

Ograničenja primene optimizacionih algoritama u slučaju kopova ;Application constraines of optimization algorithms in the case of open pit coal mines

Dejan Stevanović, Mirjana Banković, Milica Pešić Georgiadis, Petar Marković, Dejan Ranković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Ograničenja primene optimizacionih algoritama u slučaju kopova ;Application constraines of optimization algorithms in the case of open pit coal mines | Dejan Stevanović, Mirjana Banković, Milica Pešić Georgiadis, Petar Marković, Dejan Ranković | XIV Međunarodna konferencija OMC 2020, Zlatibor, Srbija, 14-17. oktobar 2020. | 2020 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008199>

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



OGRANIČENJA PRIMENE OPTIMIZACIONIH ALGORITAMA U SLUČAJU POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA

APPLICATION CONSTRAINTS OF OPTIMIZATION ALGORITHMS IN THE CASE OF OPEN PIT COAL MINES

Stevanović D.¹, Banković M.², Pešić Georgiadis M.³, Marković P.⁴, Ranković D.⁵

Apstrakt

Proces optimizacije površinskih kopova, kao sastavni deo strateškog planiranja, veoma je važan sa stanovišta ostvarivanja maksimalnih efekata proizvodnje. To je složen zadatak koji vrlo često podleže vrlo strogim geometrijskim i drugim praktičnim rudarskim ograničenjima. Ova ograničenja u posebno su izražena na površinskim kopovima uglja, te u značajnoj meri mogu povećati stepen neizvesnosti rudarskog projekta, odnosno izazvati neželjena dejstva u pogledu profitabilnosti poslovanja. Iz tog razloga, veoma je važna primena savremenih optimizacionih alata, koji u značajnoj meri mogu olakšati celokupan proces optimizacije, a takođe uticati i na smanjenje neizvesnosti poslovanja.

Kroz ovaj rad predstavljena je problematika vezana za proces optimizacije površinskih kopova uglja primenom savremenih optimizacionih algoritama, kao i mogućnosti pronalaženja optimalnih rešenja u okviru određenog skupa ograničenja.

Ključne reči: *Optimizacija, površinski kop uglja, ograničenja, profitabilnost*

Abstract

The process of open pit mine optimization, as an integral part of strategic planning, is very important from the point of view of achieving maximum economic efficiency of production. It is a complex task that is very often subject to very strict geometric and other practical mining restrictions. These limitations are particularly pronounced in open pit coal mines, and can significantly increase the degree of uncertainty of the mining project, or cause side effects in terms of business profitability. For this reason, it is very important to apply modern optimization tools, which can significantly facilitate the entire optimization process, and also reduce business uncertainty.

¹ Stevanović Dejan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

² Banković Mirjana, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

³ Pešić Georgiadis Milica, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

⁴ Marković Petar, Beograd

⁵ Ranković Dejan, Beograd

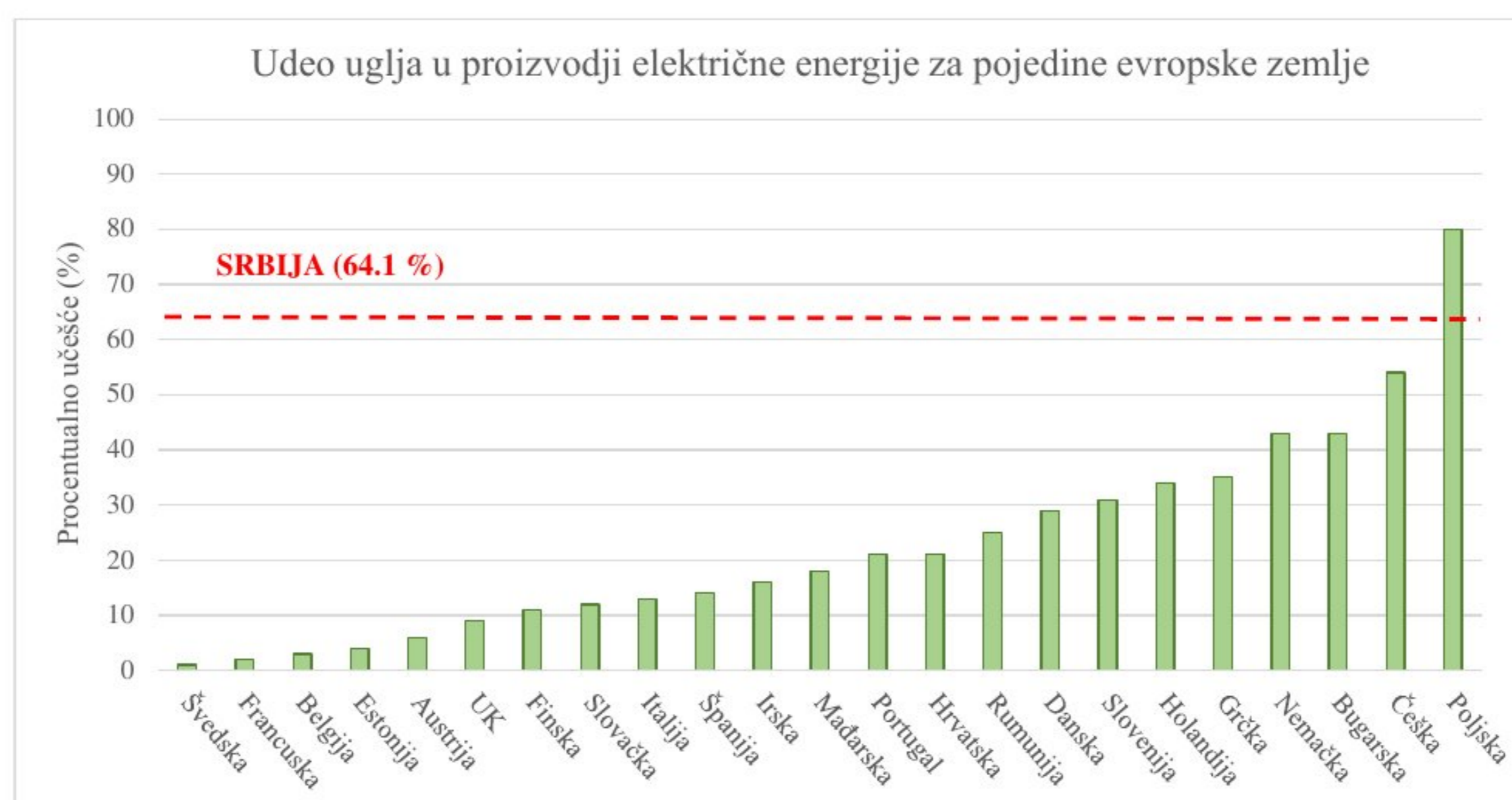
This paper presents issues related to the process of optimization of open pit coal mines using modern optimization algorithms, as well as the possibility of finding optimal solutions within a set of constraints.

Ključne reči: Optimization, open pit coal mine, constraints, profitability

1. Uvod

Nesumnjivo je da su uslovi pod kojima se vrši površinska eksploatacija sve složeniji, naročito sa aspekta eksploatacije na površinskim kopovima uglja. Složenost uslova je u najvećoj meri generisana opadajućim kvalitetom ležišta što posebno dolazi do izražaja kada se uzme u obzir činjenica da su ležišta na kojima se vrši eksploatacija, sve češće: velike dubine, složene strukture, niskog kvaliteta i neodgovarajućeg sastava, a često i na lokacijama koje su sa infrastrukturnog stanovišta veoma nepovoljne. Takođe, duga tradicija otkopavanja uglja u svetu i kod nas, rezultirala je sticanjem značajnog rudarskog iskustva a ujedno i inicirala afirmisanje činjenice da su najbolja ležišta već otkopana (D. Stevanović, M. Dobrosavljević, M. Stojanović, M. Pešić, Georgiadis, 2019).

Međutim, potrebno je istaći da kompleksnost eksploatacije uglja ne umanjuje njegov značaj i primenu, o čemu svedoči podatak da je ugalj i dalje vodeći predstavnik globalnih zaliha fosilnih goriva sa učešćem od 27% u proizvodnji ukupne svetske energije i sa 38% učešća u proizvodnji električne energije (IEA, 2018). Trenutno u strukturi učešća energenata u proizvodnji električne energije u Republici Srbiji, ugalj učestvuje sa značajnih 64,1% (Strategija razvoja energetike, 2015. godina) čime u ovom pogledu zauzima drugo mesto u Evropi (Slika 1), odmah nakon Poljske (IEA, 2018. god).



Slika 1. Procentualno učešće uglja u proizvodnji električne energije

S obzirom na značaj površinskih kopova uglja, proces njihove optimizacije kao deo strateškog planiranja, predstavlja jedan od najznačajnijih aspekata u donošenju investicionih odluka. Površinski kop po pravilu je najvredniji objekat površinske eksploatacije. Optimalna i završna kontura površinskog kopa moraju biti srž finalne analize koja odražava profitabilnost rudarskog projekta, a proces njihovog definisanja je po prirodi složen zadatak koji vrlo često podleže strogim geometrijskim i drugim praktičnim rudarskim ograničenjima. Kada je ugalj u pitanju najveću stručnu i naučnu pažnju, pobuđuju pitanja vezana za procese optimizacije postojeće proizvodnje, pre svega u domenu upravljanja kvalitetom uglja (Naworyta et al., 2015, Benndorf, 2011, 2013, Stevanović et al., 2014, 2015, Banković et al., 2017).

Savremeni postupci optimizacije i planiranja površinskih kopova primenom softverskih rešenja zahtevaju „modeliranje ležišta”, odnosno razvoj tzv. geološkog blok modela, kao i

njegovu konverziju u ekonomski blok model. Ekonomski blok model nastaje tako što se svakom bloku u geološkom blok modelu ležišta, dodeli novi atribut (karakteristika) koji definiše ekonomsku vrednost konkretnog bloka u slučaju njegove eksploatacije (D. Stevanović, 2015). Na ovaj način se zapravo izračunava očekivana NV (Neto Vrednost bloka) koja bi se ostvarila u slučaju njegovog otkopavanja, a ona se može izračunati kao razlika između prihoda od prodaje uglja i ukupnih operativnih troškova, kao što sledi:

- Prihod od prodaje = Iskorišćenje mase (%) × kvalitet uglja (GJ) × prodajna cena (€/GJ)
- Operativni troškovi = Otkopavanje + Prerada + Transport

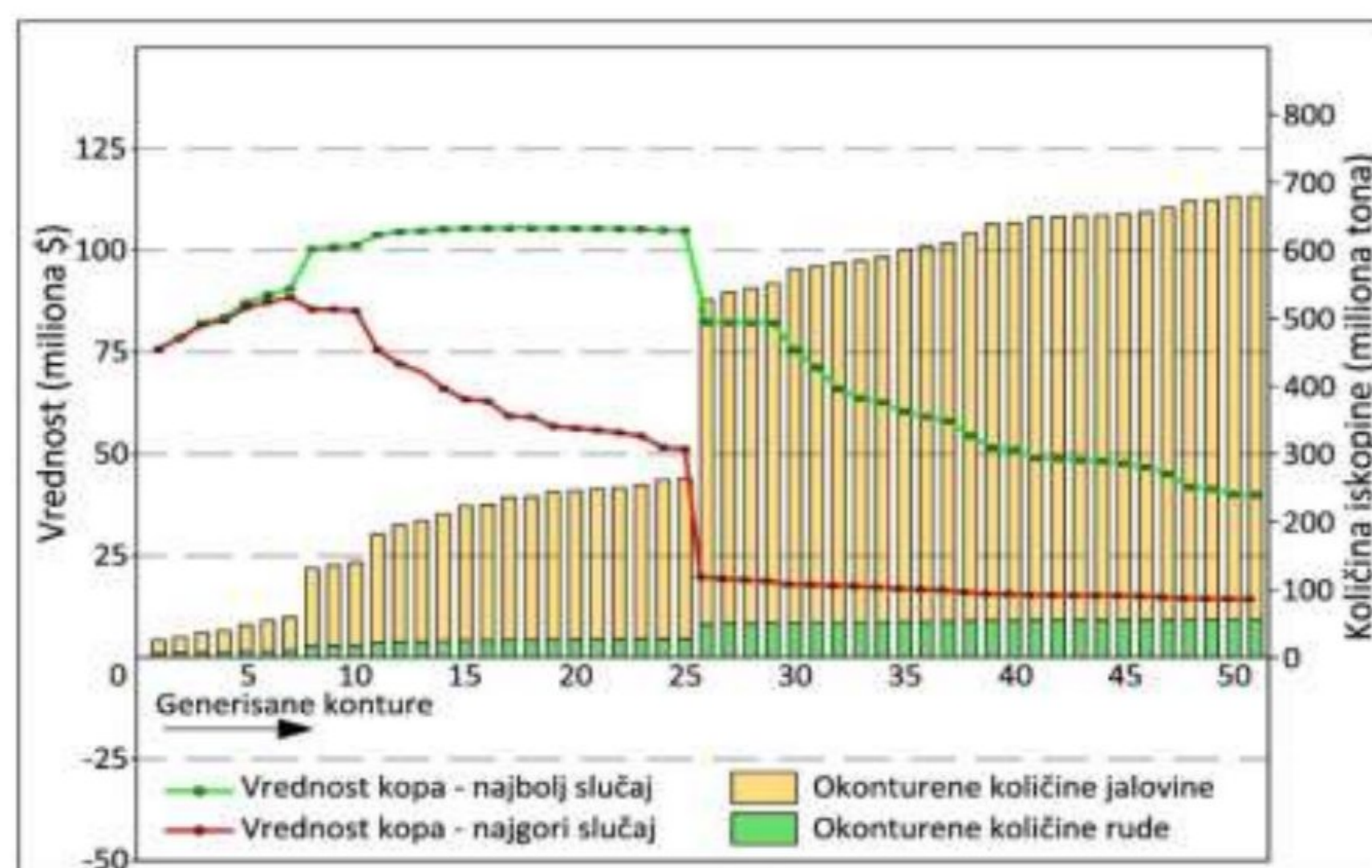
Formiranje ekonomskog blok modela se obično vrši u samom programskom paketu specijalizovanog za analizu na bazi ekonomskih parametara (u ovom slučaju programski paket Whittle). Osnovni parametri za njegovo formiranje su (D. Stevanović, 2015):

- sadržaj korisne komponente u bloku,
- prodajna cena korisne komponente,
- troškovi eksploatacije i prerade,
- granični sadržaj u eksploataciji i preradi,
- iskorišćenja u eksploataciji i preradi.

Formiranjem ekonomskog blok modela, stvaraju se uslovi za optimizaciju površinskog kopa na bazi ekonomskih parametara, pri čemu se sam proces može podeliti u tri koraka (D. Stevanović, 2015):

- Generisanje školjki kopova,
- Najbolji i najgori scenario otkopavanja,
- Izbor krajnje granice kopa na grafiku promene optimalne konture u zavisnosti od faktora prihoda.

Slika 2 prikazuje tipičan dijagram promene optimalnih kontura u zavisnosti od faktora prihoda neto vrednosti. On predstavlja neto sadašnju vrednost za svaku optimalnu konturu. Najbolja i najgora kriva neto vrednosti daju gornju i donju granicu vrednosti koja može biti postignuta u praksi (C. Wharton, 2000).



Slika 2. Dijagram promene optimalnih kontura u zavisnosti od faktora prihoda (D. Stevanović, 2015)

Na dijagramu se mogu uočiti dve bitne komponente:

- promena količine jalovine i rude u generisanim konturama,
- promena ekonomske vrednosti generisanih kontura.

Može se doći do zaključka da se sa povećanjem faktora prihoda povećavaju i zapremine optimalnih kontura, odnosno rastu količine jalovine i rude. Crvena i zelena linija na dijagramu predstavljaju ekonomske vrednosti generisanih kontura. Za razliku od količine rude i jalovine, sa povećanjem faktora prihoda, vrednost kopa opada. Razlog trenda pada je taj što su ekonomske vrednosti generisanih kontura preračunate za nominalnu vrednost cene korisne mineralne sirovine ($F_p = 1$). Na taj način moguće je međusobno upoređivanje ekonomskih potencijala generisanih kontura, a faktički najveću ekonomsku vrednost će uvek imati kontura generisana za $F_p = 1$, odnosno u ovom slučaju kontura br.17 na dijagramu sa Slike 2 (D. Stevanović, 2015).

2. Opis problema

U svetskoj rudarskoj praksi, i pored postojećih kritika, savremene metode optimizacije granica kopa, su široko su prihvaćene. U naučnoj rudarskoj javnosti, ove metode su standard. Ovakav situacija generisana je u najvećoj meri relativno dobrim poslovnim rezultatima optimizacionih algoritama, generalnom prihvatanju osnovnih strateških ciljeva od strane stručnjaka, koncenzusu po pitanju osnovnih uticajnih faktora koji su implementirani u postojeće algoritme. Takođe, svakako se prihvatanje savremenih metoda optimizacije granica kopa, može objasniti i potrebom unificiranja metodologije odnosno kreiranja industrijskog standarda pomoću kog se na globalnom nivou može izvršiti valorizacija različitih rudarskih projekata.

Optimizacioni algoritmi su univerzalni, u smislu da se baziraju na ekonomskom blok modelu, zbog čega njihovi rezultati teoretski nisu osetljivi na vrstu korisne mineralne sirovine. Takođe, mogućnost diskretizacije geološkog modela, uvođenje različitih ograničenja u analizi, kao i generalno fleksibilna priroda, čini optimizacione algoritme primenljivim za praktično sve vidove korišćene tehnologije i često specifične uslove, koji karakterišu savremenu površinsku eksploataciju.

I pored generalno (teoretski) univerzalne primenljivosti, primetno je da u slučaju metaličnih ležišta, postojeće optimizacione metode granica kopa, generišu rezultate najveće praktične vrednosti. U slučaju optimizacije površinskih kopova ugljeva upotrebljivost ovih metoda u određenoj meri opada. Problem je posebno izražen ako se eksploatacija uglja vrši kontinualnom mehanizacijom. Geneza ograničenja u slučaju ugljeva, je delom razumljiva ako se u obzir uzme činjenica da su savremeni optimizacioni algoritmi, pre svega razvijani za slučaj složene prirode metaličnih ležišta, a kasnije im je primena proširena i na eksploataciju ostalih pa i ležišta ugljeve. U osnovi, ograničenja su najvećom merom generisana samom prirodom geološkog blok modela (koji je osnovni ulaz u procesa optimizacije granica kopa) i delom su zbog toga nezaobilazni.

U nastavku teksta detaljnije su opisani i na primerima objašnjeni spomenuti nedostaci vezani za optimizaciju površinskih kopova uglja.

3. Ograničenja primene optimizacionih algoritama pri optimizacije kopova uglja

Osnovna ograničenja primene optimizacionih algoritama, u slučaju optimizacije granica površinskih kopova ugljeva, mogu se definisati kao:

- Nemogućnost valorizacije strateškog cilja eksploatacije,
- Složena struktura i veličina ležišta ugljeva,
- Nedostatak softvera za optimizaciju ležišta ugljeva,
- Nesklad visine bloka i tehnologije otkopavanja
- Generisanje geomehanički neizvodljivih optimalnih kontura

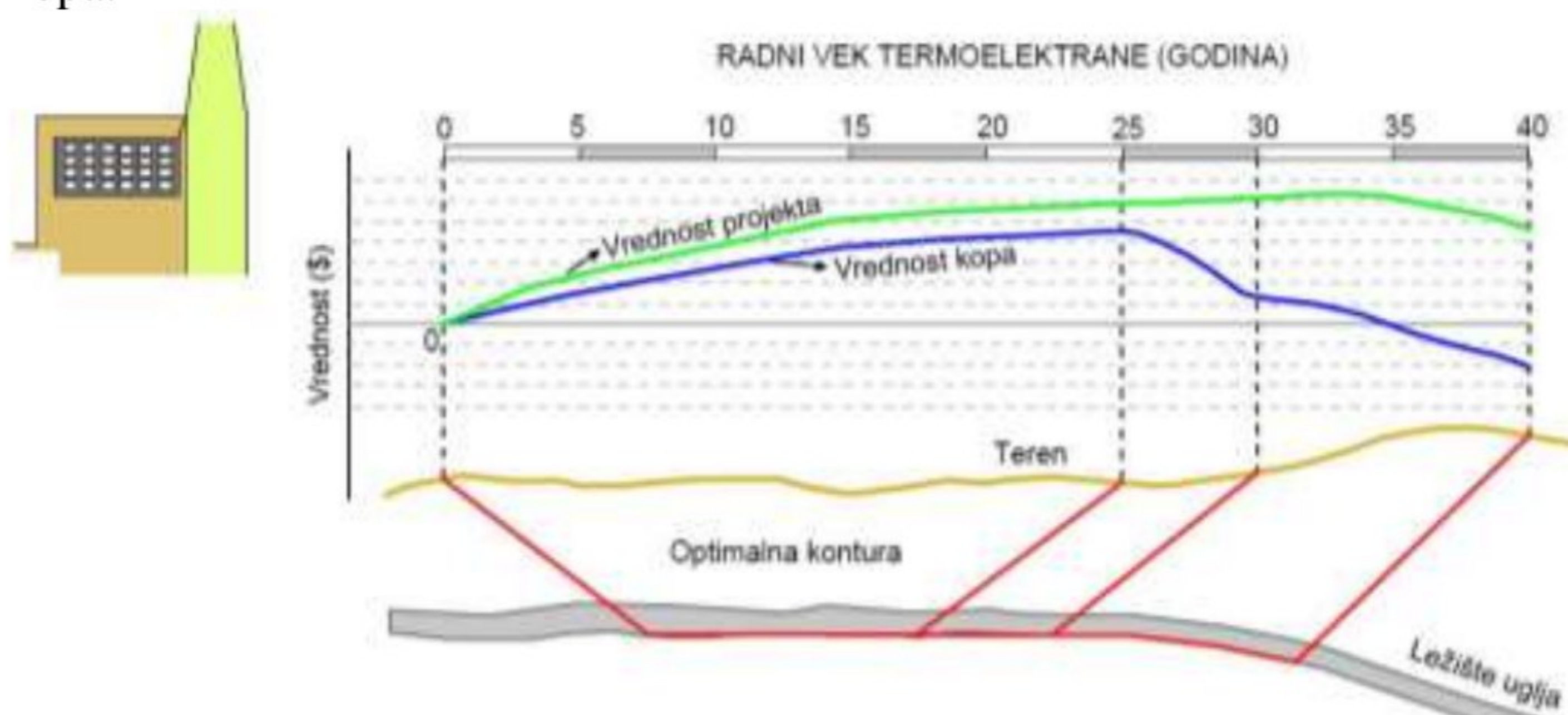
Navedena ograničenja primene optimizacionih algoritama, u opštem slučaju, nisu ekskluzivna samo za ležišta uglja, ali su za njih karakteristična, kao i negativni efekti istih.

a. Nemogućnost valorizacije strateškog cilja eksploatacije

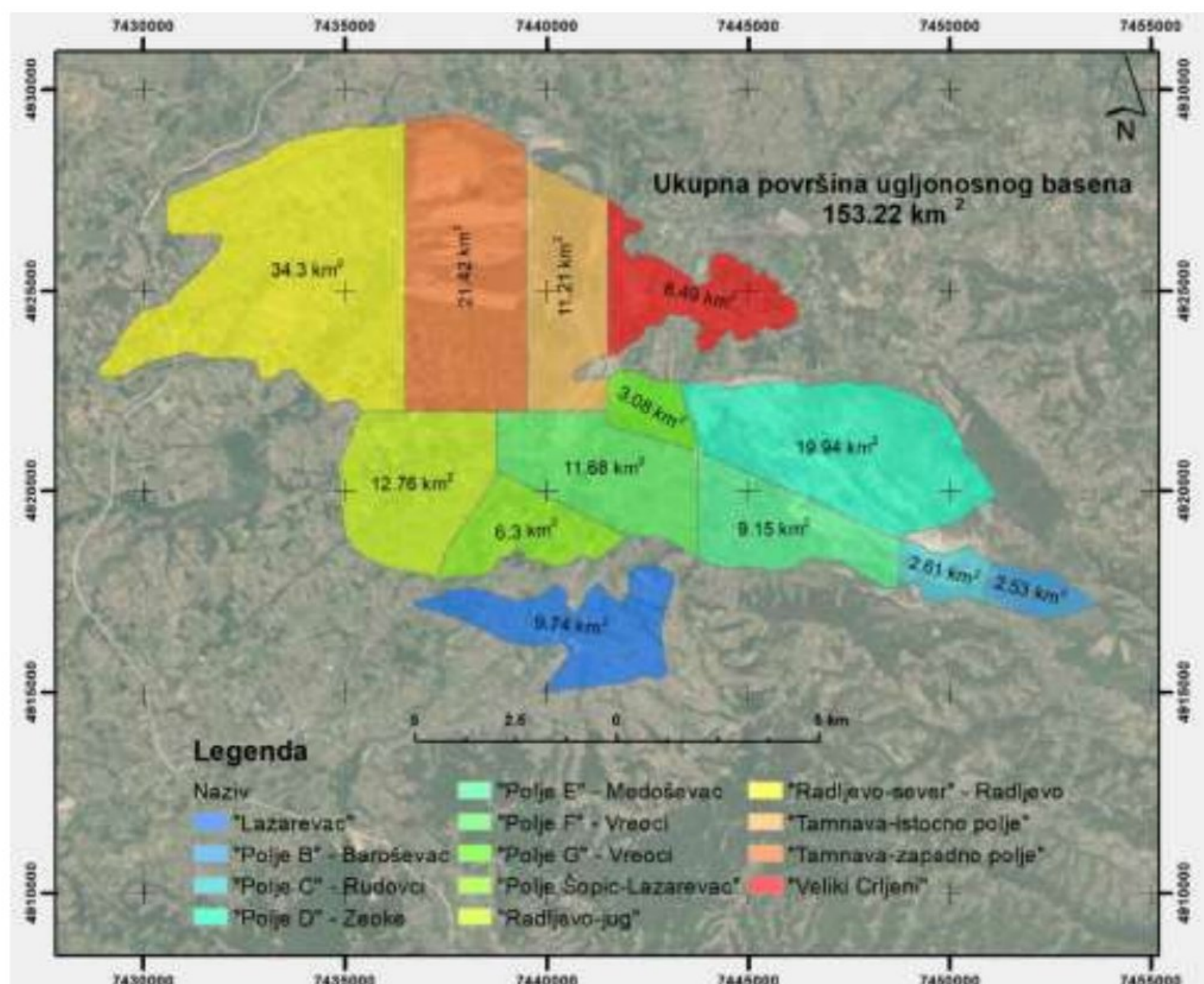
U opštem slučaju problem optimizacije granica površinskog kopa se svodi na pronalaženje konture koja je sposobna da generiše najveći profit. U procesu proizvodnje površinski kop nije nezavistan element već je njegovo funkcionisanje povezano sa zahtevima i ciljevima drugih elemenata kao što su postrojenja za preradu ili termoelektrane u slučaju eksploatacije uglja. Iz tog razloga optimalna kontura, koja obezbeđuje najveći profit na otkopavanju, možda ne ispunjava ciljeve ostalih delova sistema i u tom smislu ne predstavlja optimalno rešenje za globalne interese projekta. Površinski kop, kao deo sistema, može beležiti i negativno poslovanje, ako celokupan sistem (termoelektrana, distribucija električne energije) beleži profit. Ovakva situacija nije retkost i nije isključivo vezana za eksploataciju uglja, a fleksibilnim pristupom moguće je valorizovati globalne ciljeve sistema, odnosno sprovesti optimizaciju granica kopa i iskoristiti njene rezultate.

Međutim, kod ležišta ugljeva, strateški cilj često nije maksimiziranje profita sistema već stabilnost snabdevanja termoelektrana. U državama gde se značajan procenat električne energije generiše iz uglja, rad termoelektrana, je od vitalnog državnog značaja. Imajući nevedeno u vidu, za potrebe sprovođenja optimizacionih algoritama, pokušaj valorizacije strateškog cilja, definisanog kroz, stabilnost elektroenergetskog snabdevanja, je izuzetno teško izvesti. Pitanje *Koliko košta energetska stabilnost i nezavisnost?* daleko prevazilazi rudarsku ekspertizu.

Navedena ograničenja opisana su sledećim primerom. Vek rada termoelektrane je projektovan na 40 godina, u kom roku je potrebno istu snabdevati dovoljnim količinama uglja. U opštem slučaju generisana optimalna kontura kopa ne mora da obuhvati ukuno potrebne količine za vek rada termoelektrane. U navedenom primeru (Slika 3), optimalna kontura obuhvata količine uglja dovoljne za snabdevanje termoelektrane u narednih 25 godina. Povećanje konture obezbeđuje duži vek kopa, ali ekonomska vrednost istog, opada, da bi nakon 35 godine prešla u minus. Paralelno sa promenom vrednosti kopa, menja se i vrednost projekta. Najveća vrednost projekta je u 35 godini rada, ali termoenergetski kapaciteti u tom slučaju nisu u potpunosti vremenski iskorišćeni. U ukupnom veku rada termoelektrane (40 godina rada) vrednost projekta je ispod maksimuma ali je ostvarena stabilna proizvodnja i snabdevanje energijom u projektovanom vremenskom okviru od 40 godina (Slika 3). Odabir optimalnog veka projekta (veličine kopa) u ovome slučaju predstavlja stratešku odluku od najvišeg značaja. Ispravnost odluke ne zasniva se samo na preciznim analizama, inženjerskoj i (eventualno političkoj) logici, već može da bude kompromitovana neizvesnošću koja je vezana za znatnu dužinu trajanja projekta (teško je predvideti dugoročna kretanja). Valorizaciju neke od navedenih mogućih odluka, je izuzetno teško izvršiti, a što je neophodno za optimizaciju granica kopa.



Slika 3. Primer različitih mogućih, strateških odluka pri optimizaciji granica kopa uglja



Slika 5. Prikaz ukupne površine kolubarskog ugljonosnog basena

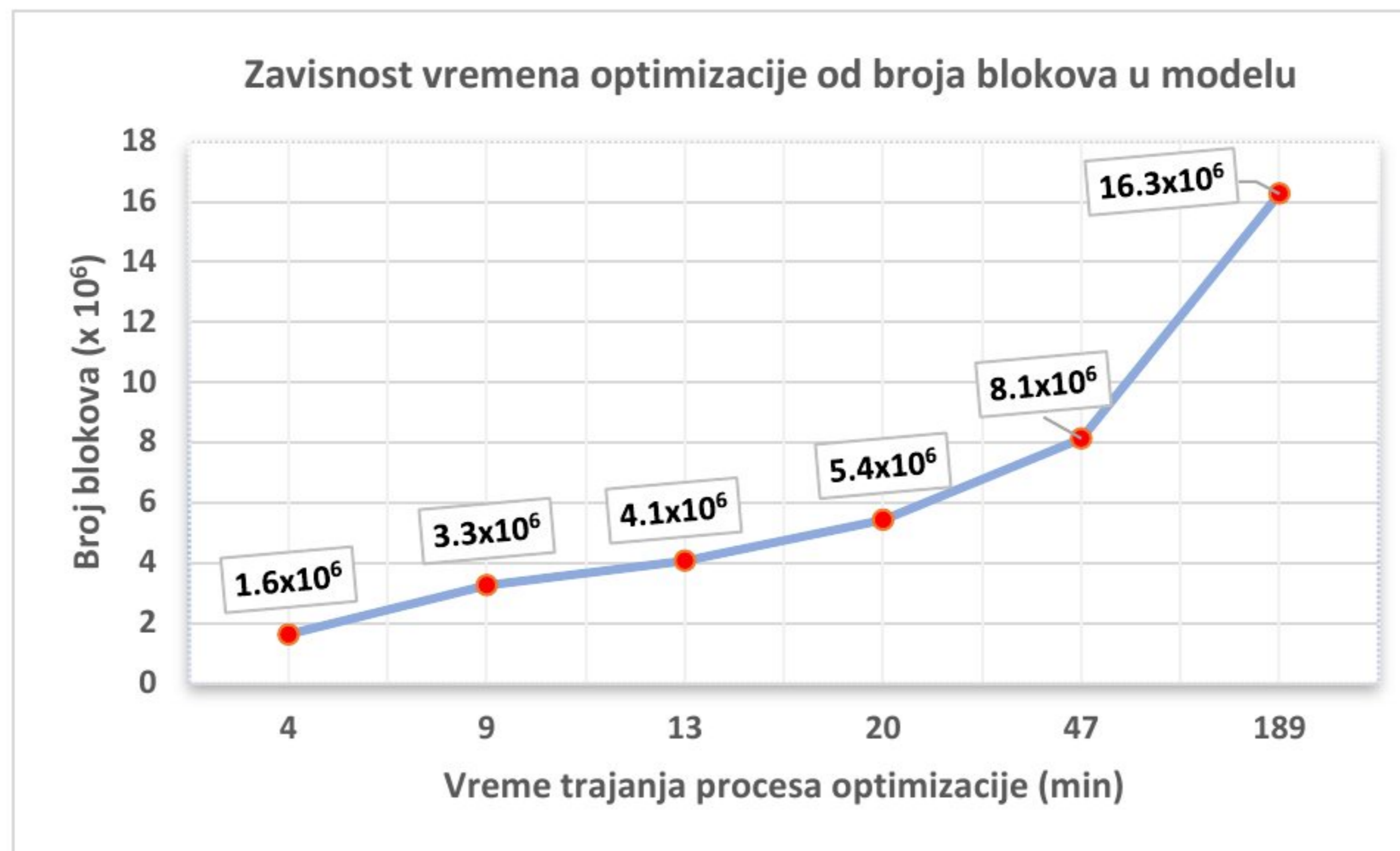
Iz navedenog se vidi kako složenost i veličina ležišta uglja, utiče na broj blokova. U savremenoj praksi je najčešće slučaj da su ekonomski atraktivna ležišta uglja u isto vreme velikih dimenzija i značajne strukturne složenosti, čime se broj blokova u modelu progresivno uvećava. U primeni savremenih metoda optimizacije granice kopa, vreme potrebno za analizu, se nesrazmerno povećava, sa porastom broja blokova. Ovaj efekat je u toj meri izražen, da se nad modelima sa značajnim brojem blokova, optimizacija ne može sprovesti u praktično prihvatljivim vremenskim rokovima. Problem je delimično ublažen razvojem sve robusnije informatičke podrške, ali i dalje nije otklonjen.

Radi plastičnijeg prikaza efekta koji broj blokova ima na trajanje optimizacije izvršena je analiza potrebnog vremena za optimizaciju pri promeni veličine bloka po z osi, i to u rasponu od 1 m do 10 m. Svi parametri analize, sem veličine bloka po Z-osi, su identični za svaku iteraciju. Jasno je da se smanjenjem visine bloka, povećava ukupan broj blokova u modelu. Analiza je izvršena na računaru respektabilnih hardverskih potencijala (I7-procesor, 32 Gb radne memorije) što je svakako pozitivno delovalo na dužinu trajanja pojedinačnih optimizacija (*brži računar - kraće trajanje optimizacije*). Rezultati analize prikazani su u Tabeli 1 i na dijagramu datom na Slici 6.

Iz tabele 1 kao i dijagramu (slika 6) se može videti nesrazmeran porast vremena trajanja optimizacije sa povećanjem broja blokova. Tako za visinu bloka od 1 m ($Z = 1$ m) model sadrži $16,3 \cdot 10^6$ blokova, a vreme optimizacije je 189 minuta. Ako se veličina bloka poveća deset puta ($Z = 10$) broj blokova opada 10 puta ($1,62 \cdot 10^6$) a vreme optimizacije iznosi samo 4 minuta, odnosno skraćuje se približno 50 puta. U primeru je pokušano i sprovođenje analize za visinu bloka od 0,5 m puta ($Z = 0,5$) broj blokova od $32,6 \cdot 10^6$, ali ni posle rada računara od 24 sata, rezultati nisu bili generisani zbog čega je analiza obustavljena.

Tabela 1. Analiza potrebnog vremena optimizacije za različitu veličinu bloka

Analiza	Veličina Bloka (m)			Broj blokova	Razlika br. blokova	Trajanje optimizacije	Razlika trajanja optimizacije
	X	Y	Z		(%)	(min)	(%)
1	20	20	1	16.275.000	100	189	100
2	20	20	2	8.137.500	50	47	25
3	20	20	3	5.425.000	33,3	20	11
4	20	20	4	4.068.750	25	13	7
5	20	20	5	3.255.000	20	9	5
6	20	20	10	1.627.500	10	4	2



Slika 6. Dijagram zavisnosti vremena optimizacije od broja blokova u modelu

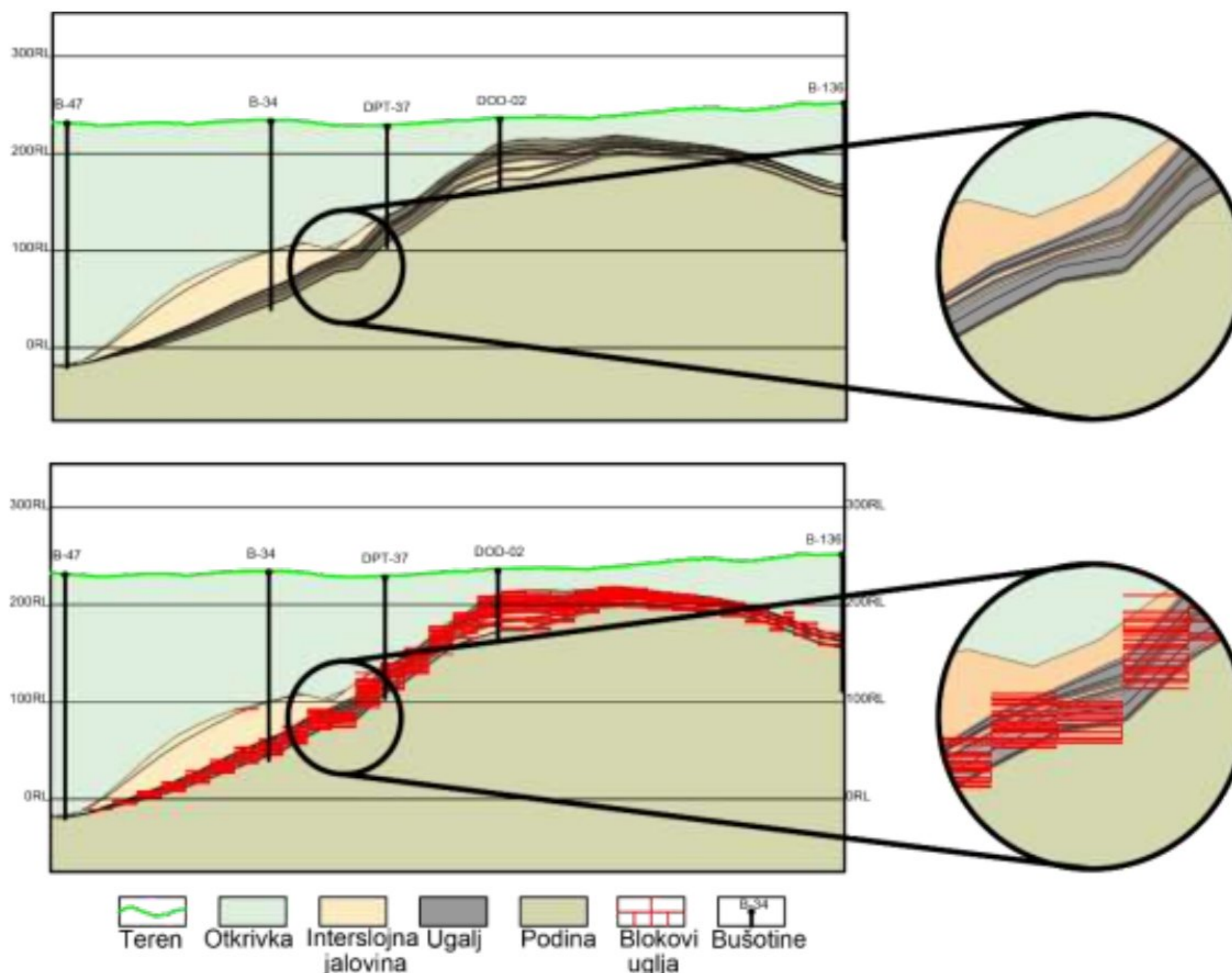
c. Nedostatak softvera za optimizaciju ležišta ugljeva

Za modeliranje ležišta koja zahvataju veću površinu od dubine, odnosno za interpretaciju slojevitih ležišta, kao što su ležišta ugljeva, znatno je povoljnije korišćenje grid modela odnosno primena implicitnog modeliranja. I pored toga što je ležišta uglja moguće interpretirati i kroz blok modele (eksplicitno modeliranje) ovakav pristup ima niz nedostataka. Ovi nedostaci vezani su za samu prirodu blok modela, zbog čega ih je nemoguće eliminisati. Kruta struktura blok modela, zahtevala bi značajnu diskretizaciju (veoma male blokove) kako bi se precizno reprodukovala složena struktura ugljenih slojeva. Posledica ovakvog pristupa, bilo bi formiranje blok modela, sa drastično velikim brojem blokova, koji bi zbog toga, sa praktičnog aspekta bio neupotrebljiv. Takođe eksplicitno modeliranje, ležišta sa velikim brojem proslojaka male debljine, zahtevalo bi značajan trud i vreme, a produkt bi bili lošiji rezultati (u odnosu na grid model).

Savremeni optimizacioni algoritmi (koji su inkorporirani u rudarske programske pakete) podrazumevaju rada sa blok modelom, zbog čega se ležišta uglja interpretirana u grid modelima, ne mogu (u svom prirodnom obliku) koristiti kao ulaz u procesu optimizacije. Kao rešenje predhodno navedenom problem, često se pristupa konvertovanju iz grid modela slojevitih ležišta u blok model. Ovakvo rešenje nije idealno jer se prevodjenjem (kao i u slučaju prevoda sa jednog na dugi jezik npr.) gubi određena količina informacija, a generišu se i razlike u interpretaciji (obično se u prevodjenju smanje ili povećaju količine ili sadržaji mineralnih

resursa). Jasno je da ovakva situacija, svakako dodatno, ograničava korišćenje optimizacije u slučaju površinskih kopova uglja.

Na Slici 7 dat je profil sa interpretacijom sloja uglja kreirana kroz grid model. Takođe na istoj slici data je interpretacija istog ugljenog sloja, ali nakon konverzije u blok model, za potrebe importa u program za optimizaciju granica kopa. Sa slike se mogu videti rezlike u interpretaciji kao i značajna nepreciznost blok modela.



Slika 7. Prikaz ugljenog sloja interpretiranog u grid modelu i nakon konverzije u blok model

Primer analitičkih razlika pri konverziji iz grid u blok modele dat je u Tabeli 2. Kao primer korišćeno je ležište uglja Delići u Republici Srpskoj. Kako je iz tabele vidljivo pri konverziji su nastale naizgled prihvatljive razlike u iznosu od oko 2% u količinama, odnosno oko 1% po pitanju kvaliteta. Ipak ne treba zanemariti činjenicu da su prikazane razlike sračunate na nivou celokupnog ležišta, dok lokalno posmatrano (u okviru određenih delova ležišta) te razlike mogu biti znatno veće, a mogu se čak i međusobno potirati.

Tabela 2. Analitičke razlike prilikom konverzije grid modela u blok model

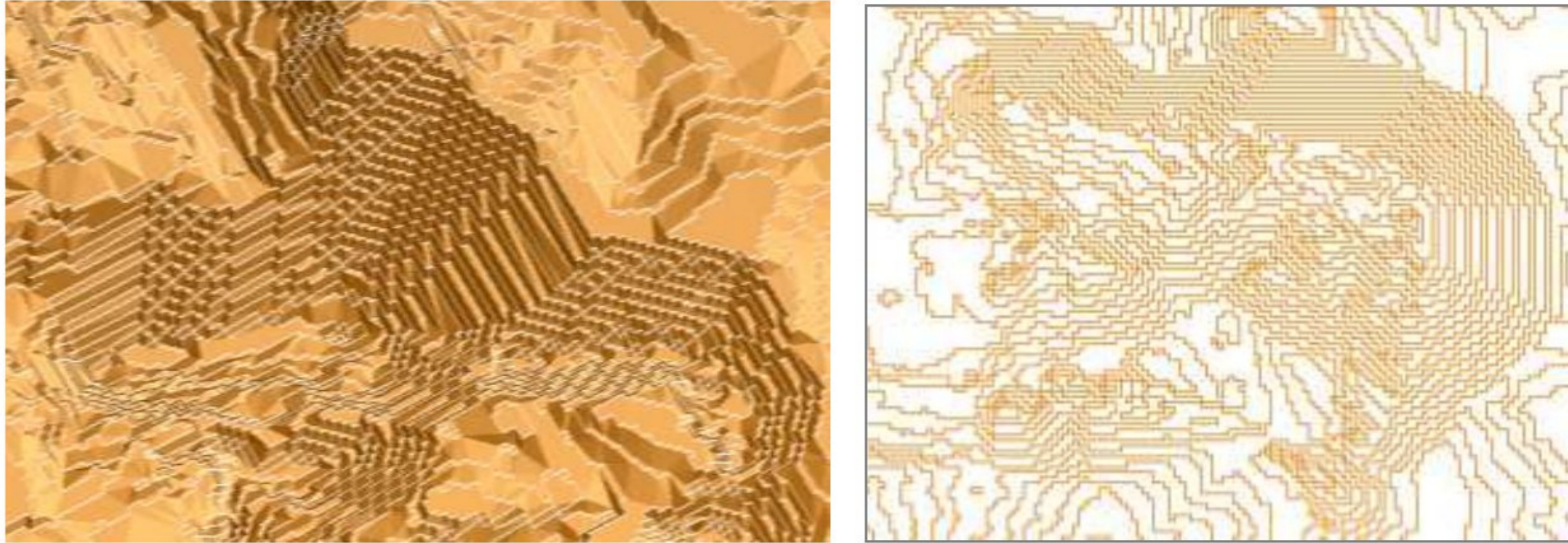
Tip geološkog modela	Zapremina (m ³)	Količine uglja (t)	Kvalitet - DTE (kJ/kg)
Grid model	266,112,576	89,821,302	11,967
Blok model	260,390,411	87,969,734	12,066
Razlika (%)	2.15	2.06	0.82

d. Nesklad visine bloka i tehnologije otkopavanja

U skladu sa prirodom metalnih ležišta i primenjene tehnologije, na kopovima metalnih mineralnih sirovina po pravilu se eksploatacija vrši horizontalnim etažama. Visina etaža je najčešće ujednačena, tj. ista za sve etaže ili je sučaj da se na kopu javljaju dve visine, odnosno

razlikuju se visine etaža na otkrivci i mineralnoj sirovini. Ovakav slučaj je čest i kod ležišta ugljeva koji se eksploatišu čisto diskontinualnom mehanizacijom. Međutim kod ležišta na kojima se eksploatacija vrši kontinualnom mehanizacijom, najčešće se otkopavanje vrši duž etažnih površi, promenljivih kota i visine.

Osnovni produkt optimizacije je artifakt blok modela, određen izolinijama (Slika 8) na osnovu koga se ucrtavaju etaže na kopu. U opštem slučaju teži se da visine blokova u modelu odgovaraju visinama etaža, čime se proces prevođenja optimalne u finalnu završnu konturu, značajno olakšava a i preciznost procesa je znatno veća. Ovakav pristup nije moguć u slučaju etažnih površi odnosno promenljivih kota i visina etaže. U tom slučaju optimalna kontura predstavlja izuzetno korisnu ali manje preciznu osnovu za kreiranje završne konture kopa.

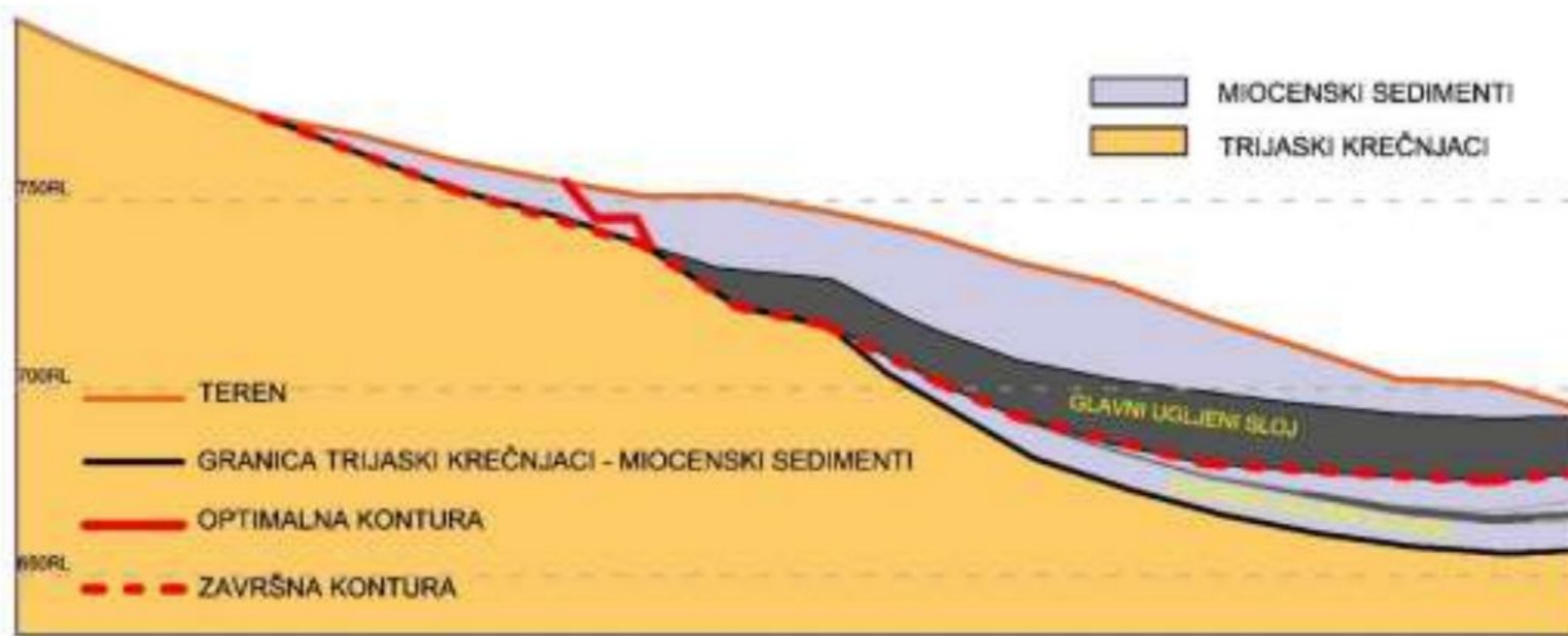


Slika 8. Artifakt blok modela prikazana pomoću površi i izolinija

e. Generisanje geomehanički neizvodljivih optimalnih kontura

Napredak informatičke podrške u svim sferama poslovanja, pa i u rudarstvu je nesumljiv. Ipak, složena priroda rudarskih projekata sa velikim brojem parametara i ograničenja, i dalje zahteva značajnu implementaciju inženjerske komponente, u cilju kriranja stvarno optimalnih odnosno izvodljivih rešenja. U procesu optimizacije granica kopova, relativno čest slučaj je generisanje optimalnih kontura koje su tehnološki ili geomehanički neizvodljive. Ovakve generisane optimalne konture, za date ulazne parametar, obezbeđuju najveću vrednost kopa, ali zbog činjenice da set ulaznih parametara, ne obuhvata sva moguća ograničenja, tehnološki, geomehanički a nekad i ekonomski su neizvodljive ili neopravdane.

Kao klasičan primer ovoga slučaja, može se posmatrati ležište Potrlica (Crna Gora). Ugalj se ovde javlja u sklopu sa miocenskim sedimentima koji se nalaze iznad serije trijaskih krečnjaka, strme strukture. U ovom slučaju, optimizacioni algoritmi će uvek generisati optimalnu konturu sa najvećom ekonomskom vrednošću, i po pravilu će ostaviti deo sedimenata, na strmoj krečnjačkoj podlozi (Slika 9). Ovakva kontura je matematički optimalna ali praktično neizvodljiva.



Slika 9. Primer generisanja optimalne, ali neizvodljive konture - PK Potrlica

4. Zaključak

Optimizacioni algoritmi za granice kopa, funkcionišu prema strogim matematičkim algoritmima, koji koliko god napredni, ipak ne mogu da predvide sve moguće slučajeve i mogućnosti u eksploataciji. Uloga inženjera prilikom odabira optimalnih granica, ostaje kritična komponenta, koja obezbeđuje sagledavanje matematički optimalnih rešenja u kontekstu celokupne inženjerske odnosno rudarske realnosti. Navedena ograničenja pri optimizaciji granica kopova uglja, su najčešće vezana za samu prirodu blok modela, koji je najvažniji ulaz u proces optimizacije granica. Iz tog razloga određenim tehnikama, efekat ovih ograničenja se mogu ublažiti, ali ne i potpuno otkloniti.

Kako je već navedeno u radu, postojeći optimizacioni algoritmi, razvijani su za ležišta koja se interpretiraju blok modelima (najčešće ležišta metala) zbog čega je njihova upotrebljivost delom smanjena kod ležišta ugljeva.

I pored navedenih nedostataka, postojeći matematički algoritmi, implementirani u lepezu komercijalnih programskih paketa za geologiju i rudarstvo, predstavljaju značajan alat pri planiranju u rudarskim projektima. U današnjoj rudarskoj praksi koja je okarakterisana, eksploatacijom duž siromašnih ležišta, sa složenom strukturom i brojnim infrastrukturnim i ekološkim problemima, generisanje velikog broja iteracija i sagledavanje svih aspekata eksploatacije, praktično je nemoguće bez snažne informatičke podrške. Generisane "matematički optimalne" konture u slučaju ležišta ugljeva i pored činjenice da u određenom segmentu odstupaju od praktično optimalnih rešenja, predstavljaju važnu osnovu, na koju se nadogradnjom inženjerskog znanja i iskustva brže i preciznije može doći do kvalitetnih rešenja. Takođe ne treba zaboraviti ni da su savremene metode optimizacije granica kopa prepoznate kao deo industrijskog standarda i u tom smislu, široko korišćene i prepoznatljive od strane svetske rudarske javnosti, ali i finansijskih institucija koje prate rudarstvo.

Literatura

- [1] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine, Službeni glasnik Republike Srbije, 2015, pp. 36-72, ISSN 0353-8389
- [2] Coal 2018, Analysis and forecasts to 2023, <https://www.iea.org/coal2018/>, accessed 25.09.2020
- [3] Wharton C.: Add value to your mine through improved long term scheduling. Whittle north American strategic mine planning conference, Colorado, pp 1-13, 2000
- [4] Stevanović D.: Optimizacija i planiranje površinskih kopova stohastičkim modelima, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2015

- [5] Stevanović D., Dobrosavljević M., Stojanović M., Pešić Georgiadis M.: Algoritam za kreiranje digitalnog modela etažnih površi, Zbornik radova, IX Međunarodna konferencija Ugalj 2019, Zlatibor, pp. 273-280. Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju Beograd ISBN: 978-86-83497-26-3, 2019
- [6] Banković M., Stevanović D., Pešić M., Tomašević A. & Kolonja B.: Improving Efficiency of Thermal Power Plants Through Mine Coal Quality Planning and Control. *Thermal Science*, 22(1B), pp.721-733, 2017
- [7] Benndorf J.: Investigating the variability of key coal quality parameters in continuous mining operations when using stockpiles. *Advances in Orebody Modelling and Strategic Mine Planning I. AusIMM*, 2011
- [8] Benndorf J.: Application of efficient methods of conditional simulation for optimising coal blending strategies in large continuous open pit mining operations. *International Journal of Coal Geology*, 112, 141-153, 2013
- [9] Naworyta W., Sypniowski S. & Benndorf J.: Planning for reliable coal quality delivery considering geological variability: A case study in polish lignite mining. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2015
- [10] Stevanović D., Banković M., Pešić Georgiadis M., Stanković R.: Approach to operational mine planning: Case study Tamnava West, *Tehnika*, No 6, Savez inženjera i tehničara Srbije, pp. 952-960, ISSN 0040-2176, 2014
- [11] Stevanović D., Banković M., Pešić Georgiadis M., Stanković R.: Operational Mine Planning and Coal Quality Control: Case Study Tamnava West, *Tehnika*, Special edition, Savez inženjera i tehničara Srbije, pp. 41-51, ISSN 0040-2176, UDC: 62(062.2) (497.1), 2015