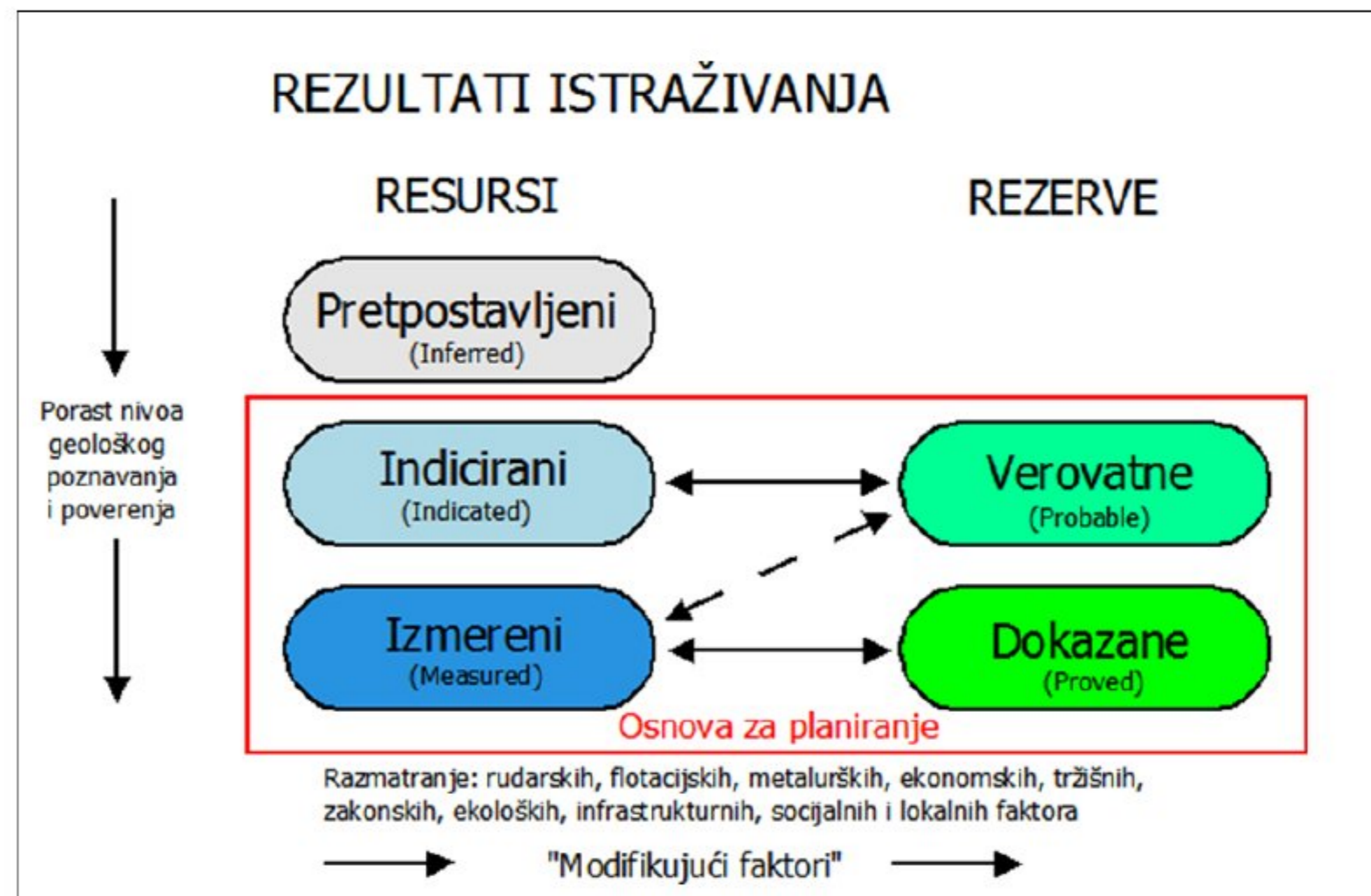
### **3.1. PERC Code (Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee)**

PERC Code predstavlja Evropski standard za izveštavanje o rezultatima geoloških istraživanja mineralnih resursa i rezervi. Razvijen je od strane Panevropskog komiteta za izveštavanje o resursima i rezervama, a izdanje iz 2021. godine je trenutno važeće (PERC Reporting Standard, 2021).

*Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima* (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021), predviđa klasifikaciju i kategorizaciju upravo po vežećoj verziji ovog standarda, koji je veoma sličan u odnosu na ostale internacionalne standarde (JORC Code, NI 43-101, SME Guide). Svi ovi standardni imaju određena manje odstupanja, ali im je klasifikacija i kategorizacija resursa i rezervi jedinstvena.

Ovi standardi predviđaju da se prema stepenu geološke istraženosti, čvrsti mineralni resursi dele (klasifikuju) na: pretpostavljene, indicirane i izmerene. Da bi se mineralni resursi preveli u rezerve,

potrebno je da su provedene odgovarajuće procene i studije kojima je dokazana ekonomska isplativost eksploatacije, uzimajući u razmatranje sve *modifikujuće faktore* sa realistično pretpostavljenim rudarskim, metalurškim, ekonomskim, marketinškim (tržišnim), pravnim, ekološkim, društvenim i lokalnim (državnim) faktorima. Ove procene se odnose na vreme podnošenja izveštaja, u vreme kada je eksploatacija ekonomski isplativa. Rudne rezerve su klasifikovane u klase verovatne rudne rezerve i dokazane rudne rezerve (Slika 2) (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (PERC Reporting Standard, 2021).



Slika 6. Šema klasifikacije mineralnih resursa i rezervi (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (PERC Reporting Standard, 2021)

### 3.2. Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji (SFRJ, 1979. god.)

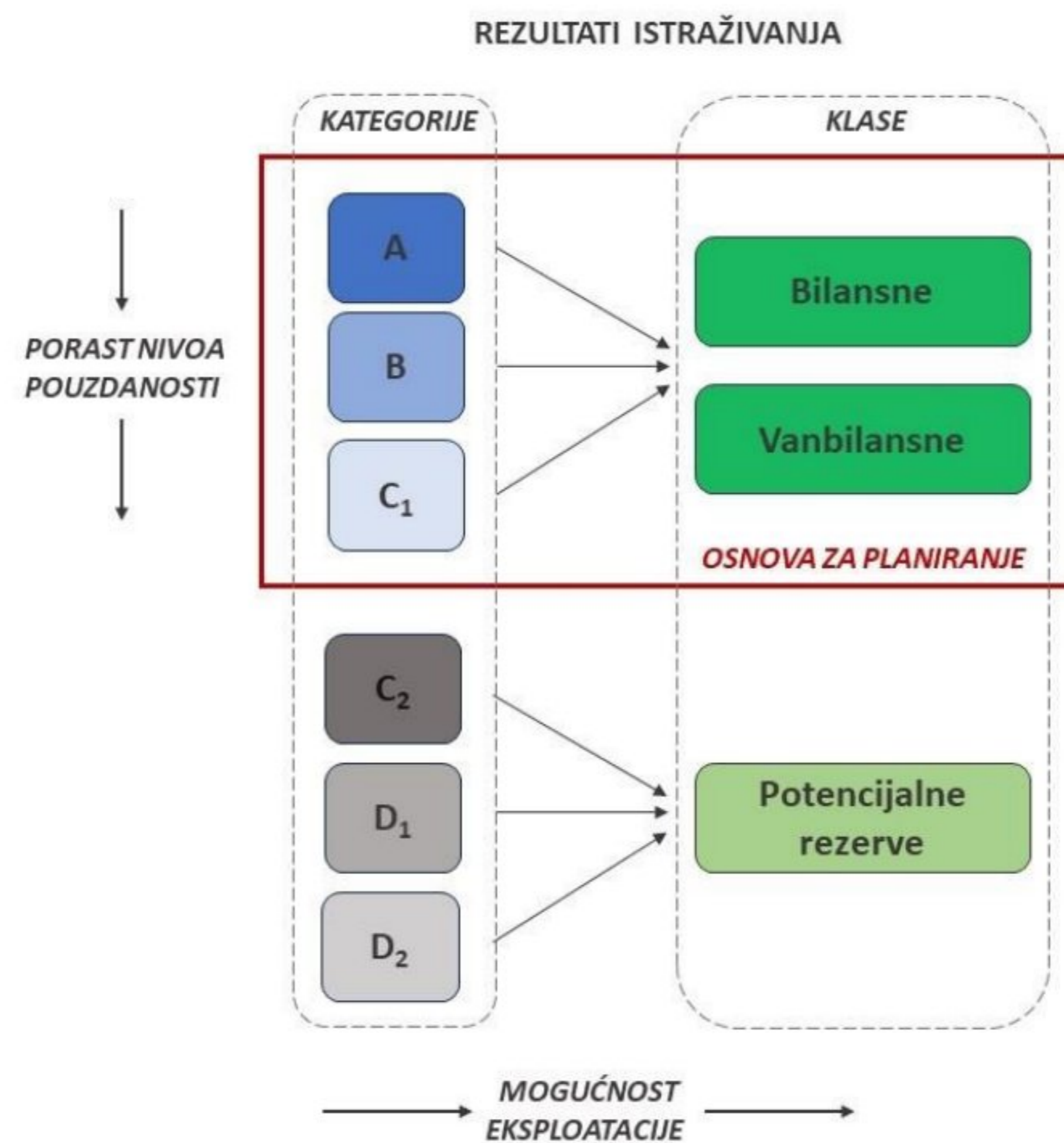
Tokom 2015. godine u Srbiji je usvojen *Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima*, Službeni glasnik RS br. 101/2015, kojim se do tada važeći sistem za izveštavanje o istraživanjima mineralnih resursa i njihova klasifikacija (Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list SFRJ, broj 53 od 19. oktobra 1979.)), menja i usklađuje sa internacionalnim standardima i praksom. Međutim, veliki broj ležišta, aktivnih kopova i rudnika u Srbiji, poseduje upravo geološki elaborat u kome je klasifikacija i kategorizacija resursa i rezervi urađena po pravilniku iz 1979. godine.

Prema stepenu istraženosti i stepenu poznavanja kvaliteta sirovina, utvrđene mase rezervi čvrstih mineralnih sirovina razvrstavaju se, po pravilu, u kategorije A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub> (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima). Ova regulativa nije na isti način poznavala pojmove mineralni resursi i rezervi (iz svetskih standarda).

Rezerve čvrstih mineralnih sirovina kategorija A, B, C<sub>1</sub>, zavisno od mogućnosti njihove eksploatacije, razvrstavaju se u bilansne i vanbilansne rezerve. Rezerve čvrstih mineralnih sirovina kategorija C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>, smatraju se kao potencijalne i ne razvrstavaju se u klase (bilansne i vanbilansne) (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima). Klasifikacija i kategorizacija rezervi prema pravilniku iz 1979. godine prikazana je na Slici 3.

Zakoni o rudarstvu i geološkim istraživanjima Srbije iz 2011. i 2015., i danas važeći *Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima* iz 2021. godine, za razliku od prethodnih, prepoznaju pojmove i klase mineralnih resursa i rezervi, kompetentna lica i dr. (po uzoru na zapadne sisteme izveštavanja: JORC Code, NI 43-101, PERC Code i dr.), [11 (CIM Definition Standards For Mineral Resources and Mineral Reserves, 2014) (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012)]. Na žalost, predmetni *Zakon* ove pojmove nije korelisao sa pojmovima ukupnih (geoloških), bilansnih i vanbilansnih rezervi iz ranije regulative i Pravilnika o kategorizaciji i klasifikaciji iz 1979. To je ostavljeno novom Pravilniku, koji treba da se izradi po uzoru na Pan-evropski standard izveštavanja (PERC Code) i potom usvoji. Posledica prethodnog je, da danas postoji evidentan jaz u korišćenju i primeni navedenih pojmova što negativno utiče na načine

izveštavanja o rezultatima geoloških istraživanja (Vukaš R., 2018).



Slika 7. Šema klasifikacije mineralnih resursa i rezervi

#### 4. Studija slučaja - ležište rude gvožđa Buvač

Ležište rude gvožđa Omarska nalazi se u Omarsko-prijedorskom polju, oko 25 km jugoistočno od grada Prijedora, u neposrednoj blizini naselja Omarska. Ležište se sastoji od dva velika odvojena rudna tela: rudnog tela Buvač (aktivan kop) i rudnog tela Jezero (završena eksploatacija).

Rudno telo Buvač zauzima prostor dužine oko 1,600 m i širine oko 1,300 m. Srednja debljina rudnog tela je oko 20 m. Generalni pravac pružanja je jugozapad-severoistok sa tonjenjem prema severoistoku pod uglom od oko 10 stepeni. Na jugozapadnoj strani izbija skoro na površinu, dok na severoistočnoj strani tone do dubine od oko 240 m.

Rudno telo se sastoji od nekoliko velikih nepravilnih asimetričnih sočiva koje prati veći broj manjih nepravilnih sočiva. Sočiva su u pojedinim delovima jako zadebljana, i do 70 m debljine, a u drugim stanjena (pinch-and-swell oblik).

Istraživanje ležišta rude gvožđa Omarska - lokalitet Buvač, izvršeno je prospekcijsko-istražnim procesom sa svim etapama i stadijumima, od prethodne prospekcije do detaljnog istraživanja. Izvođenje istražnih bušotina sa jezgrovanjem je bilo organizovano u tri istražne kampanje, pri čemu je rastojanje između istražnih bušotina iznosilo za:

- regionalna istraživanja (400\*400 m);
- pred detaljna istraživanja (100\*100 m);
- detaljna istraživanja (70.5\*70.5 m i 50\*50 m - na nekim delovima rudnog tela).

Kategorizacija rezervi izvršena je prema *Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima* (Sl. glasnik Republike Srpske, 18/2023). Ovaj pravilnik se umnogome podudara sa Jugoslovenskim pravilnikom iz 1979. godine, odnsono prepoznaje iste kategorije i klase rezervi mineralnih sirovina.

U A kategoriju su svrstani samo delovi rudnog tela sa postojanim prostiranjem, oblikom i debljinom i bez značajne varijacije kvalitativnih svojstava, a koji su okontureni na osnovu istražnih bušotina u

kvadratnoj mreži sa udaljenošću bušotina do 50 m. Ekstrapolacija A kategorije nije dozvoljena.

Najveći deo geoloških rezervi limonitne (62%) i karbonatne rude (48%) je svrstan u B kategoriju. U B kategoriju su uvršteni delovi rudnog tijela koji su okontureni na osnovu istražnih bušotina u kvadratnoj mreži sa udaljenošću bušotina do 75 m (izvedena istražna mreža je ~ 70.5\*70.5 m) i po dijagonali ove mreže.

Na B kategoriju, do isklinjavanja rudnog tijela, nastavlja se C<sub>1</sub> kategorija geoloških rezervi. Ekstrapolacija C<sub>1</sub> kategorije zadovoljava propisane uslove i znatno je manja od dozvoljene (75 m za drugu grupu ležišta). Kao što je već navedeno, u ovu kategoriju su svrstana i manja rudna sočiva (zone) zbog male debljine, jalovinskih proslojaka, nepostojanosti prostiranja i varijacije kvaliteta, iako udaljenost istražnih radova zadovoljava uslove za B kategoriju.

Struktura bilansnih rezervi u konturi kopa po kategorijama je sledeća:

Limonit (Fe ≥ 32%)      Karbonatna ruda gvožđa (Fe ≥ 10%)

A kategorija 43%      A kategorija 22%

B kategorija 46%      B kategorija 54%

C<sub>1</sub> kategorija 11%      C<sub>1</sub> kategorija 24%

Procenjene eksploatacione rezerve ležišta Buvač, na dan 03.10.2022. godine prikazani su u Tabeli 1 (Elaborat, ArcelorMittal, 2023).

**Tabela 1. Eksploatacione rezerve po kategorijama na dan 03.10.2022.**

	<i>Bilansne rezerve (t)</i>	<i>Ekspl. Gubitak (%)</i>	<i>Razblaženje (%)</i>	<i>Eksploatacione rezerve (t)</i>	<i>Fe (&amp;)</i>
<b>Limonit</b>					
<b>Kategorija</b>					
<b>A</b>	4,686,072	1.5	1.0	4,662,642	48.92
<b>B</b>	4,944,732	1.5	1.0	4,920,008	43.95
<b>C<sub>1</sub></b>	1,170,143	1.5	1.0	1,164,292	43.28
<b>Ukupno</b>	10,800,947	1.5	1.0	10,746,942	46.03
<b>Karbonatna ruda</b>					
<b>Kategorija</b>					
<b>A</b>	399,148	1.5	1.0	397,152	38.98
<b>B</b>	970,716	1.5	1.0	965,862	32.07
<b>C<sub>1</sub></b>	417,703	1.5	1.0	415,614	30.94
<b>Ukupno</b>	<b>1,787,567</b>	<b>1.5</b>	<b>1.0</b>	<b>1,778,629</b>	<b>33.35</b>
<b>Ukupno</b>	<b>12,588,514</b>	<b>1.5</b>	<b>1.0</b>	<b>12,525,571</b>	<b>44.23</b>

## 5. Optimizacija kopa na bazi neizvesnosti sadržaja metala

Kao što je prethodno prikazano, ležište Buvač raspolaže sa 12,588,514 t bilansnih rezervi rude gvođa, koje su podeljene u tri kategorije prema stepenu pouzdanosti geoloških istraživanja. Prosečan sadržaj rude limonita u ovim rezervama iznosi 46.03% Fe, dok je prosečni sadržaj karbonatne rude gvožđa 44.23% Fe.

Proračunavanje rezervi čvrstih mineralnih sirovina vrši se primenom optimalnih metoda proračuna rezervi koje obezbeđuju dovoljnu tačnost i racionalnost proračuna, pri čemu se posebno mora voditi računa o obliku i razmerama ležišta, odnosno rudnog tjela, karakteru promjenljivosti kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja, kao i o tome kako je rudno telo obuhvaćeno istražnim radovima (raspored, gustina, vrsta istražnih radova).

Prema članu 24, *Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina* (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), najveća dozvoljena greška pri utvrđivanju rezervi kategorija A, B i C<sub>1</sub> i odgovarajuća verovatnoća utvrđivanja rezervi data je u Tabeli 2 (Pravilnika o klasifikaciji i



kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), 2023).

**Tabela 2. Dozvoljena greška pri utvrđivanju rezervi i verovatnoća utvrđivanja rezervi**

Kategorija	Dozvoljena greška %	Verovatnoća %
A	±15	85
B	±30	70
C <sub>1</sub>	±50	50

Kategorije rezervi su na ovaj način poređane prema pouzdanosti, pri čemu udeo bilansnih rezervi kategorija A i B, mora biti najmanje 60%, a od toga rezerve A kategorije ne mogu biti manje od 10% (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), 2023).

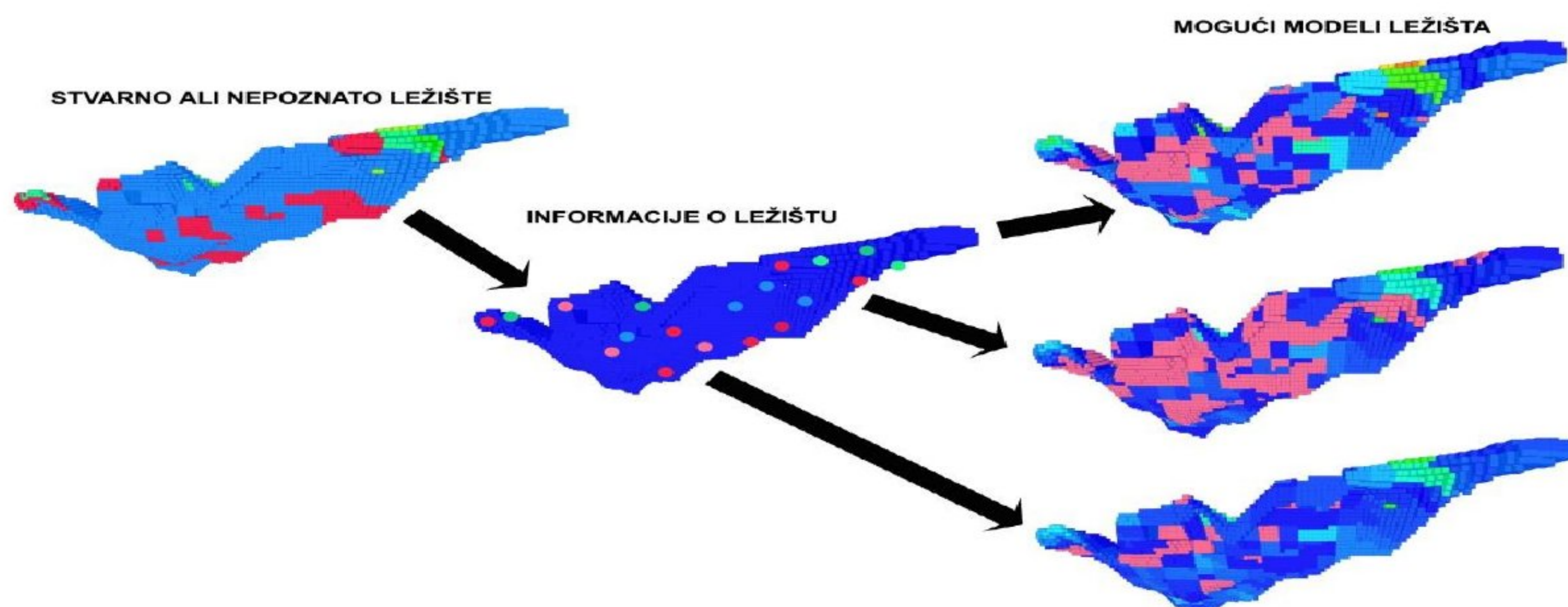
Sagledavanjem Tabele 2, jasno se može zaključiti da za svaku kategoriju rezervi postoji određena neizvesnost koja se odnosi na tačnost procene geoloških karakteristika ležišta, od kojih su najvažnije: prostorna interpretacija ležišta, zapreminska masa i sadržaj korisne komponente u rudi (u ovom slučaju sadržaj gvožđa). Za svaku od ovih karakteristika/parametara postoji mogućnost greške od 15-50%, u zavisnosti od kategorije utvrđenih rezervi.

U cilju plastičnog prikaza sa kojom dozom neizvesnosti se susreću rudarski projekti, u nastavku rada analizirana je potencijalna greška u proceni sadržaja gvožđa. Analiza je sprovedena u granicama dozvoljenih grešaka po kategorijama rezervi (Tabela 2), kroz proces optimizacije granice kopa. Konkretno, kroz proces optimizacije analizirana su tri slučaja:

- Originalna procena sadržaja u rudnim blokovima (procenjeni sadržaji po kategorijama koji su prikazani u Tabeli 1 - referentne vrednosti nakon izrade blok modela ležišta).
- Negativna greška u proceni sadržaja (sadržaj u rudnim blokovima je umanjen za 15%, 30% i 50% u zavisnosti od toga da li se radi o A, B ili C<sub>1</sub> kategoriji rezervi).
- Pozitivna greška u proceni sadržaja (sadržaj u rudnim blokovima je povećan za 15%, 30% i 50% u zavisnosti od toga da li se radi o A, B ili C<sub>1</sub> kategoriji rezervi).

Na ovaj način, analizom neizvesnosti procene sadržaja metala u rudi, moguće je utvrditi u kom opsegu će se kretati NPV rudarskog projekta, pod pretpostavkom da je geološka interperetacija ležišta adekvatna i da je zapreminska masa u blok modelu utvrđena sa velikom tačnošću.

Raspoloživost višestrukih jednako verovatnih modela ležišta, omogućuje rudarskim inženjerima (projektantima) da povežu osetljivost granica kopa i dugoročnog planiranja sa geološkom nesigurnošću (Slika 4). Ovakav pristup su razrađivali mnogi autori u poslednjih 20 godina (Dimitrakopoulos R., 2018) (Armstrong M. et al., 2021) (R. Goodfellow, R. Dimitrakopoulos, 2013) (G. Lagos et al., 2011) (Goodfellow R., Dimitrakopoulos R., 2016) (Benndorf, J., Dimitrakopoulos, R., 2013).



*Slika 8. Neizvesnost u proceni resursa (Stevanović D., 2015)*

Prilikom analize, u sva tri slučaja, zadržani su isti tehno-ekonomski parametri optimizacije granice kopa

(uglovi kosina, troškovi otkopavanja, rablaženje, iskorišćenje, troškovi prerade, prodajna cena koncentrata, godišnji kapacitet, diskontna stopa).

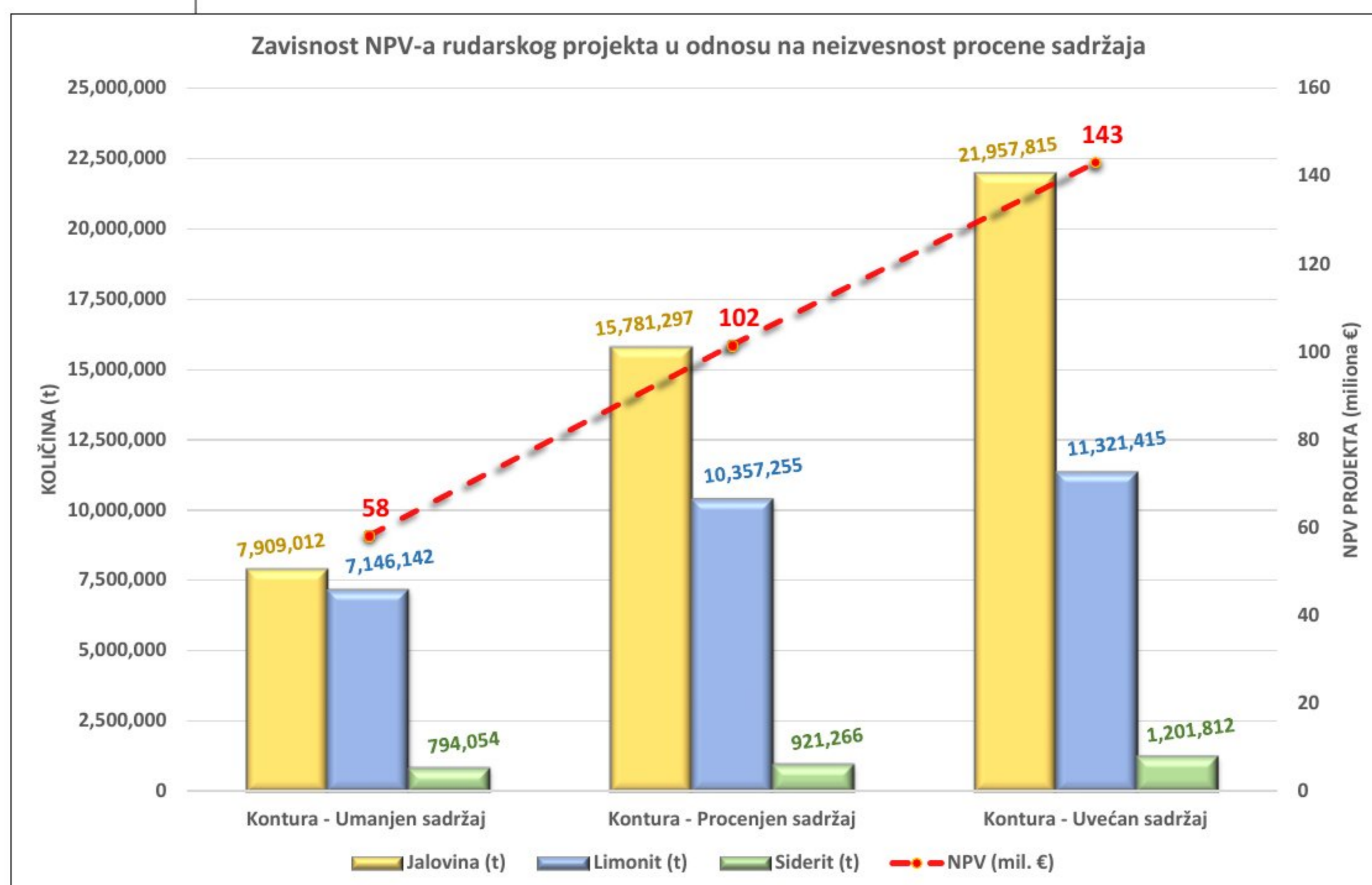
## 6. Rezultati i diskusija

Proces optimizacije granice kopa sproveden je na bazi tehno-ekonomskih parametara za tri karakteristična slučaja, korišćenjem originalno razvijenog modela ležišta i dva modela sa korigovanim sadržajima metala, u granicama dozvoljenih grešaka za svaku od kategorija rezervi.

Rezultati optimizacije prikazani su tabelarno u Tabeli 3 i grafički na Slici 5. Prikazani podaci se odnose na konture kopova sa *Faktorom prihoda=1 (Revenue Factor-RF)*. Ovo su konture koje generišu najveću diskontovanu vrednost NPV.

**Tabela 4. Rezultati optimizacije sa generisanim NPV za analizirane slučajeve**

<i>Analiziran slučaj optimalne konture</i>	<i>Iskopina (t)</i>	<i>Jalovina (t)</i>	<i>Ruda (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>Limonit (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>Siderit (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>NPV (mil. €)</i>
<i>Umanjen sadržaj</i>	15,849,208	7,909,012	7,940,196	39.4	7,146,142	39.3	794,054	34.1	<b>58</b>
<i>Procenjen sadržaj</i>	27,059,818	15,781,297	11,278,521	45.1	10,357,255	46.6	921,266	33.1	<b>102</b>
<i>Uvećan sadržaj</i>	34,481,042	21,957,815	12,523,227	54.1	11,321,415	56.7	1,201,812	34.3	<b>143</b>



*Slika 9. Grafički prikaz rezultata optimizacije za analizirane slučajeve*

Analizom rezultata koji su generisani za tri karakteristična slučaja, može se jasno zaključiti da neizvesnost u pogledu tačnosti procene sadržaja metala u rudi, ima uzuzetno veliki uticaj na ukupno generisani NPV (profit) rudarskog projekta.

U poređenju sa referentnom konturom (kontura dobijena na bazi originalnog modela), kontura sa umanjnim sadržajem metala (u granicama dozvoljene greške prema pravilniku) prikazuje rezultate koji bi bili generisani da se u određenoj meri precenio stvaran sadržaj u ležištu. Ovaka kontura imala bi značajne gubitke u količinama rude u odnosu na referentnu konturu, što je posledica nemogućnosti iskorišćenja određenog dela ležišta na ekonomičan način (deo rezervi je sa sadržajem ispod graničnog

cut off-a). Na ovaj način, NPV rudarskog projekta značajno opada, koji u konkretnom slučaju iznosi -44%.

Sa druge strane, kontura sa uvećanim sadržajem metala (u granicama dozvoljene greške prema pravilniku), prikazuje rezultate koji bi bili generisani da sa u određenoj meri podcenio stvaran sadržaj u ležištu. Kroz ovu konturu obuhvatile bi se nešto veće količine rude, koje nisu značajne u odnosu na referentnu konturu, ali bi sadržaj metala u rudi bio značajno veći. Na ovaj način, kroz proces prerade dobio bi se koncentrat sa znatno višim sadržajem, a kانسije i znatno veće količine čistog metala. S obzirom da je jedan od ulaznih paramtera optimizacije upravo prodajna cena sirovine izražena u €/t koncentrata, tj. €/t metala, ova kontura generisaće NPV koji je veći za +40%.

Rezultati ukazuju da greške u proceni sadržaja, koje su u dozvoljenim granicama, mogu uticati na smanjenje ili povećanje NPV za oko 40-45% u analiziranom slučaju. Ovo praktično znači da će se NPV kretati u rasponu od 58-143 miliona eura, što ukazuje na veliku neizvesnot sa kojom se susreće rudarski projekat.

## 7. Zaključak

Konvencionalni pristup planiranju podrazumeva planiranje na bazi jedne *najbolje* geološke interpretacije rudnog tela. Ta jedina interpretacija se nadalje tretira kao nepromenljiva činjenica. Takav pristup ne ukazuje da je to samo procena (makar ocenjena i kao najbolja), već i da interpretacija može biti pogrešna i da je moguća pojava različitih rezultata. Geolozi znaju da je njihovo poznavanje i tumačenje geoloških procesa u stvaranju ležišta koje leži u osnovi interpretacije, nepotpuno i neprecizno. Oni takođe znaju da su različita tumačenja moguća i validna ako mogu da objasne raspoložive podatke, i da su neka od njih verovatnija od drugih (Dimitrakopoulos R., 2018).

Rudarske odluke su u svakom slučaju bazirane na procenjenim vrednostima, međutim, rezultati otkopavanja su u svakom slučaju određeni stvarnim vrednostima.

Tradicionalno određivanje prostorne distribucije sadržaja u modelu nekog ležišta bazira se na geostatističkoj proceni. Glavni nedostatak tehnika procene, bilo ona geostatistička ili ne, da one ne mogu da reprodukuju lokalnu varijabilnost u prostoru kao izvedenu iz raspoloživih podataka. Ignorisanje tako značajnog izvora nesigurnosti ili rizika, može dovesti do nerealnog proizvodnog plana (Dimitrakopoulos, R., Farrelly, C. T., and Cheuiche Godoy, M., 2002).

Kao što je u radu i prikazano, optimizacija granice kopa i plan otkopavanja razvijeni na bazi jednostruke procene sadržaja u ležišta, su u značajnoj meri neizvesni. Ovo je dokazano kroz proces optimizacije nad geološkim modelima koji su produkt verovatne greške u proceni sadržaja matela (pozitivne i negativne).

Cilj ovog rada je ukaže na nedostatke tekuće procedure planiranja, i da pokaže da plan optimiziran za jedan zadati set polaznih podataka neizbežno postaje neizvestan sa promenom neke od usvojenih pretpostavki. Takav način planiranja vodi ka suboptimalnim rezultatima kako za vlasnike kapitala tako i za državu vlasnika ležišta.

Takođe, trebalo bi da ukaže potencijalnim investitorima, na značaj geoloških istraživanja kojima se povećava pouzdanost. Često vođene logikom smanjenja troškova, rudarske kompanije se trude da minimiziraju troškove geoloških istraživanja i svedu ih na minimalnu zakonski propisanu meru (npr. slučaj kada u ukupnim bilansnim rezervama A kategorija rezervi je minimalna ili ne postoji, a B i pogotovo C<sub>1</sub> kategorije su dominante). U ovakvim slučajevima kompanije treba da su svesne da prihvataju visok stepen geološke neizvesnosti i celokupan projekat izlažu značajnom riziku. Imajući u vidu opadajući kvalitet ležišta i sve složenije uslove eksploatacije (o čemu je na početku bilo reči) ovakva strategija je sve manje isplativa.

Na kraju, treba i napomenuti da je sa pravne strane, a posledično i za rudarsku praksu, posebno bitno, uskladiti važeće zakone sa pravilnicima.

## Literatura

- [1] Armstrong M. et al. (2021). Adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty. *Resources Policy* , 72.
- [2] (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code).
- [3] Benndorf, J., Dimitrakopoulos, R. (2013). Stochastic long-term production scheduling of iron ore deposits: Integrating joint multi-element geological uncertainty. *Journal of Mining Science* , 49, 68-81.
- [4] (2014). CIM Definition Standards For Mineral Resources and Mineral Reserves. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.
- [5] Dimitrakopoulos R. (2018). *Advances in Applied Strategic Mine Planning*. Springer International Publishing.
- [6] Dimitrakopoulos, R., Farrelly, C. T., and Cheuiche Godoy, M. (2002). Moving forward from traditional optimization: Grade uncertainty and risk effects in open-pit design. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy* , 3, 82-88.
- [7] Edwards A.C. (2001). *Mineral resource and ore reserve estimation : the AusIMM guide to good practice*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- [8] Emery X., Ortiz J., Rodriguez J. (2006). Quantifying Uncertainty in Mineral Resources by Use of Classification Schemes and Conditional Simulations. *Mathematical Geology* , 38 (4), 445-464.
- [9] G. Lagos et al. (2011). Robust planning for an open-pit mining problem under ore-grade uncertainty. *Electronic Notes in Discrete Mathematics* , 31, 15-20.
- [10] Goodfellow R., Dimitrakopoulos R. (2016). Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. *Applied Soft Computing* , 40, 292-304.
- [11] Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj. (2015). Uncertainty in pit optimization. *Mining and Environmental protection*. Vrdnik, Serbia.
- [12] Milensko Savić, Mile Bugarin. (2019). *Modeliranje ležišta sa procenom resursa i planiranjem otkopavanja na površinskim kopovima*. Bor, Srbija: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
- [13] Morley C., Snowden V., and Day D. (1999). Financial impact of resource/reserve uncertainty. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* , 293-302.
- [14] (2021). PERC Reporting Standard. (PERC), The Pan European Reserves and Resources Reporting Committee.
- [15] (2023). *Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina)*.
- [16] *Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima. Službeni list SFRJ*”, broj 53 od 19. oktobra 1979.
- [17] R. Goodfellow, R. Dimitrakopoulos. (2013). Algorithmic integration of geological uncertainty in pushback designs for complex multi-process open pit mines. *Mining Technology* , 122 (2), 67-77.
- [18] Royer PS. (2000). Risk Management: The Undiscovered Dimension of Project Management. *PM Network* , 14, 31-40.
- [19] Rozman, L.I. (1998). Measuring and managing the risk in resource and reserves. *Ore Reserves and Finance Seminar*. AusIMM. Sydney.
- [20] Snowden D. V., Glacken I. and Noppe M. (2002). Dealing With Demands of Technical Variability and Uncertainty along the Mine Value Chain. Paper presented at Value Tracking Symposium. Brisbane, Qld.

- [21] Stevanović D. (2015). Optimizacija i planiranje površinskih kopova stohastičkim modelima. Belgrade: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- [22] Vukaš R. (2018). Prikaz podataka o kategorijama ukupnih (geoloških) rezervi urana u Srbiji u klasama mineralnih resursa iz aktuelne zakonske regulative. Tehnika - Rudarstvo, geologija i metalurgija, 69 (3), 356-363.
- [23] (2021). Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima. Sl. glasnik RS br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021.