



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

|||||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009534>

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

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



PRIMENA HEURISTIKE PRILIKOM DONOŠENJA ODLUKE U IZBORU METODE OTKOPAVANJA PODZEMNIH RUDNIKA

APPLICATION OF HEURISTICS IN DECISION MAKING OF UNDERGROUND MINE EXCAVATING METHOD

Bajić S.¹, Bajić D.², Gluščević B.³, Gaćina R.⁴, Išek J.⁵

Apstrakt

Izbor najpogodnije metode otkopavanja u podzemnoj eksploataciji je veoma složen proces, jer zahteva rad sa velikom količinom informacija o karakteristikama pojedinih metoda otkopavanja, a vrlo često postoji nekoliko mogućih rešenja za konkretnu primenu. Metode VKO su se pokazale kao veoma korisne za rangiranje alternativa, naročito u slučajevima, kada treba istovremeno razmotriti više kompleksnih kriterijuma. Zbog svoje složenosti ležište predstavlja kompleksan rudarski sistem, pa se samim tim rešavanje problema ogleda u primeni heurističkog pristupa i postavljenih zadataka prema znanju eksperata, intuiciji, procenama i iskustvu.

Ključne reči: metode podzemne eksploatacije, heuristički pristup, znanje eksperta.

Abstract

Choosing the most suitable excavation method in underground mining is a very complex process, because it requires working with a large amount of information about the characteristics of individual excavation methods, and very often there are several possible solutions for a specific application. Multi-criteria decision-making methods have proven to be very useful for ranking alternatives, especially in cases where multiple complex criteria need to be considered at the same time. Due to its complexity, the deposit represents a complex mining system, so solving the problem is reflected in the application of a heuristic approach and set tasks based on expert knowledge, intuition, assessments and experience.

Keywords: methods of underground exploitation, heuristic approach, expert knowledge.

1. Uvod

Metode podzemne eksploatacije obuhvataju tehnološke faze kako na pripremi tako i na otkopavanju dela bloka ili celog ležišta. Otkopavanje se odvija prema tehnološkom procesu koji najčešće obuhvata: bušenje, miniranje, usitnjavanje rude, provetravanje, utovar i izvoz rude. Pored navedenih mogu biti potrebne i operacije zasipavanja ili zarušavanja otkopa (u zavisnosti od metode otkopavanja) [1].

Polazeći od činjenice da je geološka građa ležišta složena, prilikom izbora metode otkopavanja nekog ležišta mineralnih sirovina najvažnije je poznavanje i uzimanje u obzir sledećih činilaca: oblik, dimenzije, tektonsku strukturu, hidrogeološke karakteristike, zaleganje i prostorni položaj ležišta, fizičko-mehaničke osobine, količina rezervi mineralne sirovine, sadržaj korisne komponente u rudi, mineraloški sastav, stanje površine terena, postojanje objekata infrastrukture, stambenih, industrijskih i drugih objekata kao i uticaj odabrane metode otkopavanja na životnu sredinu [2].

Otkopavanje je osnovna faza procesa eksploatacije ležišta koja najvećim delom utiče i na ostale faze procesa. Uspešno odabran skup tehnoloških operacija u procesu otkopavanja za određeno rudno ležište i određene prirodno-geološke uslove, koja se definiše kao metoda otkopavanja, obezbeđivanjem visokog stepena koncentracije tehnike i tehnoloških rešenja treba da postigne:

- što veći kapacitet otkopa,

¹ Bajić Sanja, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, E-mail: sanja.bajic@rgf.bg.ac.rs;

² Prof. dr Bajić Dragoljub, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, E-mail: dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs;

³ Prof. dr Gluščević Branko, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, E-mail: branko.gluscevic@rgf.bg.ac.rs;

⁴ Gaćina Radmila, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, E-mail: radmila.gacina@rgf.bg.ac.rs;

⁵ Išek Josip, e-mail: josip.isek@yahoo.com

- što veću produktivnost po zaposlenom u otkopu,
- što manje gubitke mineralne sirovine,
- što veću sigurnost rada u svim tehnološkim operacijama na dobijanju rude,
- zadovoljavajuću ekonomičnost (dobit rudnika).

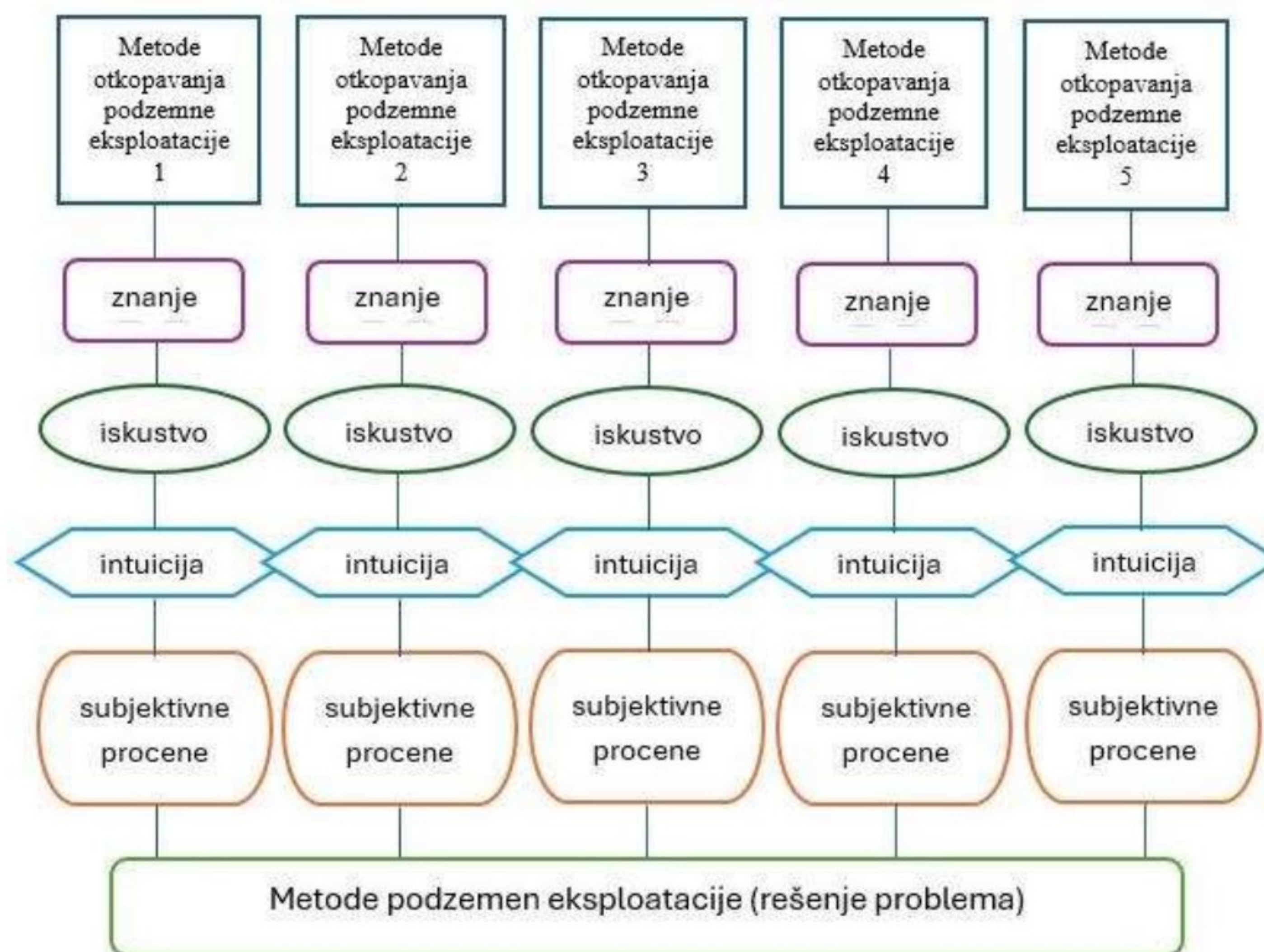
Budući da se kod rudnih ležišta proces otkopavanja može odvijati na razne načine, postoji veliki broj metoda: metode otvorenih otkopa, magazinske metode otkopavanja, metode sa zasipavanjem otkopanih prostora, metode otkopavanja sa podgrađivanjem i zasipavanjem otkopanih prostora, metode otkopavanja podgrađivanjem otvorenih otkopa, metode otkopavanja sa obrušavanjem krovinskih stena, metode otkopavanja sa zarušavanjem rude i jalovih stena i kombinovane metode. U zavisnosti od već navedenih mogućih osobina rudnog ležišta primenom neke od metode višekriterijumske optimizacije dobija se optimalna odnosno najuspešnija metoda, koja daje najveću proizvodnju uz najviše korisne komponente, a pri tom uz najmanji utrošak energije i materijala gde je sigurnost za zaposlene potpuna. Takođe, obezbeđuje nepovoljne posledice za dalji razvoj rudnika [3, 4].

2. Primena heuristike prilikom rešavanja kompleksnih problema

Pojam heuristika potiče od starogrčke reči heuriskein, što znači umetnost pronalaženja novog načina (pravila) u rešavanju problema. U poslednjim decenijama došlo je do naglog razvoja heurističkih metoda za rešavanje raznih optimizacionih problema.

Pod heurističkim modelovanjem podrazumeva se stvaranje takvog modela koji ima heurističko značenje i reprezentuje više originala u jednom te istom modelu, odnosno, taj model omogućuje pronalaženje novih znanja i razvija stvaralaštvo zahtevajući od subjekata izvesnu samostalnost, uz uvažavanje nivoa predznanja svakog subjekta u svom domenu ponaosob (u ovom slučaju izbor metode podzemnog otkopavanja ležišta), korišćenjem kvalitativnih ocena-odnosno lingvističkih varijabli za opis poređenja parova elemenata kriterijuma, podkriterijuma i alternativa.

Heuristički model ostavlja subjektu mogućnost pronalaženja jednog ili svih mogućih rešenja zavisno od predznanja, stepena samostalnosti i njegovih stvaralačkih sposobnosti. Ovakav pristup rešavanju problema omogućuje svakom subjektu da postigne svoj maksimum. Postavljanje problema heurističkom strategijom znači da je subjekat stavljen u položaj da primenom starog iskustva u novim situacijama, poznata znanja dovodi u novu situaciju (funkciju) i da otkriva nove puteve kreativnog rešavanja problema [5].



Slika 1. Problemska situacija – heuristički algoritam

Donošenje odluke je problem koji se pojavljuje u svakoj delatnosti. U kontekstu višekriterijumske optimizacije problem odlučivanja najčešće se posmatra kao problem u kojem se donosilac odluke mora opredeliti za jednu iz skupa mogućih alternativa, uzimajući u obzir sve relevantne faktore, odnosno kriterijume. Kako su kriterijumi po pravilu konfliktni, izbor donosioca odluke neće biti optimalno rešenje u tradicionalnom smislu, već će biti reč o zadovoljavajućem rešenju od kojeg u datoj situaciji ne postoji bolje, a to su heurističke metode, u ovom slučaju primenjene u izboru metoda otkopavanja u podzemnoj eksploataciji kroz rešavanje problema i donošenje odluka [6]. Na Slici 1 je dat prikaz problemske situacije - heuristički algoritam, a na Slici 2 je dat prikaz odnosa između rešavanja problema i odlučivanja.

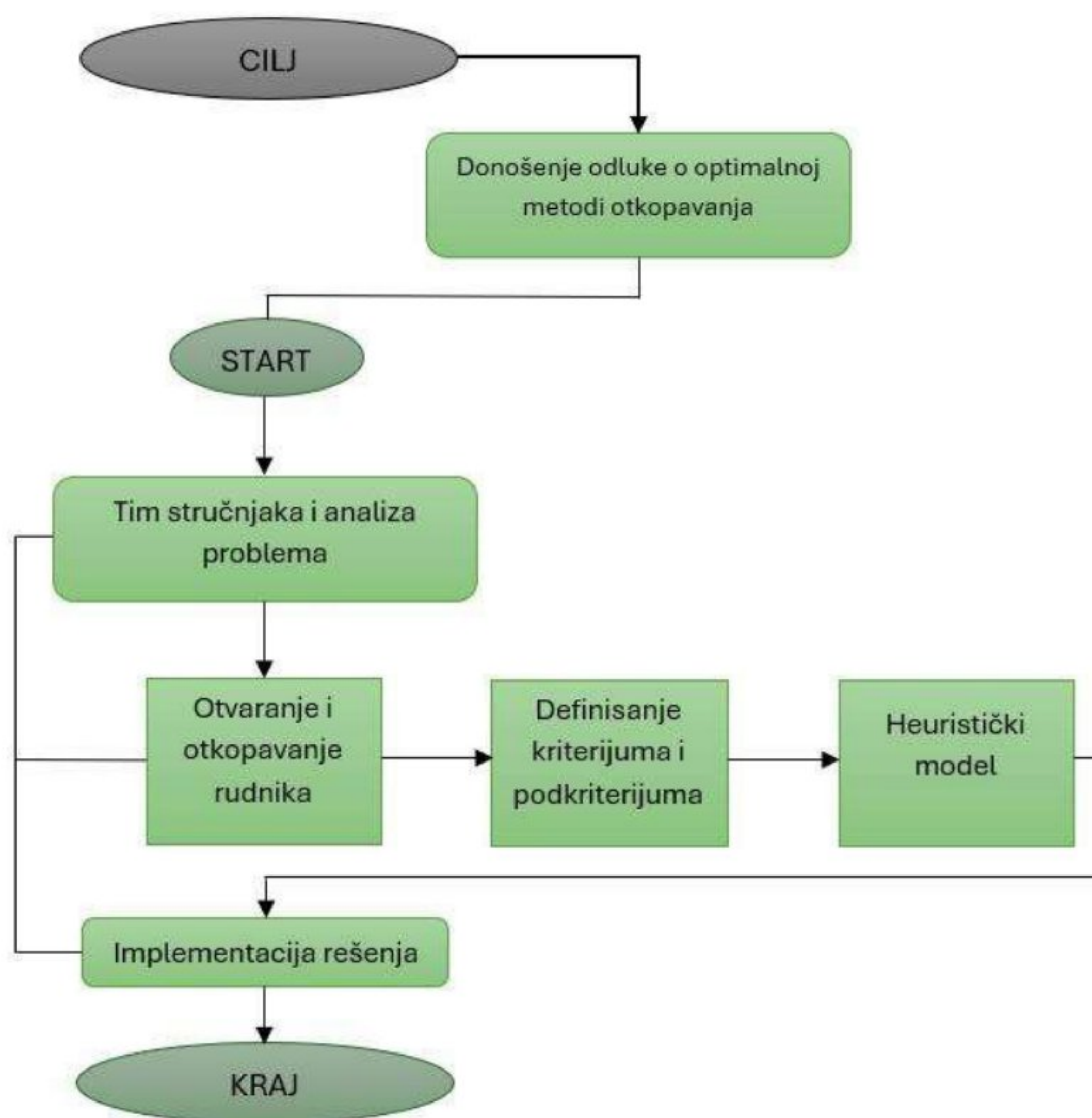


Slika 2. Odnos između rešavanja problema i odlučivanja

Proces donošenja odluke obuhvata sledeće aktivnosti: analizu problema i definiciju ciljeva, razradu modela i simulaciju ponašanja i donošenje odluke i njeno prenošenje na subjekte; primenu heurističkih tehnika na rešavanju kombinatornih problema u izboru metode otkopavanja u podzemnoj eksploataciji; primenu heurističkih metoda usmerenu na dva pravca: 1. Na rešavanje složenih problema koji se mogu predstaviti u kvantitativnom obliku, ali su toliko složeni da njihovo rešenje nije moguće naći pomoću strogih analitičkih tehnika i 2. Na probleme koji se ne mogu predstaviti matematičkim modelom, jer su promenljive u modelu kvantitativne prirode.

Proces rešavanja problema je širi pojam od procesa odlučivanja. Pored procesa donošenja odluka (kao centralnog dela), on sadrži i dodatne faze, od kojih neke prethode, a neke slede proces odlučivanja. Proces rešavanja problema obuhvata: 1. Posmatranje trenutne situacije (početnog stanja), uočavanje i definisanje problema; 2. Definisanje ciljeva (kriterijuma izbora); 3. Identifikacija alternativnih rešenja (opcija); 4. Prikupljanje informacija; 5. Ocenjivanje (evaluacija) alternativa; 6. Izbor (odluka); 7. Sprovođenje akcije odnosno primena alternativa; 9. Analiza rezultata [7].

Cilj heurističke metode jeste da omogući nalaženje prihvatljivih rešenja složenih problema koji ne mogu da se reše pomoću klasičnih metoda. Rešavanje problema može da se ostvari primenom *heurističkih metoda* (rešavanje problema sa aspekta upravljanja podacima). Na Slici 3 je dat šematski prikaz rešavanja problema heurističkom strategijom.



Slika 3. Algoritam za višekriterijumsko odlučivanje pri izboru optimalne metode otkopavanja

Ključnu ulogu kod donošenja odluke o izboru metoda podzemne eksploatacije i kako bi se vršila održiva eksploatacija rude, igra definisanje tima stručnjaka i korišćenje njihovog znanja i iskustva. Ovakav timski rad dovodi rudnik u stanje da je moguće tehnički, ekonomski isplativo i pre svega bezbedno vršiti otkopavanje i eksploataciju rude.

Uspešan izbor metode podzemne eksploatacije zahteva veliku količinu znanja koje se odnosi na geologiju ležišta mineralnih sirovina. Zbog velikog zaleganja rudnika, bitnu ulogu ima i znanje, a pre svega iskustvo prilikom istražnog bušenja. Za specifičnosti bakarnih ležišta i analizu minerala i njihovih fizičkih parametara, ključno znanje prenose petrolozi, mineraolozi i geohemičari. Analizu priliva voda u rudnik, odnosno zaštitom rudnika od podzemnih voda bave se hidrogeolozi. Tehničku i ekonomsku analizu opravdanosti eksploatacije rude vrše eksperti iz oblasti rudarstva, ekonomske geologije i menadžmenta rudnih ležišta. Kada se na taj način primeni znanje geologa, definišu se pomenute karakteristike rudnog ležišta. S druge strane, eksperti iz oblasti rudarstva na osnovu tih činjenica stiču sliku o potencijalnim metodama otkopavanja u podzemnoj eksploataciji, odnosno vrši se definisanje alternativnih rešenja. Dalje, inženjeri i eksperti sintetišu prikupljeni obim podataka i informacija o rudniku i vrše definisanje i ocenjivanje kriterijuma koji utiču na izbor metode podzemne eksploatacije. Kvalitet identifikacije uslova koji vladaju u rudniku, kao i znanje i iskustvo eksperata direktno utiču na izbor optimalne metode.

Prilikom ocenjivanja težina kriterijuma i donošenja odluke o optimalnom rešenju vrednosti težinskih faktora se određuju na osnovu subjektivnog mišljenja, rangiranjem informacija po prioritetu i značaju. Kod ovakvog pristupa donosilac odluke daje svoje mišljenje o značaju kriterijuma za dati proces odlučivanja u skladu sa svojim sistemom preferentnosti [8, 9].

Heuristički algoritmi pokušavaju da pronađu što bolje rešenje. Koriste se za rešavanje konkretnih i specifičnih problema tako što koriste individualna svojstva samih problema pri njihovom rešavanju. Dobar heuristički algoritam treba da proizvede rešenje koje je blisko optimalnom sa velikom verovatnoćom i verovatnoća dobijanja lošeg rešenja bi trebala da bude minimalna.

3. Zaključak

Ekonomski razvoj i ukupni napredak društva zahteva stalno povećanje proizvodnje pri čemu je rudarstvo uvek bilo među prioritetnim granama. Stalno se postavljaju sve složeniji zadaci, koji se karakterišu potrebom ostvarivanja povećane proizvodnje u sve nepovoljnijim uslovima eksploatacije. Istovremeno uvek je

naglašeno da treba ostvarivati optimalnu proizvodnju. Unapređenje i optimizacija tehnološkog procesa podzemne eksploatacije mineralnih sirovina zahteva geološka i rudarska istraživanja. Pri izučavanju i rešavanju ovog zadatka koristi se skup matematičkih metoda koja su zastupljena kod rešavanja tehničko-ekonomskih, često veoma složenih zadataka.

Glavni i osnovni uslovi prilikom otkopavanja kod svake metode, koji moraju da budu ispunjeni su bezbednost i sigurnost. Zbog ekonomičnosti rada metoda ne sme se dozvoliti da postane opasna po život i rad ljudi i sigurnost rudničkih objekata. Kod izbora metode otkopavanja mora da se obezbedi sigurnost od požara u jami, provale podzemnih i površinskih voda, zarušavanja nadzemnih i podzemnih objekata. Za obezbeđenje zdravih uslova pri radu potrebno je da se obezbedi dobro provetranje odnosno dovođenje svežeg vazduha i odvođenje štetnih gasova i prašine, dobro osvetljenje pri radu, dobri i sigurni prilazi do radnih mesta, zatim da se radne operacije izvode primenom mehanizacije radi oslobađanja radnika od teškog fizičkog rada, kao i da se preduzimaju ostale mere higijensko-tehničke zaštitne.

S obzirom da se kod rudnih ležišta proces otkopavanja može odvijati na razne načine, postoji veliki broj metoda. O mogućnostima eksploatacije rude iz rudnih ležišta često se razmatraju visoko kapacitativne i visoko produktivne metode otkopavanja [10].

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije za pružanje podrške naučno-istraživačkoj delatnosti, neophodnoj za napredak društva zasnovanog na znanju. (451-03-66/2024-03/200126).

Literatura:

- [1] Genčić B. (1973). Tehnološki procesi podzemne eksploatacije slojevitih ležišta. Knjige I, II i III, Otvaranje, priprema i metode otkopavanja, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- [2] Gluščević B. (1974). Otvaranje i metode podzemnog otkopavanja rudnih ležišta. Univerzitet u Beogradu.
- [3] Majstorović S. Miljanović J. & Tošić D. (2019). Metode podzemne eksploatacije. Univerzitet u Banjoj Luci, Rudarski fakultet Prijedor.
- [4] Bajić S., Bajić D., Gluščević B., Ristić Vakanjac V. (2023). Applying the VIKOR Method to Select the Optimal Underground Mining Technology. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 76(1):96-104 DOI: 10.7546/CRABS.2023.01.10
- [5] Bereš J. P., Bereš K. P. (2014). Heuristika i operaciona istraživanja u funkciji edukacije subjekata sistema civilne odbrane za vanredne situacije. *Vojnotehnički glasnik/Military technical courier*, LXII (3), pp. 152 -164.
- [6] Bajić D., Polomčić D., Ratković J. (2017). Multi-criteria decision analysis for the purposes of groundwater control system design. *Water Resources Management*, 31(15): 4759-4784. DOI: 10.1007/s11269-017-1777-4
- [7] Gaćina R., Bajić S., Šubaranović T., Dimitrijević B., Beljić Č. & Bajić D. (2024). Application of the VIKOR method for selecting the purpose of recultivated terrain after the end of coal mining. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 77 (7): 1031-1041 DOI: 10.7546/CRABS.2024.07.10
- [8] Bajić S., Bajić D., Gluščević B., Ristić Vakanjac V. (2020). Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Underground Mining Method Selection. *Symmetry*, 12(2): 192. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12020192> ISSN: 2073-8994
- [9] Čelebić M., Bajić S., Bajić D., Stevanović D., Torbica D., Malbašić V. (2023). Development of integrated fuzzy model for mine management optimization. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 76 (9): 1413-1420 DOI: 10.7546/CRABS.2023.09.12
- [10] Okubo S., Yamatomi J. (2013). Underground mining methods and equipment, *CIVIL ENGINEERING*, 2.