

# Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације површинског копа

Страхиња Каровић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације површинског копа | Страхиња Каровић || 2023 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007446>



**Универзитет у Београду**  
**Рударско-геолошки факултет**



**ЗАВРШНИ РАД**

**Мастер академске студије**

**Утицај капацитета експлоатације на резултате  
оптимизације површинског копа**

**Кандидат**  
**Страхиња Каровић Р525/21**

**Ментор**  
**Проф. Др Дејан Стевановић**

**Београд, мај 2023. године**

**Комисија:**

1. Проф. др Дејан Стевановић, ментор

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

2. Доц. др Мирјана Банковић, члан

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

3. Проф. др Томислав Шубарановић, члан

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

**Датум одбране:** \_\_\_\_\_

## АПСТРАКТ

Рударство је јако комплексна индустријска грана, како са аспекта технологије, тако и са аспекта планирања и инжењеринга. Површинска експлоатација представља операцију у којој се откопавају рудни блокови из земље како би се из њих екстрактовала корисна минерална сировина. Током овог процеса постепено се формира све већа контура копа према унапред одређеној динамици радова.

Процес одређивања оптималне контуре копа и динамике радова назива се оптимизација. Оптимизација се врши у специјализованим софтверима који су изузетно скупи, али оправдавају цену будући да дају најпрофитабилније решење пројекта.

Имајући у виду да је капацитет јако битан параметар оптимизације, овај рад се бави проценом утицаја капацитета експлоатације на резултате оптимизације у случају површинског копа угља „Богутово село - Угљевик исток 1“. Детаљном анализом тражена је изводљива динамика радова којом се постиже потребан капацитет производње угља. Оптимизација је вршена у програмском пакету „*GEOVIA Whittle*“ компаније *Dassault Systemes*.

Кључне речи: *Оптимизација, капацитет, Whittle, контура, динамика радова*

## Садржај

1.	Увод .....	1
2.	Опште о оптимизацији и проблему развоја рударских радова.....	3
2.1.	Планирање површинског откопавања .....	3
2.2.	Принципи оптимизације и сви њени параметри .....	4
2.2.1.	Параметри оптимизације .....	6
2.3.	Значај геолошког модела и одабир оптималне контуре .....	13
2.3.1.	Анализа контура на основу фактора прихода (pit-by-pit график).....	22
2.4.	Софтвер за оптимизацију .....	25
2.4.1.	Методе оптимизације.....	27
3.	Пример дефинисања развоја рударских радова – пример ПК „Богутово село – Угљевик исток 1“.....	31
3.1.	Опште о лежишту, инфраструктури и географији терена .....	31
3.1.1.	Опште о лежишту .....	32
3.1.2.	Географија терена и инфраструктура.....	33
3.1.3.	Геолошке карактеристике лежишта .....	35
3.2.	Опис досадашњих рударских радова .....	37
3.2.1.	Тренутно стање рударских радова .....	38
3.2.2.	Приказ система експлоатације .....	39
3.3.	Коришћење алата <i>Surpac</i> и <i>Whittle</i> .....	41
3.4.	Дефинисање оптималне контуре и завршне контуре површинског копа.....	42
3.4.1.	Увод .....	42
3.4.2.	Основне вредности улазних параметара за оптимизацију .....	44
3.4.3.	Резултати оптимизације.....	46
3.4.4.	Завршна контура и експлоатационе резерве.....	50
3.4.5.	Динамика радова .....	54
3.5.	Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације .....	56

3.5.1. Динамика развоја рударских радова контуре 33 .....	59
4. Закључак.....	65
5. Литература.....	66

# 1. УВОД

Рударство представља струку која се бави откопавањем и прерадом корисних минералних сировина. Користи се многим научним дисциплинама за развијање нових технолошких процеса ради искоришћења лежишта и руде и максимизације профита. Рударске операције су дугорочне, изискују велике капиталне инвестиције, укључују доста неизвесности у погледу квалитета руде, цене минералне сировине и трошкова експлоатације. Поред тога, већина квалитетних лежишта је експлоатисана што рударима представља велики изазов да из сиромашних и тешко доступних лежишта извуку максимум.

Из тих разлога оптимизација добија све већи значај јер пружа оптимално решење уз минималне трошкове и ризике и омогућава рударским компанијама да остваре већу добит и инвестирају у нове пројекте, истраживања и развој.

Оптимизација се врши уз помоћ специјализованих софтвера за моделирање и симулацију процеса у које се уносе параметри оптимизације и који омогућавају рударским инжењерима да предвиде резултате различитих сценарија и донесу одлуке о најбољем начину експлоатације ресурса.

Параметри оптимизације представљају променљиве и ограничења за које алгоритам оптимизације даје оптимално решење. Ту спадају трошкови откопавања и прераде, гранични садржај, цена производа, искоришћење лежишта и искоришћење у преради, нагиб косина... Свака промена једног од параметара довешће до другачијег оптималног решења.

У овом раду биће испитано какав утицај на резултате оптимизације има повећање капацитета на откривци услед усвајања веће контуре копа. Као пример, користиће се лежиште угља „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“.

Лежиште угља „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“ се налази у Босни и Херцеговини, општина Угљевик, Република Српска. Лоцирано је у западном делу Семберијског угљеног басена, а познато је по својој висококвалитетној чврстој угљеној маси која се користи за производњу топлотне и електричне енергије. Лежиште се налази у подручју које је било предмет истраживања још у периоду пре Другог светског рата, а експлоатација угља започела је 1955.



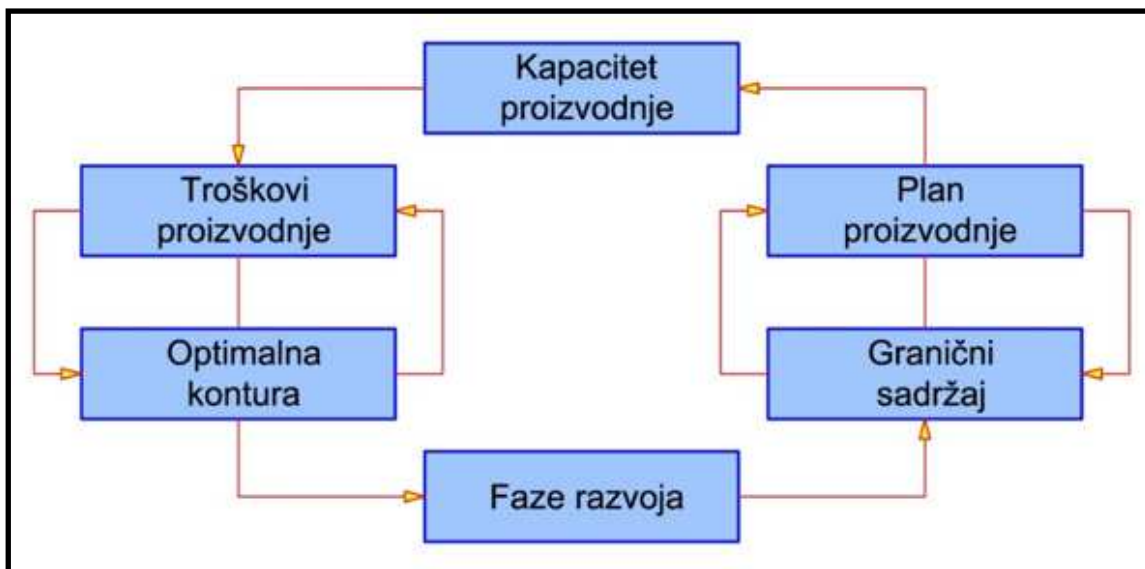
године. Након тога, лежиште је пролазило кроз различите фазе експлоатације, модернизације и проширења. Лежиште је подељено на три ревира: Богутово село север, Богутово село југ и Угљевик исток 1, а капацитет производње угља износи око 1,8 милиона тона годишње.

## 2. ОПШТЕ О ОПТИМИЗАЦИЈИ И ПРОБЛЕМУ РАЗВОЈА РУДАРСКИХ РАДОВА

### 2.1. Планирање површинског откопавања

У терминологији рударства, термини пројектовање и планирање се често мешају будући да се ради о уско везаној материји. Појам планирање чини методологију и поступке дефинисања планова површинског откопавања и представља темељ пројектовања.

Фаза планирања копова је од пресудног значаја за ефикасну рударску производњу. Главна улога планирања чини оптимизацију услова пословања ради максимизације циљева рударског пројекта. У општем смислу, планирање се своди на оптимизацију и међусобно усклађење појединачних економских, технолошких и геолошких фактора. Такође, због међусобне зависности основних елемената планирања (слика 2.1), оптимизације појединачних елемената често захтевају велики број итерација (Дагдален, 1985).



Слика 2.1. Међусобна зависност основних елемената планирања (Дагдален, 1985)

Генерално, процес планирања можемо поделити на 4 нивоа:

1. Стратешко (дугорочно) планирање
2. Средњерочно планирање
3. Краткорочно планирање
4. Оперативно планирање

Оваква подела је најчешће коришћена, али је битно напоменути да се стратешко и дугорочно планирање често разматрају одвојено. Док се, средњерочно и краткорочно планирање обједињују у пословно планирање.

У сва четири нивоа планирања се често анализирају исти аспекти производње, међутим, разлика је у нивоу поузданости и детаљности улазних параметара, па самим тим, са растом нивоа планирања расте и поузданост пројектованог решења.

## **2.2. Принципи оптимизације и сви њени параметри**

Оптимизација представља процес у којем се тражи најбоље решење проблема из скупа могућих решења, према претходно унетим критеријумима. Такво решење називамо оптимално решење и оно у општем случају не мора да буде јединствено.

Да бисмо за неко решење могли да кажемо да је оптимално, мора постојати мера којом се одређује његов квалитет и која омогућава његово поређење са другим решењима. У математичком моделу постоји функција која сваком решењу даје одговарајућу вредност која представља његову меру квалитета. Та функција се назива функција циља или критеријумска функција (назива се још и индекс перформансе) и најчешће се означава са  $f(x)$ .

Најчешћи критеријум за оптимизацију односно избор најбољег решења је проналазак математичког максимума (задатак максимизације) или минимума (задатак минимализације), али у зависности од жељених економских циљева могући су и други критеријуми.

Поред функције циља, свака оптимизација има још и променљиве и ограничења. У зависности од тога да ли су параметри у оптимизационом проблему познати, случајног карактера или неодређени, разликују се:

- Детерминистички проблеми
- Проблеми стохастичке оптимизације (континуалне и дискретне)
- Проблеми оптимизације у условима неодређености и неизвесности

Детерминистички проблеми су они процеси где су улазни параметри детерминистичке природе

Стохастичке методе имају случајан карактер, описан методама из теорије вероватноће и статистике.

Променљиве чине сви параметри који утичу на функцију оптимизације. Ту спадају: цена производа, трошкови експлоатације, трошкови прераде, искоришћење у лежишту и преради, разблажење, гранични садржај. У ограничења спадају углови нагиба завршних косина, ограничења по плану и дубини и сл.

Код савремених поступака планирања (везаних за планирање откопавања), најчешћи критеријум за оптимизацију односно избор најбољег решења је нето вредност (NV). Нето вредност се може посматрати статички (без узимања у обзир временске димензије) и динамички (са временском димензијом). На основу тога, критеријуми за упоређивање решења могу се поделити као: нето вредност (добит или зарада) и нето садашња вредност (NPV) која представља дисконтовану NV, односно нето вредност када у обзир узмемо временску вредност новца.

NV и NPV се рачунају по следећим једначинама:

$$NV = \sum_{i=1}^k (P_i - T_i) = \sum_{i=1}^k NV_i ; \rightarrow \max \quad (1)$$

$$NPV = \sum_{i=1}^k \frac{CF_t}{(1+k)^t} - l_0 \quad (2)$$

где су:

$NV$  (\$) – нето вредност

$NV_i$  (\$) – нето вредност по годинама

$P$  (\$) – приход по годинама

$T$  (\$) – трошкови по годинама

$NPV$  (\$) – нето садашња вредност

$CF_t$  – Новчани ток у периоду  $t$

$1/(1+k)^t$  – дисконтни фактор

$k$  – дисконтована каматна стопа алтернативног улагања

$t$  – број периода

$I_0$  – почетно улагање

Ова два критеријума су показатељи који обједињују ефекте свих техно-економских параметара производње у јединствен показатељ. Погодни су за упоређивање разних могућих решења у концепцији откопавања лежишта, јер показују релативне односе између могућих варијанти.

### **2.2.1. Параметри оптимизације**

#### **Цена производа**

Тржишна цена производа представља најбитнији фактор и има круцијалан утицај на потезе у рударском планирању. Утиче на усвајање крајње границе копа и капацитета и од свих фактора, најтеже се предвиђа.

Предвиђање цене, при планирању рудничке производње, се врши како за средњорочне тако и за дугорочне временске периоде. С тим да, колико год времена и рада уложили у предвиђање цене, она ће готово сигурно бити погрешна, само је питање у коликој мери. С обзиром на то, при планирању треба узети у разматрање следеће три цене:

- Просечну очекивану или базну цену
- Највишу очекивану цену (оптимистичка прогноза)
- Најнижу очекивану цену (песимистичка прогноза)

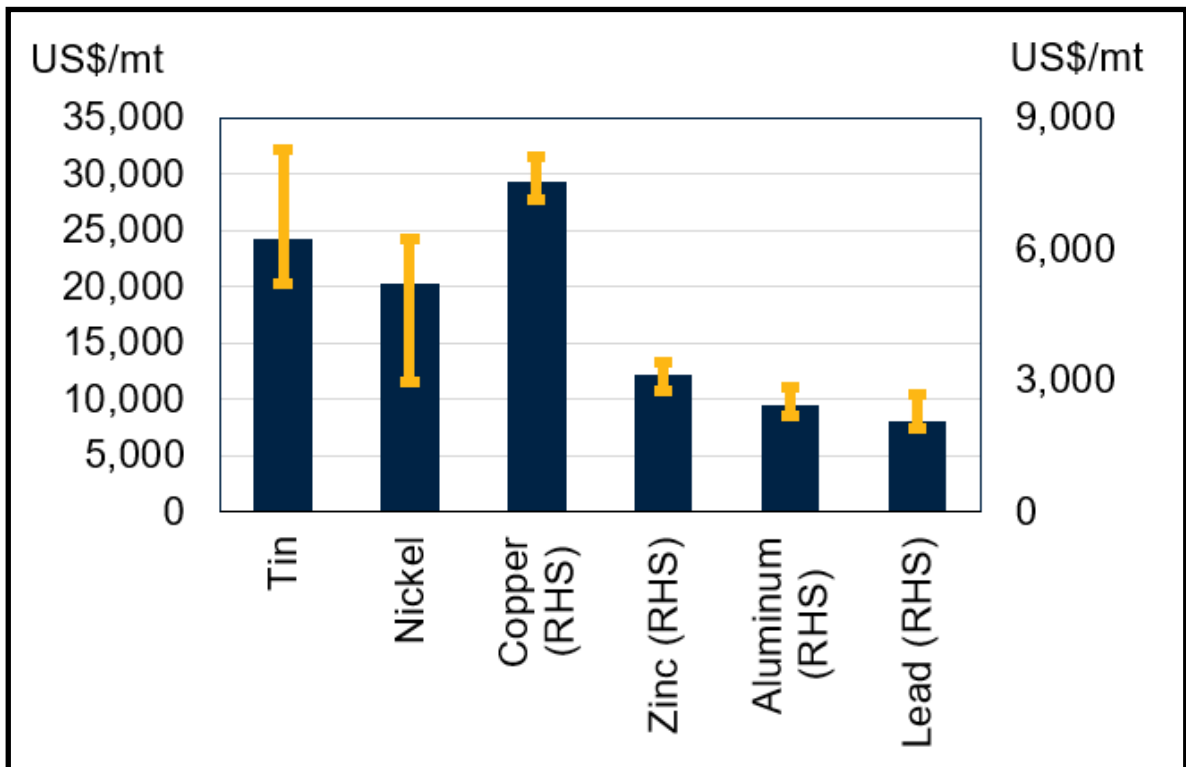
На формирање цене утичу пре свега тржишта, затим разне тржишне спекулације и курсне разлике. У зависности од типа сировине зависи и тржиште на којем се минерална сировина продаје. Тржишта могу бити глобална или локална. Цене металних руда регулише глобално тј. светско тржиште, док трговина јефтинијим сировинама није исплатива на глобалним тржиштима и стога се њихова цена регулише на локалном тржишту.

Прогнозе цена раде углавном консултантске фирме, истраживачке куће и разни стручњаци из области економије. Процена највише и најниже цене се заснива углавном на историјским вредностима. Приказ кретања цене бакра последњих пет година дат је на слици 2.2.



Слика 2.2. График цене бакра у периоду 05.2017.-09.2022.  
(<https://www.mining.com/markets/commodity/copper/all/>)

Такође, основ за предвиђање цена могу да буду и дугорочне прогнозе које даје светска банка на свака три месеца. Приказ једне такве прогнозе за обојене метале дат је на слици 2.3.



Слика 2.3. График дугорочне прогнозе цена обојених метала  
 (<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>)

Цена минералне сировине се изражава најчешће у \$/јединици откопане масе (\$/t, \$/kg, \$/g). Такође, може се изразити и као \$/% садржаја или као \$/kJ за угаљ.

### Трошкови експлоатације и прераде

Како би исправно проценили трошкове прво је потребно да знамо порекло односно поделу трошкова и где они фигуришу. Основна подела трошкова и нешто о њима:

1. Капитални трошкови – подразумевају фиксни капитал који се користи за изградњу или проширење физичких објеката, обртни капитал неопходан за довођење пројекта у економску фазу производње. Деле се на директне и индиректне. У директне спадају инвестиције у опрему (капитална рударска механизација, помоћна опрема итд) и изградњу објеката, инфраструктуре, електрике итд. Индиректни су капитални трошкови који нису директно везани за производњу и ток материјала. Ту спадају трошкови везани за сву потребну папирологију, пројектовање, набавке,

кадровску службу, управљање и слично. Такође обухватају и резервне трошкове за непредвиђене околности су пропорционални степену истражености.

2. Оперативни трошкови – За њих је карактеристично то што имају велику локацијску и временску променљивост. Директно су везани за ток материјала. Деле се на оперативне трошкове производње и на административне и опште трошкове. Оперативни трошкови производње се деле на фиксне и варијабилне. Варијабилни трошкови зависе од обима производње односно количине откопаних маса, количина прерађене руде итд. Фиксни оперативни трошкови се јављају периодично и не зависе од обима производње. Административни и општи трошкови обухватају трошкове везане за безбедност, складиштење, одржавање, радионице, административне зараде, трошкове продаје и слично. Битно је напоменути да операциони трошкови не обухватају трошкове амортизације, трошкове финансирања и капиталне расходе.
3. Трошкови одржавања пословања капиталне инвестиције – Обухватају све трошкове везане за успешно економско функционисање рударског пројекта у планираном животном веку. Ту спадају трошкови замене капиталне опреме попут багера, камиона, постројења за прераду итд.

Трошкови експлоатације спадају у групу варијабилних оперативних трошкова. Они подразумевају све трошкове који настају у процесу откопавања и расту заједно са растом производње. Ту спадају трошкови рада багера, бушење, минирање, утовар, транспорт, одлагање. У многоме зависе од саме локације копа (стање и политика у држави, услова терена, инфраструктуре и надморске висине) и временске променљивости (инфлација, цене енергената итд.). Могу се изражавати у цени по радним сатима (\$/h), тони откопаног материјала (\$/t), метру кубном откопаног материјала (\$/m<sup>3</sup>) или тони откопане минералне сировине (\$/t). Изражавање према радном часу није толико погодно будући да се у радне сате рачуна и када машина стоји и чека на камион или док се транспортује. Према тони откопаног материјала се користи често, поготово ако је запреминска маса јаловине и корисне минералне сировине иста. \$/m<sup>3</sup> се



не користи толико јер се транспорт готово увек изражава у тонама, такође у корист не иде то што се запреминска маса материјала константно мења у току процеса откопавања. Изражавање у тонама откопане руде се користи за израду студија јер узима у обзир коефицијент откривке, транспорт и прераду минералне сировине.

Трошкови прераде минералне сировине обухватају све трошкове који настају у процесу прераде минералне сировине и, као и трошкови експлоатације, пропорционални су обиму производње. У случају да постоји више процеса прераде, морају се дефинисати за сваки процес посебно. Зависе од врсте стене, врсте орудњења и минерализације и садржаја корисне минералне сировине. Изражавају се као  $\$/јединици$  масе прерађене руде ( $t, m^3$ ).

Јако је битно разграничити ове групе трошкова јер неки утичу мање, а неки више на економску вредност, ток новца пројекта и NPV као критеријум оптимизације. Због тога је битно имати у виду следеће:

- Фиксни трошкови се не могу користити за процес оптимизације као такви, већ се сви морају прерачунати у варијабилне на основу годишњег капацитета којим је одређен век рудника.
- Капитална улагања и трошкови затварања рудника не фигуришу у трошковима модела за оптимизацију будући да алгоритам ради тако да максимизира разлику варијабилних прихода и варијабилних трошкова производње.

Генерално правило је да се, за оптимизацију граница копа, користе само они трошкови који нестају са престанком рада копа.

Процена трошкова се може вршити на више начина. У првом кораку, оквирна процена се врши на основу претходних искустава копова са сличним условима рада и сличном технологијом (подаци о потрошњи горива или трајању пнеуматика су поузданији из извора рудника него декларација произвођача). Затим се процена може одређивати и на основу каталога и података произвођача опреме, такође могуће је склопити уговоре о фиксним ценама резервних делова са произвођачима опреме. Поред тих извора, постоје

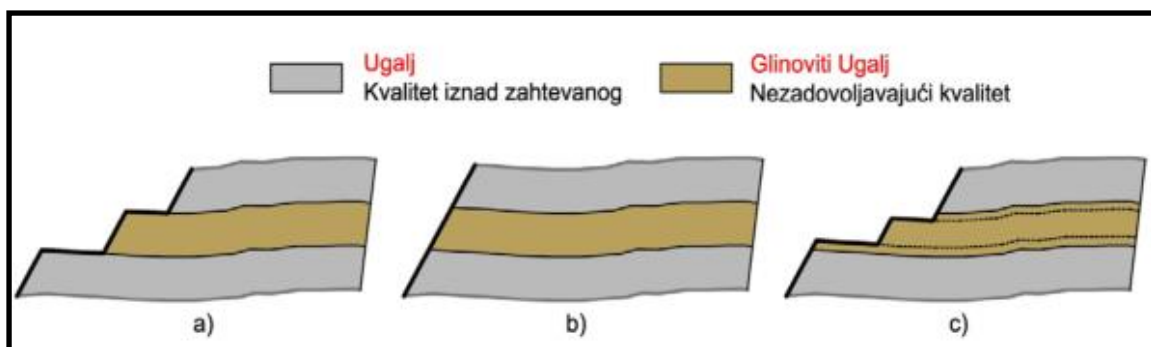
и консултантске фирме које се баве услугама процене као и специјализовани софтвери и формуле за одређивање трошкова.

### Искоришћење у лежишту и преради

Представља неопходан параметар за процену вредности сваког блока у моделу и самим тим и финалне границе копа. Искоришћење највише зависи од усвојене технологије, геометрије лежишта и копа и организације рада. Одређивање вредности искоришћења се највише заснива на инжењерској процени на основу познатих података сличних копова и технологије.

### Разблажење

Разблажење представља количину околног материјала који се откопава заједно са рудом и смањује јој садржај. Супротно од разблажења би била количина материјала која се не откопа или се помеша са јаловином и зовемо је губицима. Ова два показатеља имају супротне ефекте, ако желимо да сачувамо садржај онда ће нам губици бити максимални. А ако се иде на то да се откопа што већа количина, онда је разблажење максимално. Случај максималног разблажења и максималних губитака приказан је на примеру руде угља са глиненим прослојком на слици 2.4.



Слика 2.4. Илустровани приказ селективног откопавања (Проф. др Божо Колоња, доц. др Дејан Стевановић: Пројектовање површинских копова, интерна скрипта, Рударско-геолошки факултет, 2005. година.)

На слици 2.4. пример под a) представља варијанту према којој се глиновити угаљ селективно откопава и третира као јаловина. Ова варијанта подразумева максималан квалитет ( $R=0$ ) ка термоелектрани, али уједно и минималне резерве угља ( $G=\max$ ).

На истој слици под *b*) приказано је откопавање целокупног слоја угља (са прослојком глиновитог угља) помоћу једне етаже. У овом случају нема селективног откопавања, због чега је квалитет отпремљеног угља минималан. То значи да, варијанта *b*) има најмањи квалитет ( $R=\max$ ) али и највеће резерве ( $G=0$ ).

Трећа варијанта (дата под *c*) представља селективан рад, са делимичним откопавањем прослојка глиновитог угља, дуж прве и треће етаже, док се већи део прослојка откопава као јаловина и транспортује на одлагалиште Овај случај карактерише задовољавајући квалитет угља, који је негде између претходне две варијанте. Исто важи и за резерве угља.

У анализираном случају, избор оптималне варијанте зависи од циљева површинског копа, да ли је фокус на квалитету минералне сировине или пак на количинама или се тражи нешто између.

### **Гранични садржај**

За оптимизацију су нам битна два гранична садржаја. Гранични садржај који утиче на ток материјала, односно дели материјал на руду и јаловину и гранични садржај у преради, тј. минимални садржај који постројење за прераду може довољно ефикасно да обради.

Гранични садржај у копу је минимални садржај корисне минералне сировине који економски оправдава њено откопавање и даље третирање као руде. Зависи највише од цене сировине. Изражава се у % или g/t, g/kg. Може се израчунати преко следећег обрасца:

$$x_c = \frac{T_o + T_p}{r \cdot (V - R)} \quad (3)$$

где су:

$x_c$  – гранични садржај (% или g)

$T_o$  – трошкови откопавања (\$/t)

$T_p$  – трошкови прераде (\$/t)

$r$  – искоришћење у преради (%)

$V$  – вредност јединице производа (\$/%, \$/g)

R – трошкови продаје, транспорта и остали трошкови за јединицу производа (\$/%, \$/g)

У пракси можемо имати више граничних садржаја који деле материјал не само на руду и јаловину, већ и на руду мањег и већег квалитета, у зависности од потреба и потражње на тржишту.

Гранични садржај у преради представља минимални садржај из ког постројење може довољно ефикасно да добије концентрат. Постројења за прераду су често оптимизована тако да имају високо искоришћење за тачно одређен садржај руде и уколико у прераду дође руда мало мањег садржаја, искоришћење нагло опада.

### **2.3. Значај геолошког модела и одабир оптималне контуре**

Рударске пројекте карактерише велики број параметара који су неопходни за решавање проблема којима се пројекат бави. Због тога, рударске пројекте није могуће планирати јединственом оптимизацијом која би дала оптимална решења за све проблеме рударског пројекта. Стога се у пракси врши оптимизација сваког појединачног елемента пројекта. Ти елементи представљају јединствене целине, али нису независне и често се врши кооптимизација два или више елемената. Битно је напоменути да оваква оптимизација вероватно неће понудити оптимално решење, већ се задовољавајућим сматра решење које испуњава циљеве пројекта.

У даљем тексту, дати су и објашњени основни елементи сваког рударског пројекта за површинску експлоатацију, а то су:

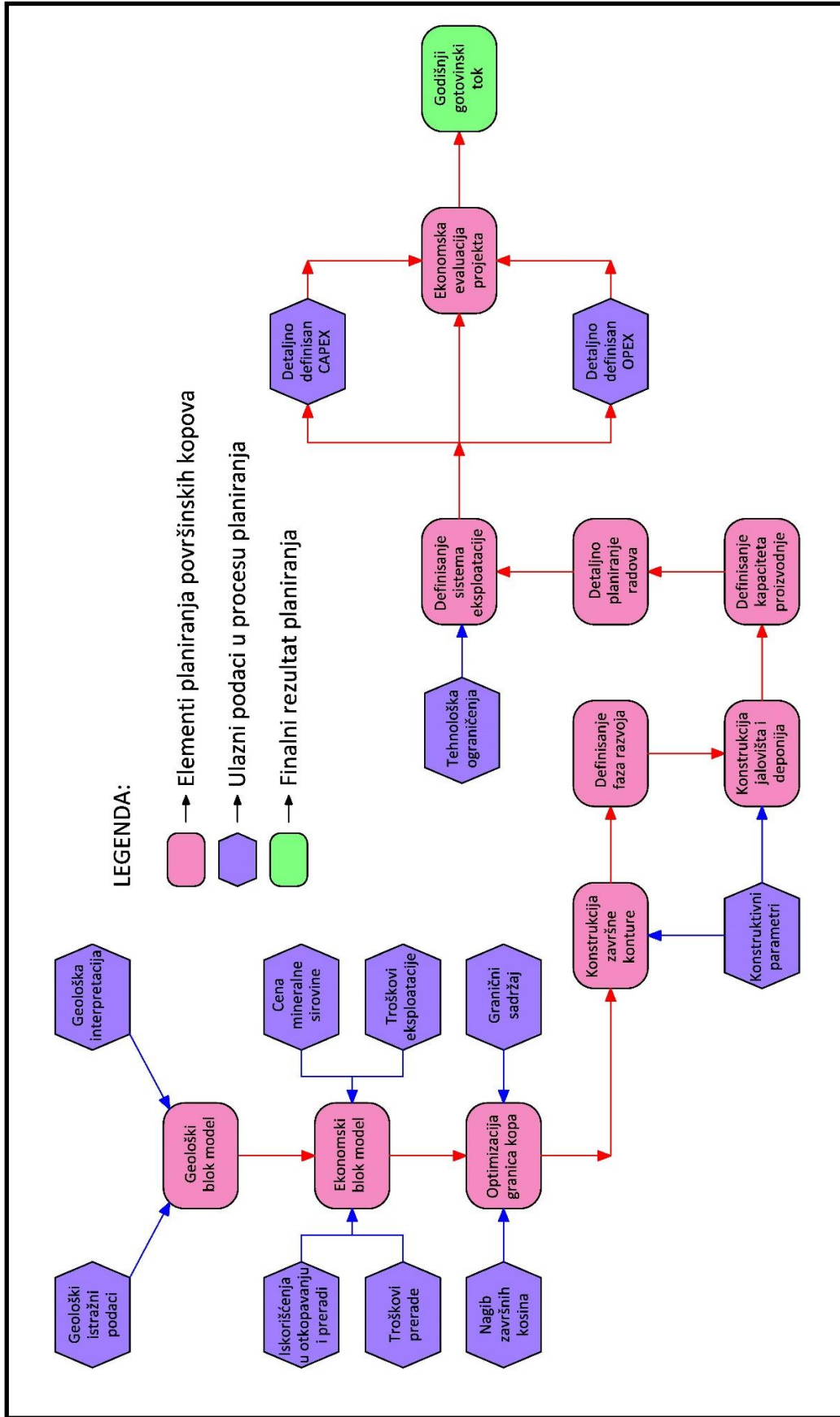
1. Геолошки блок модел
2. Економски блок модел
3. Оптимизација граница копа
4. Конструкција завршне контуре копа
5. Дефинисање фаза развоја
6. Конструкција јаловишта и депонија
7. Дефинисање капацитета производње
8. Дефинисање система експлоатације

## 9. Детаљно планирање развоја рударских радова

### 10. Економска евалуација пројекта

Наведени елементи су поређани по реду како их је неопходно дефинисати. Такође је битно поменути да је сваки пројекат другачији и има нешто по чему је специфичан, па може садржати неке додатне елементе планирања који нису наведени на претходној листи.

Дијаграм којим се дефинише методологија и основни елементи при планирању рударских пројеката дат је на слици 2.5.



Слика 2.5. Методологија планирања рударских пројеката (Стевановић Дејан: Оптимизација и планирање површинских копова стохастичким моделима, докторска дисертација, ментор Проф. др Никола Лилић, Рударско – геолошки факултет, 2015. година)

## Геолошки блок модел

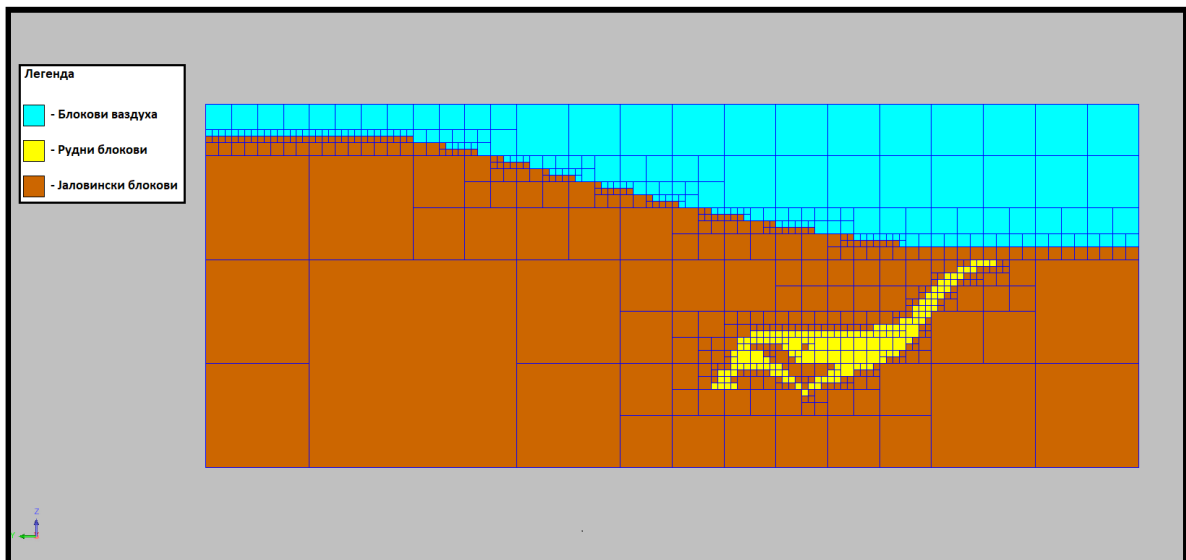
Геолошки блок модел представља дигитални модел који осликава геолошке карактеристике лежишта. Сваки геолошки модел је нетачан, али је битно да буде нетачан у прихватљивим границама. Важно је напоменути да се све грешке направљене у моделу преносе на даље фазе планирања.

Раније се под геолошким моделом подразумевала велика количина разних геолошких докумената којима се дефинисало лежиште. Данашњи модерни модели су дигиталног карактера и много су напреднији од материјалних у сваком аспекту.

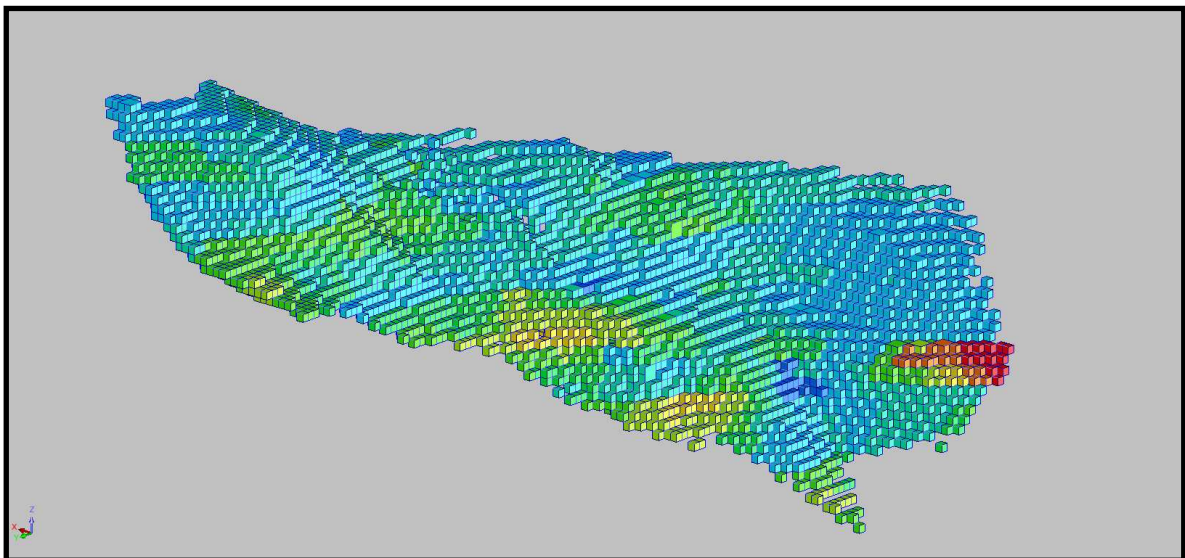
У основи, дигитални модели се могу поделити на:

- Геолошке моделе засноване на миниблоковима и
- Геолошке моделе засноване на гридовима

Блок модел представља нумеричку 3Д мрежу блокова одређених димензија који су правилно распоређени у колоне, редове и нивое. Карактеристични су за металична лежишта сложеног облика. Основни принцип је дискретизација рудног тела на велики број блокова. Број блокова у моделу зависи од величине лежишта и величине блокова, а најчешћа грешка при креирању модела је превелика дискретизација, односно превелики број мини блокова. Простор који блок модел обухвата чини комплетно лежиште и простор око самог лежишта, укључујући и ваздушни простор. То омогућује пројектовање копа до највећих граница. Сваки блок има своју XYZ координату, која представља реалну координату у геодетском координатном систему, величину и атрибуте (квалитативне особине). Просечни садржај у блоку се одређује разним геостатистичким приступима или условним симулационим методама. Приказ пресека блок модела и рудних блокова дати су у наредним сликама.



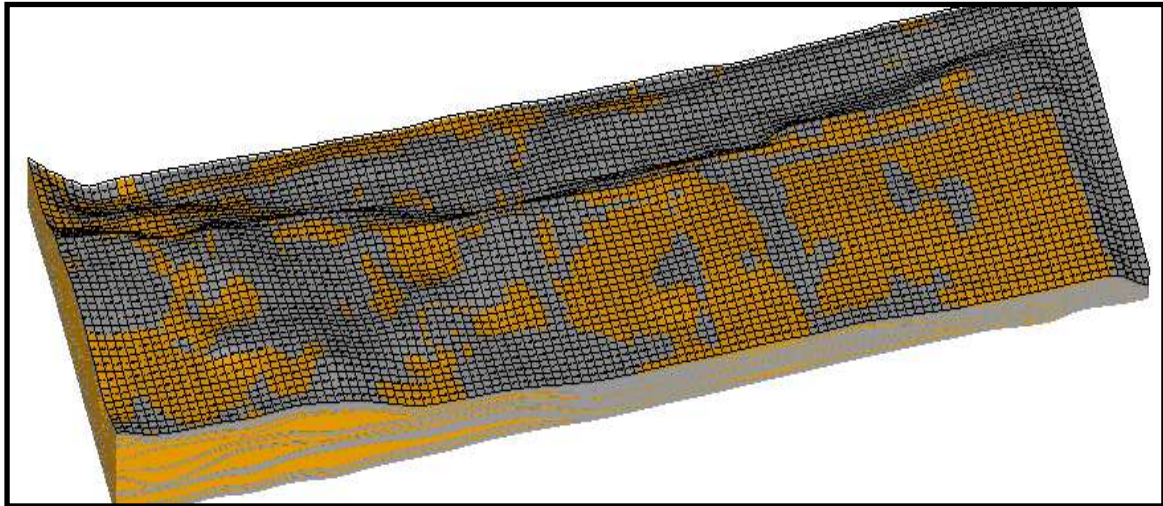
Слика 2.6. Пресек блок модела (Surpac)



Слика 2.7. Издвојени блокови рудног тела обојени према средњем садржају (Surpac)

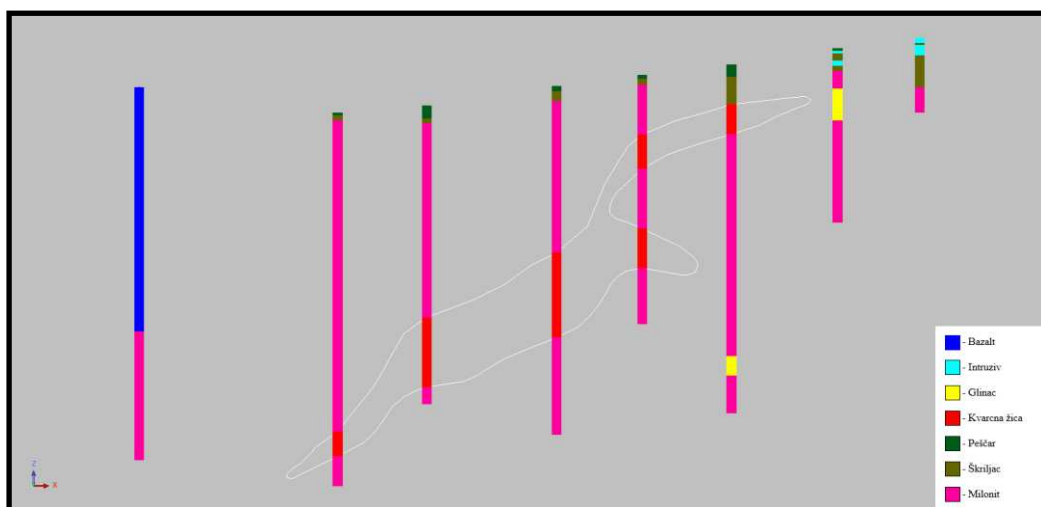
Геолошки гريد модели се користе за интерпретацију слојевитих лежишта, односно лежишта чије је пружање у ХУ равни знатно веће од дебљине. Код гريد модела, слојеви су представљени серијом међусобно зависних површи (гридова). Ове површи креиране су од правилне мреже где свака тачка пресека има своју Х и У координату, као и елевацију или неку квантитативну вредност. Како површи којима се моделирају слојеви немају дебљину, моделирање се врши у 2D простору. Приказ гريد модела лежишта угља дат је на слици 2.8.



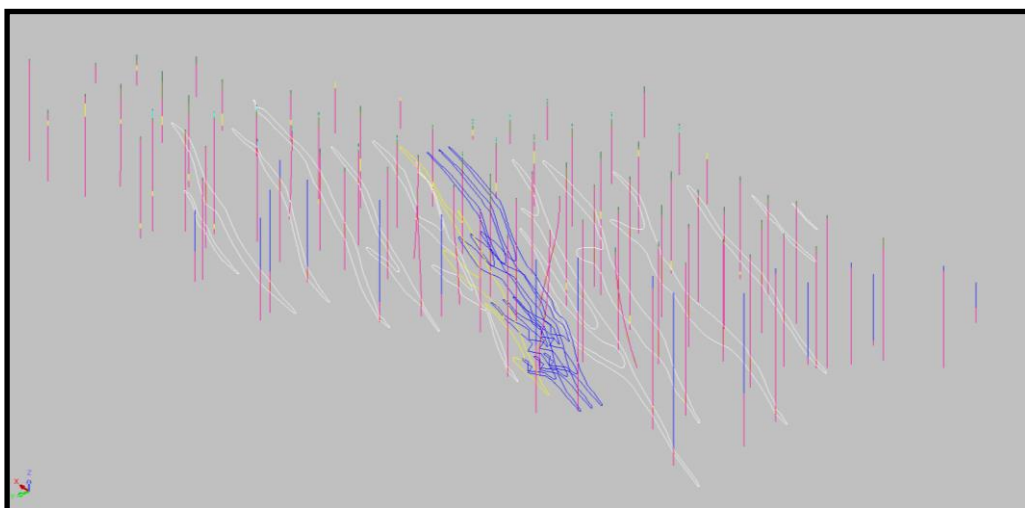


Слика 2.8. Геолошки грид модел лежишта угља (Стевановић Дејан: Оптимизација и планирање површинских копова стохастичким моделима, докторска дисертација, ментор Проф. др Никола Лилић, Рударско – геолошки факултет, 2015. година)

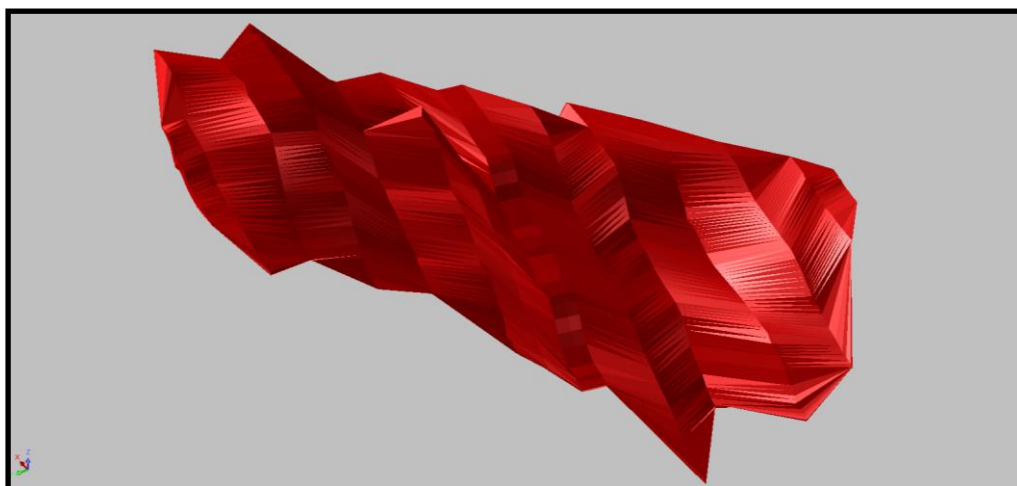
Битна разлика између ова два типа дигиталног модела је у принципу моделирања. Код блок модела, интерпретација геометрије рудног тела је заснована на мануелној дигитализацији великог броја профила чиме се добија солид рудног тела, што представља експлицитан начин моделирања. Имплицитан начин моделирања се користи код грид модела, где се рудно тело добија методом интерполације. Неопходно је набушене узорке сврстати према припадајућим слојевима и након тога геометрија слоја између бушотина формира се аутоматски. Предност има ова метода будући да тражи доста мање времена и напора. Мана је што се може користити искључиво за слојевита лежишта.



а) дигитализација појединачних профила



*б) мрежа дигитализованих профила*

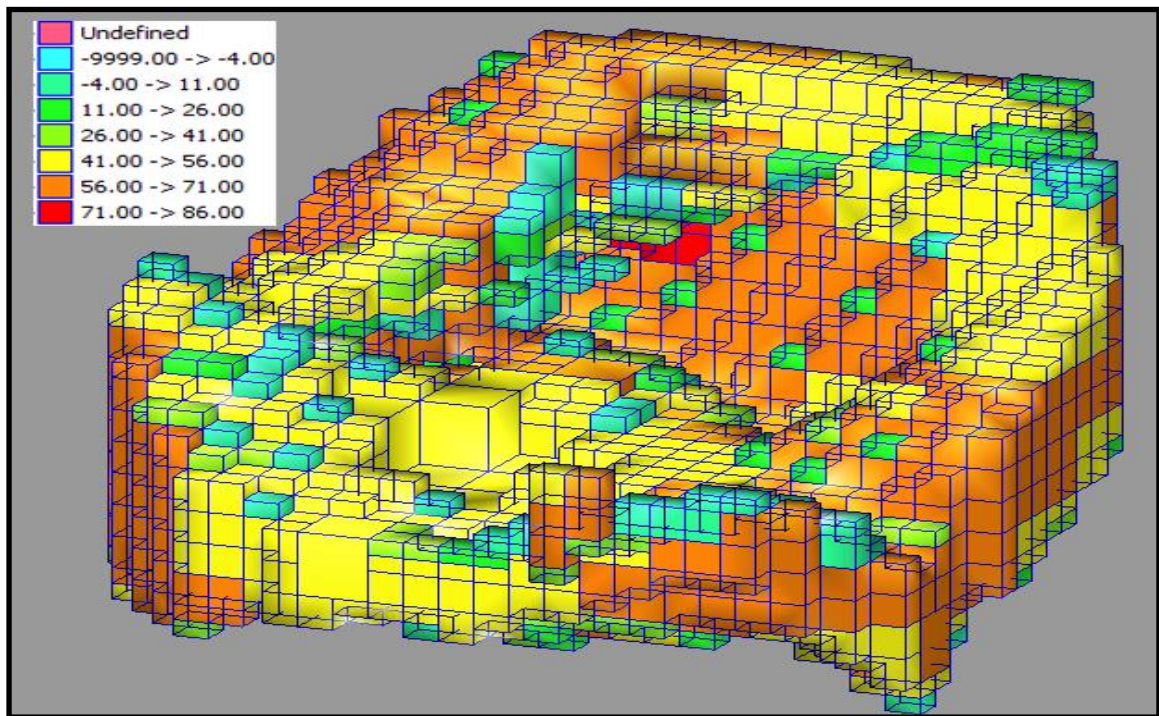


*ц) формиран солид рудног тела*

*Слика 2.9. Методологија експлицитног моделирања (Surpac)*

### **Економски блок модел**

Економски блок модел настаје када се у геолошки блок модел унесу параметри оптимизације који дају економску вредност свим блоковима. Има за циљ да се за сваки блок израчуна нето вредност у случају његовог откопавања и на основу те економске вредности врши оптимизација границе копа. Параметри неопходни за формирање економског блок модела дати су у поглављу 2.2.1. овог рада.



-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
70.15	70.15	69.77	69.77	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
70.15	70.15	69.77	69.77	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
81.42	81.42	78.88	78.88	77.84	77.84	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
81.11	81.11	78.88	78.88	57.13	57.13	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
81.11	81.11	78.88	78.88	15.71	15.71	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
				-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
				17.69	17.69	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
85.97		84.66		85.77	85.77	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
				84.52	84.52	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
79.86		81.19		84.52	84.52	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
67.36	67.36	69.15	69.15	73.16	73.16	-4.00	-4.00	15.15	15.15	-4.00	-4.00	-4.00
67.36	67.36	32.07	32.07	-4.00	-4.00	78.41	78.41	75.62	75.62	67.90	67.90	-4.00
31.18	31.18	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	29.20	29.20	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	12.10	12.10	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	70.97	70.97	76.75	76.75	73.43	73.43	73.43
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	62.46	62.46	63.80	63.80	63.80
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	11.86	11.86	-4.00	-4.00	-4.00
-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00	-4.00

Слика 2.10. Економски блок модел – блокови груписани према економској вредности блока (Стевановић Дејан: Оптимизација и планирање површинских копова стохастичким моделима, докторска дисертација, ментор Проф. др Никола Лилић, Рударско – геолошки факултет, 2015. Година)

### Оптимизација граница копа

Дефинисање граница копа се своди на дефинисање контуре која ће донети највећи профит и представља једну од најбитнијих одлука у развоју пројекта. Будући да површински коп представља највреднији објекат у

рударском пројекту као и због чињенице да у великој мери утиче на све остале елементе планирања. Проблем оптимизације изискује сложену анализу у којој фигурише велики број параметара од којих су многи непознати или неизвесни. Из тих разлога оптимизација граница копа је по правилу дуг и итеративан процес.

Постоји доста развијених метода које се баве овом проблематиком и могу се поделити на:

- Ручне методе
- Рачунарске методе
- И комбиноване методе

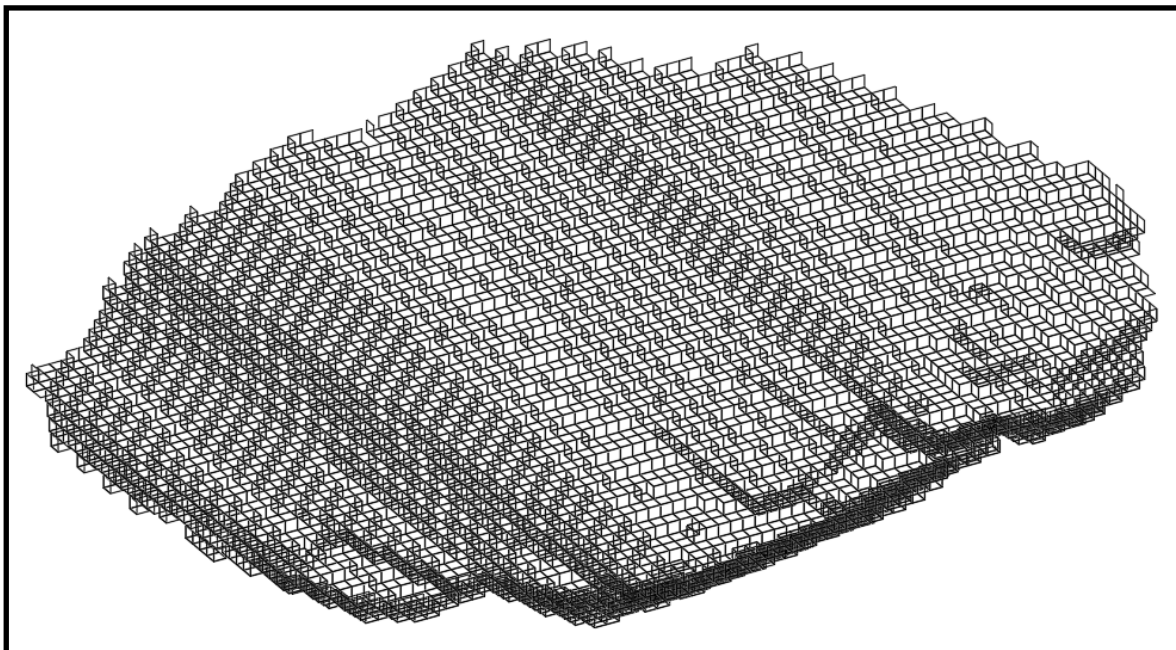
Ручне методе се заснивају на цртању великог броја профила и захтевају доста итерација што оставља доста простора за грешку. Највећа мана је што не гарантује оптималну контуру. Због наведених недостатака и доста мануелног рада ове методе се јако ретко користе и то у случајевима када је познат велики број параметара, а лежиште геолошки просто. Детаљан опис ручних метода добро је документован од стране *Hustrulid W.* и *Kuchta M.* (1998).

Рачунарске методе се заснивају на комплексним математичким алгоритмима у саставу специјалних рударских софтвера. У почетку, алгоритми нису гарантовали оптимално решење све док није развијена *Lerchs-Grossmann* (LG) метода (*Lerchs and Grossmann, 1965*) која гарантује оптимално решење за задате параметре. Данас се та метода сматра индустријским стандардом. Заједничко за све рачунарске методе је то што се прорачун базира на економском блок моделу за који је неопходна велика количина података. Из тога произилази да се проблем оптимизације рачунарским методама своди на дефинисање улазних података. Главна мана ових метода је то што не могу да одговоре на нестандартне захтеве оптимизације које су узрок специфичности сваког лежишта. Детаљнији опис LG методе дат је у поглављу 2.4.1.

Комбиноване методе спајају врлине претходне две методе и превазилазе мане истих. Заснивају се на проналажењу оптималног решења рачунарским

методама и даљем ручном кориговању у циљу прилагођавања специфичним захтевима пројекта.

Резултат оптимизације копа је контура која за дати сет параметара има највећу могућу вредност. Оптимална контура настаје издвајањем блокова из економског блок модела због чега има карактеристичну грађу (слика 2.11.)



Слика 2.11. Артефакт блок модела приказан у AutoCAD-у

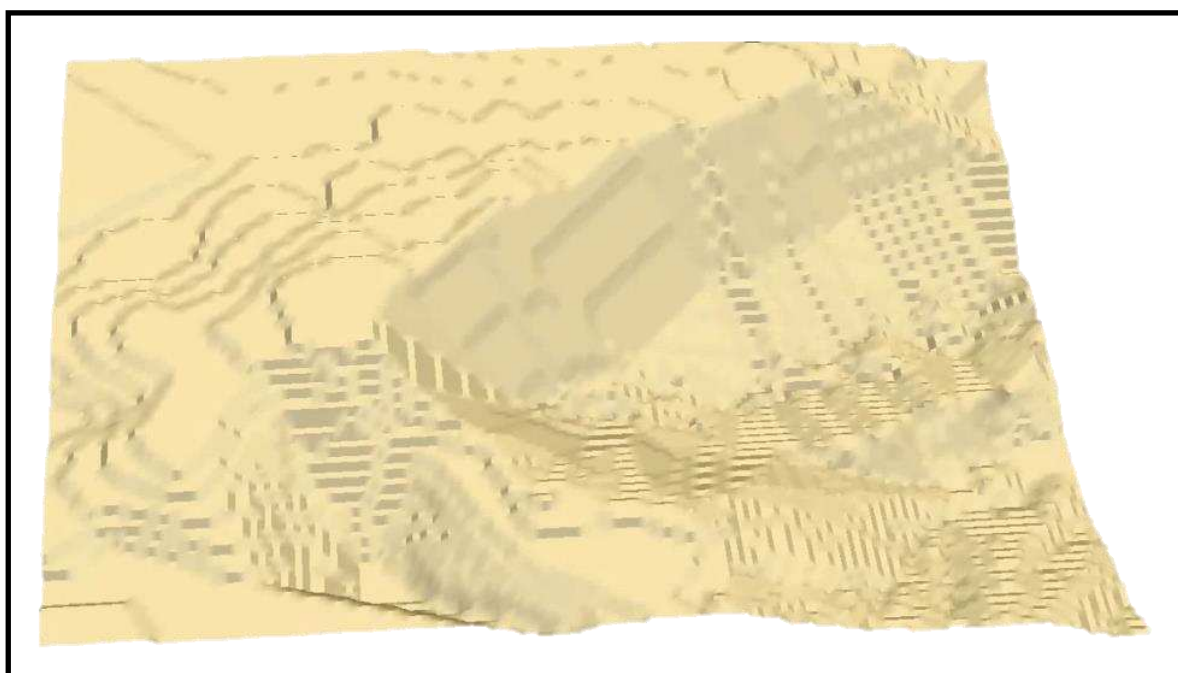
### **2.3.1. Анализа контура на основу фактора прихода (pit-by-pit график)**

Током процеса оптимизације, поред оптималне, конструише се и низ додатних контура. Те контуре су такође оптималне, али за други сет података. Најчешће се мења само један параметар, што за резултат даје оптималне контуре другачије од оне почетне. На овај начин се спроводи анализа осетљивости контуре копа на промену одређеног параметра (најчешће се мења само један).

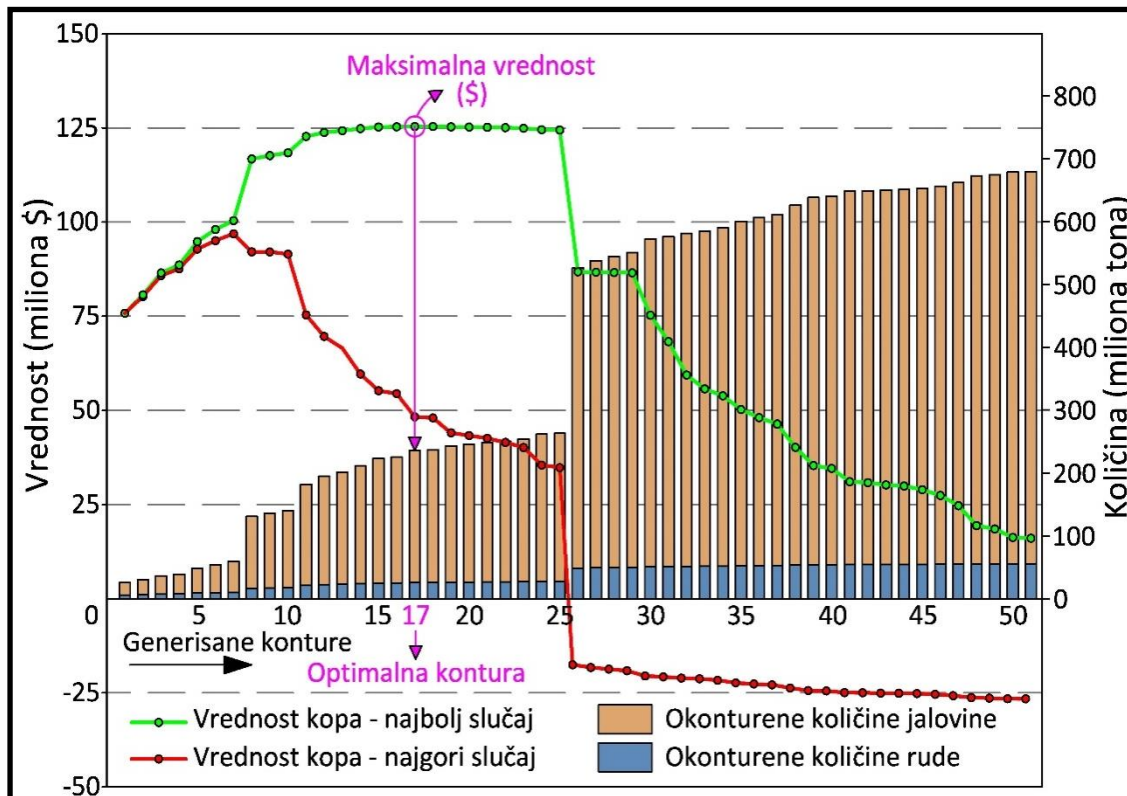
Параметар на који се најчешће ради анализа осетљивости је цена корисне минералне сировине. Ова анализа је посебно занимљива јер је цена параметар који је најтеже предвидети и највише се мења током времена. Цена се мења увођењем фактора прихода ( $F_p$ ). Овај фактор је заправо коефицијент који се множи са подразумеваном (очекиваном, номиналном) ценом. Може имати

вредности веће или мање од 1, што за последицу има креирање већих или мањих оптималних контура. У пракси се најчешће фактор мења за одређен корак промене, чиме се добија фина дискретизација, а коначан број контура је произвољан.

Ова анализа даје решења, како у аналитичком облику (*Pit-by-pit* график, слика 2.13.), тако и решења у графичком облику (генерисане 3д контуре слика 2.12.)



Слика 2.12. 3D контура копа (Whittle)



Слика 2.13. Pit-by-pit график (Стевановић Дејан: Оптимизација и планирање површинских копова стохастичким моделима, докторска дисертација, ментор Проф. др Никола Лилић, Рударско – геолошки факултет, 2015. година)

Pit-by-pit график приказује и упоређује вредности оних контура добијених променом фактора прихода, али као цену користи подразумевану вредност. Из тог разлога, највећу вредност ће увек имати онај коп који је генерисан за  $F_p=1$ , што је у случају графика контура број 17.

На графику се виде укупне количине руде и јаловине у свакој генерисаној контури (стубови на X оси) и промена економске вредности сваке контуре (црвена и зелена крива). Јасно се види да се са повећањем цене минералне сировине повећавају и откопане количине у контури.

Црвена и зелена крива представљају теоретске оквире који дефинишу најмању и највећу вредност рударског пројекта, односно најбољи и најгори случај (енгл. *best and worst case scenario*). Теоретски максимум би био када би откопавали блокове редоследом од највреднијег до оног најмање вредног. На тај начин се смањује ефекат дисконтовања новца и тиме повећава економска вредност пројекта. Најгори сценарио тј. теоретски минимум би био када би се

откопавање вршило етажу по етажу, од највише ка најнижој, и тај случај је означен црвеном линијом на графику.

Будући да је немогуће постићи максималан економски ефекат јер најбољи случај не узима у обзир просторна и организационо-технолошка ограничења, треба тежити да развој рударских радова буде конструисан тако да буде што ближи теоретском максимуму.

Максимизација профита није увек главни циљ пројекта, стога овај график омогућује разматрање неке друге контуре која има мању вредност, али захвата веће количине материјала и самим тим има и дужи век трајања, или неку контуру са краћим веком трајања што доноси бржи поврат новца. Коначна одлука зависиће од инвеститора и главних циљева пројекта.

Овим се уводи концепт да вредност контуре не зависи чисто од разлике вредности руде и трошкова производње већ зависи и од редоследа откопавања, што је последица дисконтне стопе.

## 2.4. Софтвер за оптимизацију

Све сиромашнија и све неприступачнија лежишта представљају велики изазов за инжењере. То је условило велики развој рачунарских софтвера последњих 40 година. Главни фокус скорашњих студија у области оптимизације је на проналажењу нових алгоритама који су:

- боље оптимизовани и имају краћа времена израчунавања, како би могли да се користе и за већа лежишта,
- у прорачуне укључују рударске параметре као што су променљиви нагиби косина, временска вредност новца, одређени ризици и неизвесности, квалитет и количина планираног материјала (*Dowd* и *Onur*, 1993),
- лакши за програмирање и простији за разумевање.

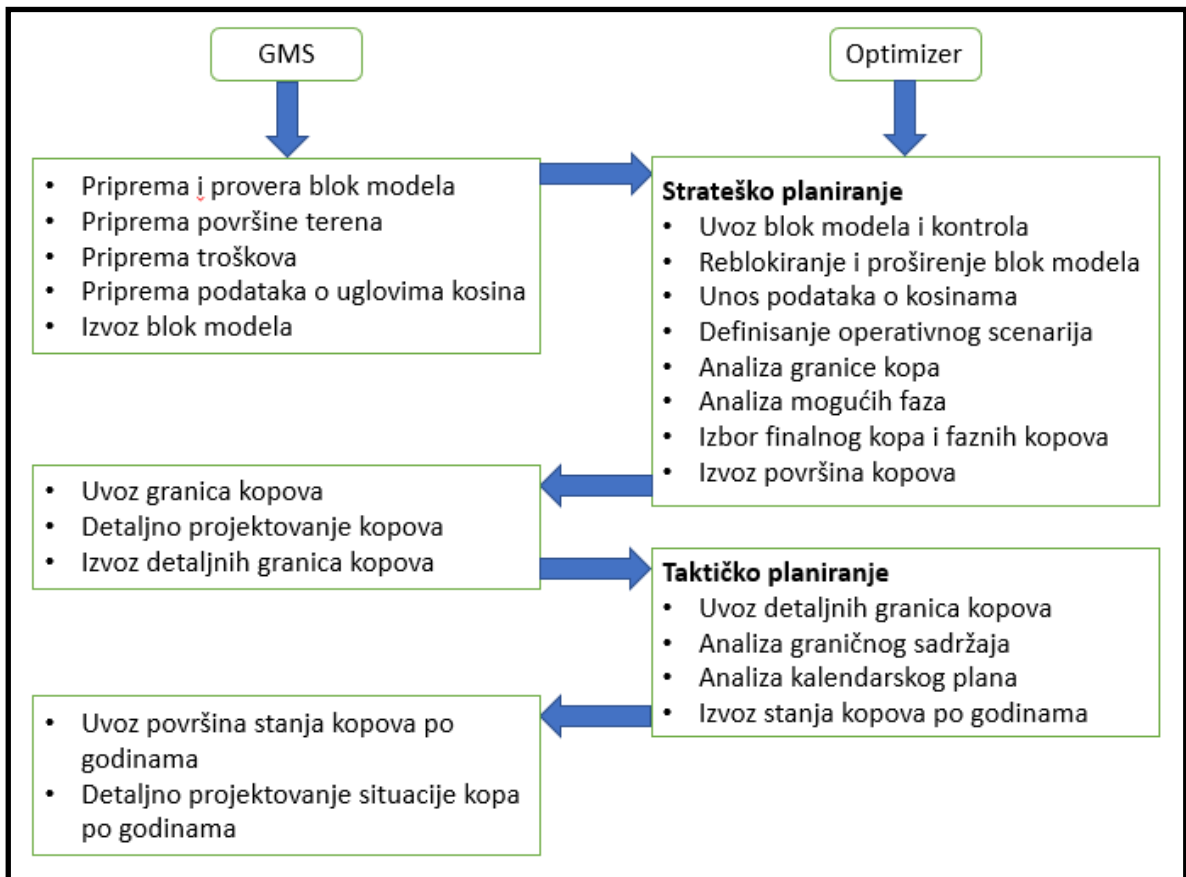
У ове софтвере спадају читав низ програма који се користе за припрему полазних података (процена искоришћења лежишта и прераде, процена трошкова откопавања и трошкова прераде, одређивање нагиба косина). Међутим, за решавање питања концепције површинског откопавања користи се



двострука софтверска подршка. Ту спадају специјални рударски софтвери који се често означавају као *GMS (General Mining System)*, од којих су најпознатији *Surpac, Minex, Vulkan, Datamine, Micromine* и други.

Ови софтвери служе за 3D моделирање лежишта, пројектовање копова, одлагалишта, подземних рударских објеката, прорачуне маса и др. То им даје могућност да убрзају и унапреде класичне поступке у процесу планирања копова. Код лежишта где нема пуно просторних варијација у садржају корисне минералне сировине, ови програми пружају довољну подршку.

Са друге стране, код лежишта са израженом просторном варијацијом квалитета минералне сировине (лежишта метала), процес оптимизације је знатно сложенији. За таква лежишта постоје два конкурентна софтвера: *Whittle* и *NPV Scheduler*. Ови софтвери решавају појединачне кораке у процесу планирања и дају им бројчана решења уз ограничен графички приказ. Овај процес започиње у *GMS* софтверима, где се врши припрема модела лежишта и осталих пратећих података, а затим се ти исти подаци пребацују у софтвере за оптимизацију. Након нумеричке обраде у поменутиим софтверима, добијени подаци се извозе у *GMS* софтвере, где се врши графичка обрада и пројектовање решења. Приказ тока оптимизације дат је на слици 2.14.



Слика 2.14. Дијаграм тока оптимизације

### 2.4.1. Методе оптимизације

До сада је развијено више метода оптимизације, од чега су већу употребу имале следеће две методе:

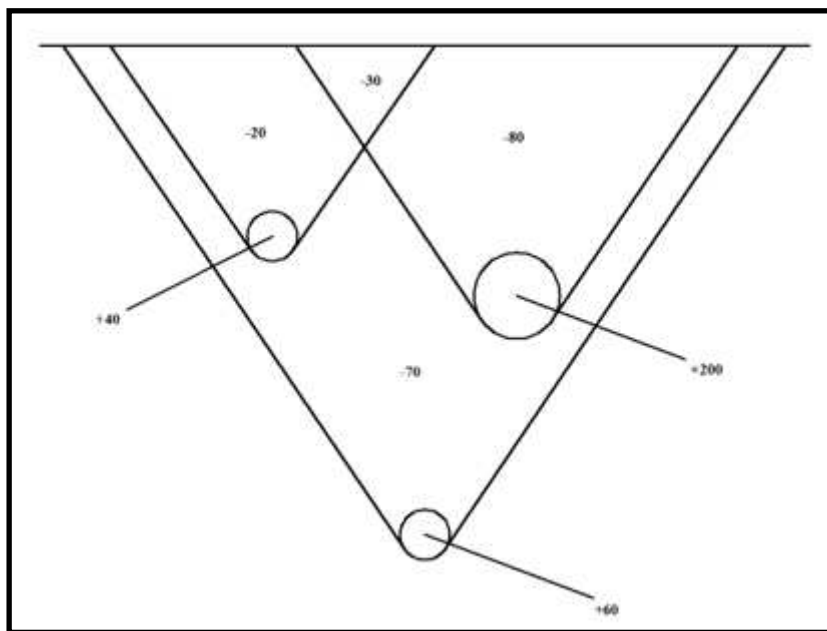
- Метода „пливајућег“ конуса – раније широко коришћена, а данас већином напуштена метода
- *Lerchs-Grossmann* метода – тренутно водећа метода

#### Метода „пливајућег“ конуса

Метода пливајућег конуса (енгл. *floating cone method*) је веома једноставна и брза метода, која је због своје лакоће извођења била широко примењивана. Све већи развој компјутерске моћи учинио је рад комплекснијих алгоритама знатно бржим, што је доста ограничило примену методе пливајућег конуса будући да је њен главни адут била брзина извођења.

Име је добила по конусу који се креће (плива) од блока до блока економског блок модела. Конус је обликован тако да прати угао нагиба етажа у

различитим правцима. У оквиру сваког конуса се рачуна се укупна нето вредност и ако је позитивна, то значи да је цео простор конуса исплатив за откопавање. У случају да је вредност негативна, то значи да блокови у оквиру њега нису исплативи за експлоатацију и конус се сели на следећи блок. Критеријум за исплативост је  $\sum NV \geq 0$ . Када се пронађе први блок који испуњава критеријум исплативости, почев од највише етажe, сви блокови у конусу се означавају као исплативи за откопавање и они чине иницијалну контуру копа. Сваки следећи позитиван конус се придодаје на овај иницијални и проширује границе копа. Овај поступак се понавља све док дође до тога да нема ни један додатни блок за откопавање, односно док алгоритам не прође сваки блок са позитивном вредношћу. Пример методе конуса приказан је на слици 2.15.



Слика 2.15. Извлачење конуса са три рудна тела

На слици 2.15. приказан је пример методе пливајућег конуса са три рудна тела. Алгоритам ће креирати конус прво у рудном телу +40 и израчунати да није рентабилно за откопавање јер је укупан збир негативан ( $40-20-30 = -10$ ). Затим конус прелази на рудно тело +200 и добија укупан збир од +90, што значи да је тај конус исплатив за откопавање и алгоритам га уклања из модела. Након овог, програм прелази на последње рудно тело и добија укупан збир од +10 ( $60-70+40-20$ ) што значи да је конус исплатив за експлоатацију. Укупна вредност

сада износи +100, али то није оптимално решење. Вредност трећег рудног тела је +60 а да би се до њега дошло потребно је откопати јаловину вредности -70 што даје негативан збир. Оптимално решење би било да, када се откопа рудно тело +200, да се алгоритам врати на рудно тело +40, које је првобитно било непрофитабилно, и поново га израчуна. У том случају, треће рудно тело не би било исплативо за експлоатацију, а крајња вредност копа би била +110 што је и оптимално решење. Проблем је што временски може бити јако захтевно враћати се на почетак после сваког профитабилног конуса, па неки софтвери који користе овај алгоритам штеде време и не враћају се на претходно израчунате руде.

Поступак ове методе је прост и лако разумљив, али као што је приказано на претходном примеру, не гарантује оптималну контуру за разлику од следеће методе која се и доста више примењује.

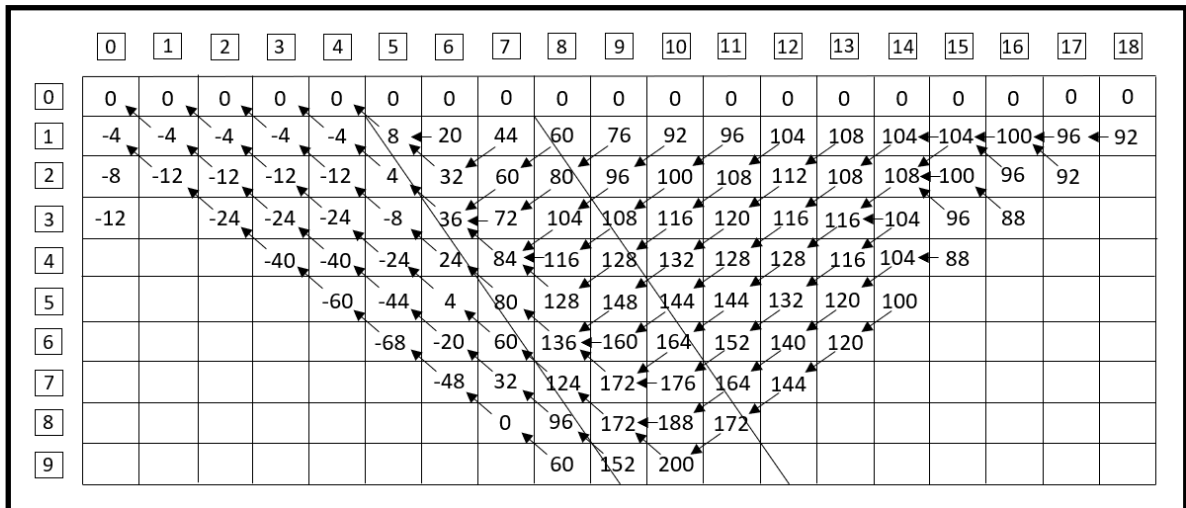
### ***Lerchs-Grossmann* метода**

Ова метода као улазне податке узима блок модел рудног тела са унетим економским вредностима блокова (слика 2.16.) и на основу тих вредности одређује које блокове треба откопавати како бисмо постигли максималну вредност пројекта. Метода је најпре развијена као 2D графичка метода за ручну употребу на вертикалним пресецима.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2	-8	-8	-8	-8	-8	8	24	24	8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
3	-12		-12	-12	-12	4	32	36	20	8	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	
4				-16	-16	0	32	48	32	0	-16	-16	-16	-16	-16	-16			
5					-20	-4	28	56	44	12	16	-20	-20	-20	-20				
6						-8	24	56	56	24	-8	-24	-24	-24					
7							20	52	64	36	4	24	-28						
8								16	48	64	48	16	-16	-32					
9									60	56	28	-4	32						

Слика 2.16. Пресек економског блок модела са кумулативним сумама

Састоји се у томе да се на вертикалном пресеку исцртају могуће границе копа почевши од најплиће ка најдубљој (слика 2.17.). Затим се сумирају вредности блокова за сваку границу тј. контуру и усваја се она која даје највећу вредност. Та контура представља оптималну контуру за дати профил, а поступак се понавља за више вертикалних и попречних пресека. Пеглањем и планирањем свих добијених контура добијамо завршну контуру границе копа.



Слика 2.17. Сумирање вредности по линијама контуре копа

Ова 2D *Lerchs-Grossmann* метода је временом превазиђена и унапређена у 3D верзију. Највише доприноса су дали *Zhao* и *Kim* (1992), који су знатно поједноставили процес проналажења оптималне контуре и убрзали га до три пута. Такође, битна унапређења увео је и *Whittle* (1999) и тиме побољшали перформансе и до десет пута.

### **3. ПРИМЕР ДЕФИНИСАЊА РАЗВОЈА РУДАРСКИХ РАДОВА – ПРИМЕР ПК „БОГУТОВО СЕЛО – УГЉЕВИК ИСТОК 1“**

#### **3.1. Опште о лежишту, инфраструктури и географији терена**

Лежиште угља „Богutowo Село и Угљевик Исток 1“ има неправилан облик и протеже се од Брезиног поља на северу до Мезграје на југу, и од Симића на истоку до Амбарина на западу. Експлоатационо поље је подељено на три ревира (Богutowo село север, Богutowo село југ и Угљевик исток 1) и захвата укупну површину од 18.114.227,915 m<sup>2</sup> (18,11 km<sup>2</sup>), тј. 1.811,423 ha. Главни приступ лежишту „Богutowo село“ је из правца севера са магистралног пута Бијељина-Тузла, док је приступ лежишту „Угљевик исток 1“ и са севера од поменутог магистралног пута, као и од југа од правца Мезграје

**Остали рударски објекти** – плато индустријског круга је израђен за потребе површинског копа „Богutowo село“ и лоциран је са западне стране завршне контуре постојећег површинског копа у оквиру којег су управна зграда, објекти друштвеног стандарда, плато за прање и подмазивање опреме, радионице за одржавање опреме, постројење за прераду угља (секундарно дробилично постројење), бензинска пумпа за снабдевање опреме горивом, складишта за резервне делове, уља и мазиво. Овде треба напоменути да ће сви наведени постојећи објекти задржати своју локацију и функцију и у будућем периоду извођења рударских радова на површинском копу „Угљевик исток 1“.

Приказ платоа индустријског круга и рударских објеката дат је на слици 3.1.



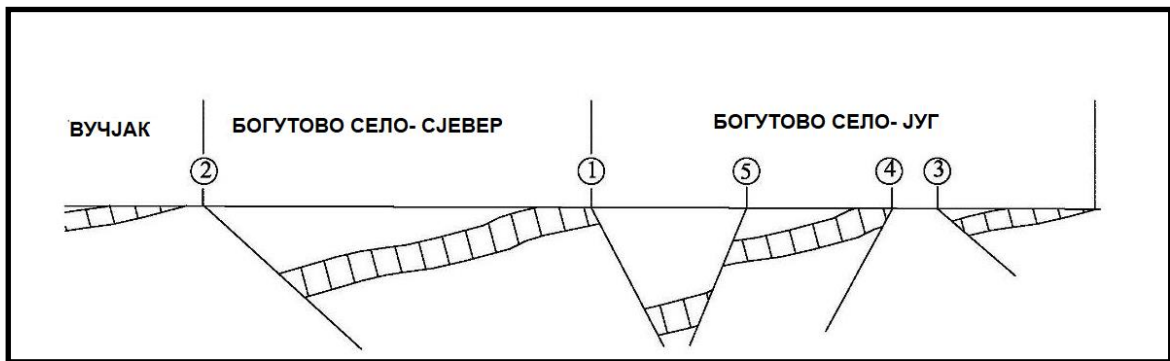
Слика 3.1. Географски приказ рударских објеката (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

### 3.1.1. Опште о лежишту

Лежиште угља „Богутово село и Угљевик исток 1“ подељено је раседима на више блокова који се истражују и експлоатишу као засебни ревири. Северни ревир представља средишњи део (блок) лежишта, на североистоку је ревир Вучјак, на југу Јужни ревир, а на истоку ревир „Угљевик исток 1“ (западни део некада јединственог лежишта „Угљевик исток“).

Северни ревир представља тектонски блок између „јужног“ и „северног“ раседа, западна граница је делом тектонске, а делом седиментацијске природе, док би источну границу могао представљати расед који одваја блок Угљевик-исток од Северног ревира „Богутово село“. Овај расед данас није граница са источним ревиром, него је она из практичних разлога вештачка.

Генерално посматрано, моноклинална угљоносна јединица са слојевима који падају према северу-североистоку је са два маркантна гравитациона раседа подељена у блокове, при чему дисконтинуитет угљених слојева (вертикална компонента кретања дуж раседа) износи преко 170 m (Слика 3.2.).



Слика 3.2. Приказ лежишта „Богутово село“ са раседима (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

**Ревир** „Богутово село – север“ припада простор између „северног“ и „јужног“ раседа, на истоку до дијагоналног раседа који представља границу према ревиру Угљевик – исток, а на западу до исклињавања.

**Рудна тела** представљају три сложена слоја: Главни угљени слој (ГУС) и први и други кровински угљени слој. Са становишта експлоатације односно рудних резерви, изразито највећи значај има ГУС, далеко мањи два кровинска слоја, док у „висинској кровини“ ретко кад имају неки економски значај.

Најчешћа растојања, у непоремећеним условима, између главног и првог кровинског слоја износе 30-40 m, а између првог и другог слоја 20-25 m.

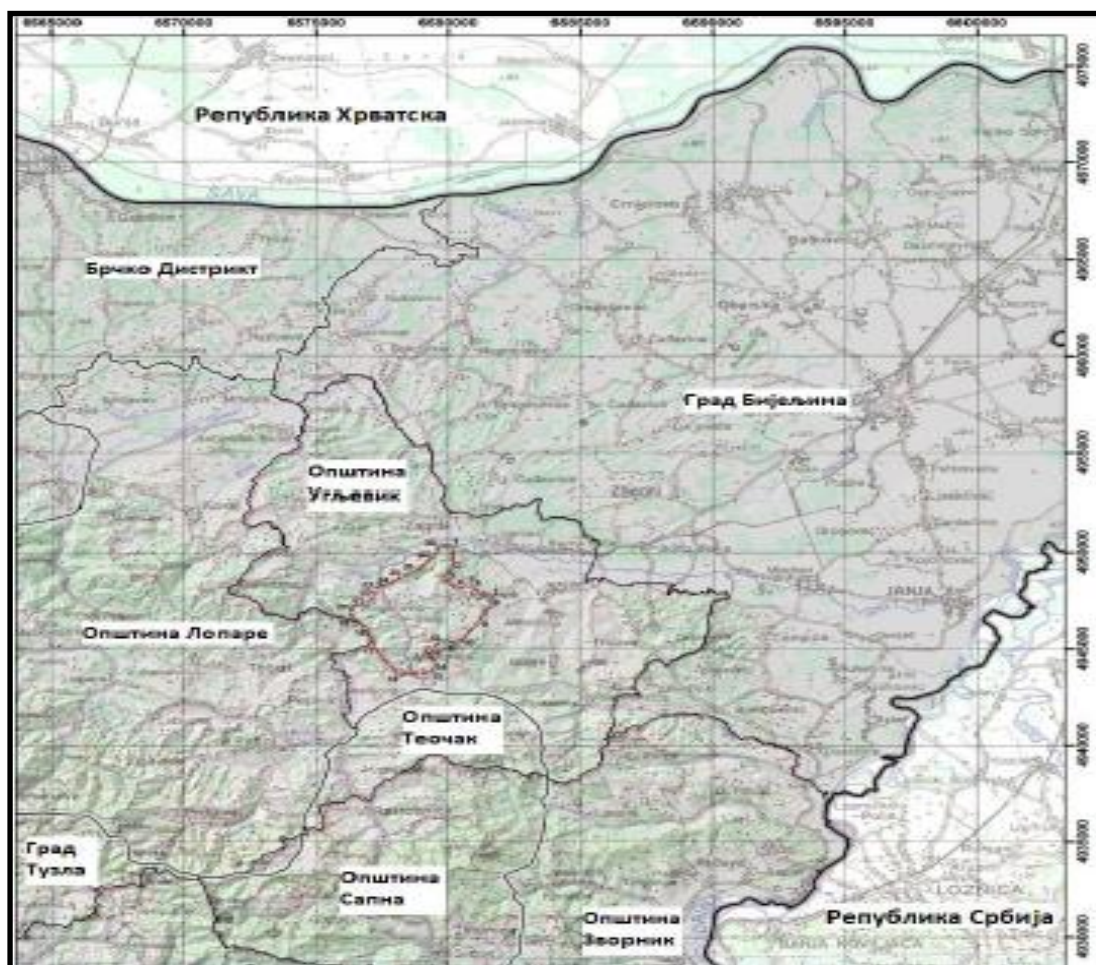
Сви угљени слојеви (и цела формација) углавном благо падају према ССИ. Сва три слоја су, поред граничних раседа, деформисана и различитим системима раседа у оквиру ревира, који су поделили рудна тела на већи број блокова различитог ранга.

### 3.1.2. Географија терена и инфраструктура

Подручје општине Угљевик (на чијој територији се налазе лежишта „Богутово село“ и „Угљевик исток 1“ се налази у североисточном делу Републике Српске. Смештено је на источним падинама планине Мајевице, односно на крајњим падинама које се спуштају према Семберијској равници и Брчанском платоу. Са северне и источне стране се граничи, већим делом са брежуљкастим подручјем општине Бијељина и, мањим делом, са њеним равничарским подручјем. Са западне стране, граница се простире брдовитим



делом општине Лопаре. Јужна граница се протеже такође, брдовитим делом општина Зворник и Теочак (слика 3.3.).



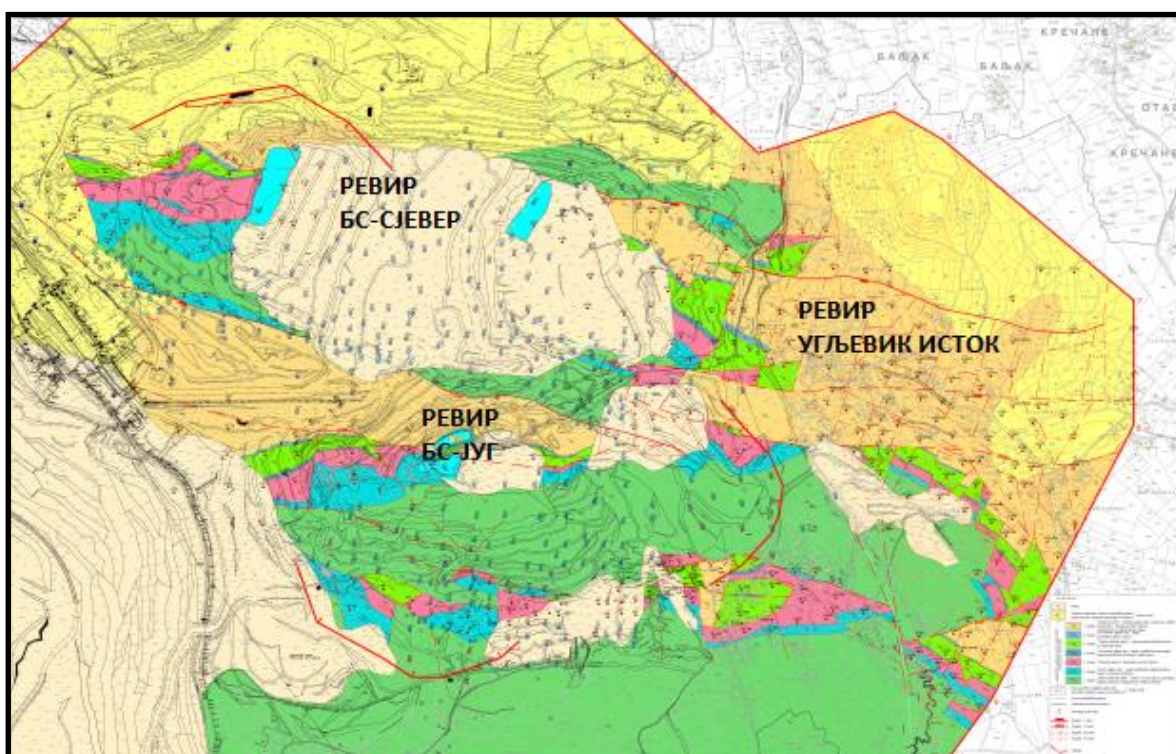
Слика 3.3. Географска карта лежишта „Богутово село“ (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

Рудник и термоелектрана Угљевик су повезани магистралним путем са Бијељином (око 21 км) и Тузлом (око 49 км), а преко ових градова и са осталим градовима у окружењу у Босни и Херцеговини, Србији и Хрватској. Други видови саобраћајног повезивања не постоје (авио саобраћај, железнички саобраћај и слично). Снабдевање рудника и термоелектране енергијом је из сопствених извора, а водом из акумулације у Растошници и са бунара, који су у функцији водоснабдевања Угљевика. Уз регионални пут Бијељина-Тузла, у непосредној близини термоелектране, развио се Угљевик (Нови), док је старо рударско насеље у оквиру ревира „Угљевик исток 1“ и оно је највећим делом

исељено и експроприсано. На територији општине Угљевик има врло значајних и рентабилних природних ресурса, као што су пољопривредне, шумске и водене површине, као и значајне површине минералних и неминералних сировина. Оне имају различит стратешки значај за развој општине Угљевик.

### 3.1.3. Геолошке карактеристике лежишта

Лежиште угља „Богутово село и Угљевик исток 1“ представља приближно средишњи део генетски и депозиционо јединственог Угљевичког угљоносног простора (сада подељен на два дела палеогеним седиментима) који се налази између Тобута на западу и Глиња на истоку, затим Забрђа на северу и Прибоја на југу.



Слика 3.4. Геолошка карта лежишта „Богутово село“ (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

Конкордантно на црвеним и зеленим подинским глинама исталожен је подински угљени слој. Представља другу фазу седиментације у слатководној доњомиоценској серији седимената коју карактерише постојање повољних климатских, палеофлористичких и еколошких услова за формирање угљева.

Подински угљени слој је због свог економског значаја назван и главним (ГУС). Ово је главни продуктивни део лежишта угља. Поред изразито доминантног угља, овде се подразумевају и преслојавајуће угљевите глине и лапорци, затим сиве угљевите глине непосредно испод угља и кречњаци у виду завршног слоја овог пакета.

Главни угљени слој је редовно сложен угљени слој. До сада је раслојавање, до образовања више угљених слојева (у смислу како се термин „слој“ употребљава код истраживања угља), запажено на крајњем западном делу Северног ревира где је иначе раслојавање најинтензивније.

У јужном ревиру „Богутовог Села“ подински (главни) угљени слој је континуирано развијен на читавом простору и то северно до великог раседа који одваја јужни од северног ревира, јужно до границе са ревиром „Богутовац“, источно до ревира „Стара јама“ и западно до изданачке зоне. Набушена дебљина овог слоја се креће од 0,5 m у изданачкој зони до 42,50 m.

У ревиру Богутово село – југ, променљивост дебљине главног угљеног слоја је већа од оне у северном, јер овај ребир допире на југу јако близу изданачкој зони, где се дебљина подинског угљеног слоја смањује. Најмања набушена дебљина овог слоја у ревиру Богутово село – југ је 3,40 m, док највећа износи 42.50 m.

И на источном делу истражног простора „лежиште Угљевик исток 1“ овај пакет је представљен угљеним слојем са непродуктивним „јаловим“ прослојцима лапоровитих и угљевитих глина, жутосмеђим и тамносивим фосилизованим лапорцима са тракама угља и слојем силификованог кречњака до карбонатно лапоровитог рожнаца. Максимална дебљина главног угљеног слоја износи 27,20 метара, са 24,20 m равног и 21,00 m чистог угља. Генерално гледано, читава серија слатководних седимената, па и главни угљени слој и онде имају правац залегања према северу-североистоку, до им је просечни угао залегања око 23°.

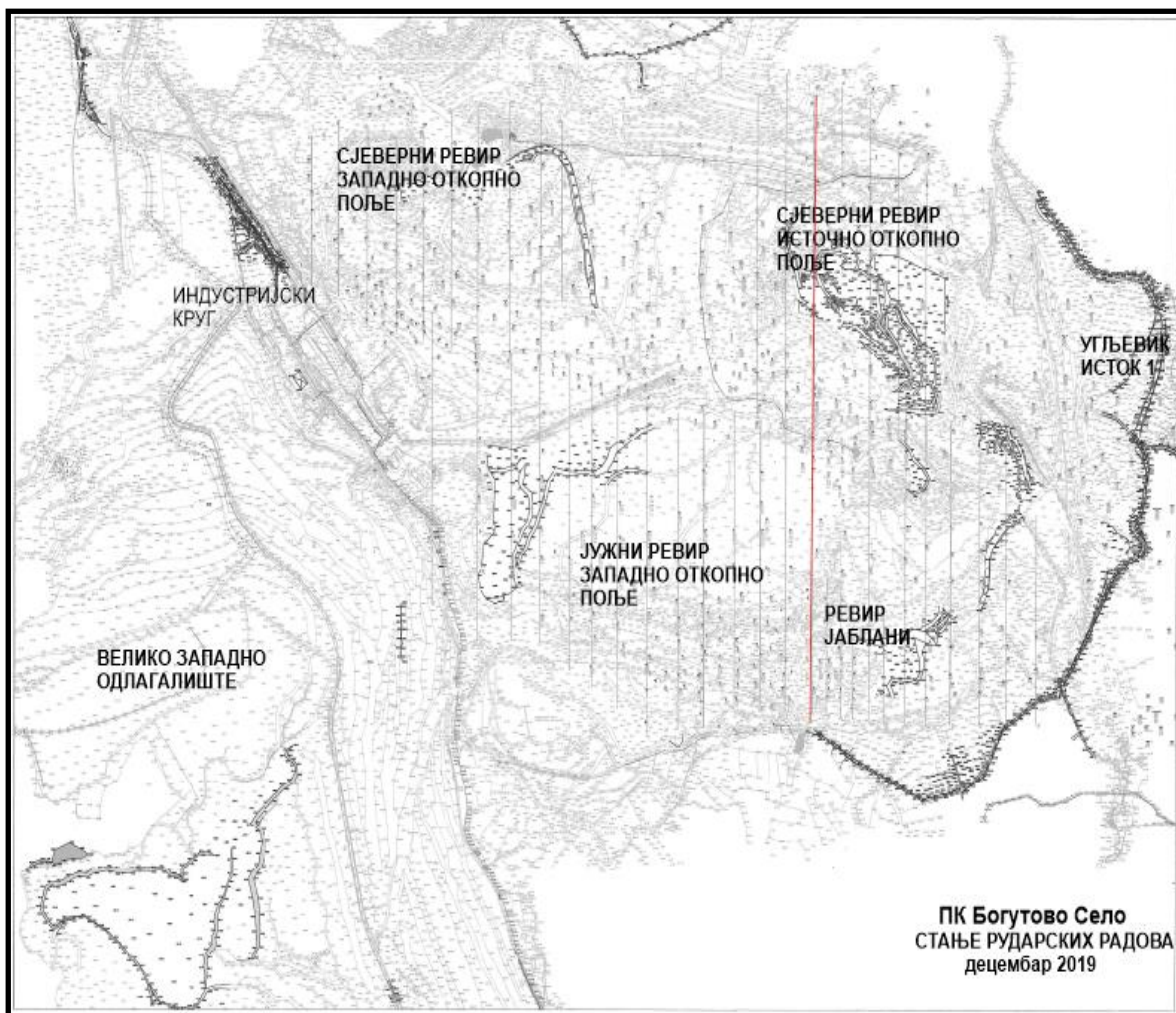
### 3.2. Опис досадашњих рударских радова

Постојеће експлоатационе резерве угља на ПК „Богутово село“ – Угљевик обезбеђују рад ТЕ Угљевик инсталисане снаге 300 MW са пројектованим годишњим капацитетом површинског копа од 1,837 милиона тона угља и до 11,5 милиона  $\text{m}^3$  откривке од 2035. године. Транспорт угља од откопних поља, на којима се налазе хидраулични багери запремине кашике 7-15  $\text{m}^3$ , до објекта дробиличних постројења врши се камионима различите носивости. У дробиличним постројењима се изводи двостепено дробљење угља на гранулацију -30 mm. Након тога, угаљ се транспортује транспортером са гуменом траком до депоније термоелектране.

Рудник Угљевик односно површински коп „Богутово село“ улази у завршни период експлоатације и ради у веома сложеним условима радне средине у погледу структурно-тектонских односа у лежишту и постојања геотехничких проблема везаних за појаве клизишта на свим до сада изведеним завршним косинама. Овај површински коп је дакле просторно био подељен на три ревира. У „Јужном ревиру“ као и на Западном откопном пољу „Северног ревира“ је до сада вршена експлоатација, а са радом је завршено крајем 2019. године. Радови на експлоатацији угља ће се у наредне две године одвијати на источном откопном пољу „Северног ревира“ и у ревиру „Јаблани“. Експлоатација угља у оквиру постојећег површинског копа „Богутово село“ би се завршила 2021/22 године, до када треба да се обаве све планиране активности за отварање површинског копа „Угљевик исток 1“.

Како је источна косина „Северног ревира“ у завршној фази и улази у простор копа „Угљевик исток 1“, Угљевичка река треба да се поново измести. Из тог разлога извршен је значајан откуп објеката и земљишта који припадају експлоатационом пољу „Угљевик исток 1“. Комплетно насеље Стари Угљевик је исељено и порушено, а деформације према истоку су присутне у значајној мери. У јужном делу лежишта „Угљевик исток 1“ постоје стари јамски радови јаме „Угљевик исток“ који су у јужној изданачкој зони и исти ће бити захваћени експлоатацијом површинским копом „Угљевик исток 1“. Откопани простори површинског копа „Богутово село“ ће се користити за одлагање

откривке са новог површинског копа „Угљевик исток 1“ у фази отварања и експлоатационом периоду. Приказ стања рударских радова приказан је на слици 3.5.



Слика 3.5. Приказ тренутног стања – децембар 2019. (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

### 3.2.1. Тренутно стање рударских радова

Експлоатација угља, која се тренутно одвија на површинском копу „Богутово село“, задовољава потребе угља саме термоелектране „Угљевик“. Површински коп „Богутово село“ са своја три ревира: Северни ревер-западно откопно поље, јужни ревер и северни ревер-источно откопно поље, са још једним подревиром Јаблани у јужном делу треба да заврши са радом до 2022.

године, а радови ће се одвијати у зони „Јаблани“ и источног откопног поља Северног ревира.

Последњих неколико година су радови извођени у Јужном ревиру и делом преосталих количина угља у западном откопном пољу „Северног ревира“, а са крајем 2019. године су они завршени и откопавање угља на простору између прорачунских профила 22-22` и 4-4` је завршено.

Радови на експлоатацији угља на источном откопном пољу „Северног ревира“ и подревиру „Јаблани“ ће представљати прелазни период и стварање свих неопходних услова за обављање рударских радова на површинском копу „Угљевик исток 1“ – откопавање откривке у циљу откривања угља, стварање неопходног простора за формирање унутрашњег одлагалишта и др.

Експлоатација од 2020. године до краја рударских радова на ПК „Богутово село“ подразумева откопавање  $4-4,5 \cdot 10^6$  t угља, при чему ће се планиране количине откопавати у капацитету  $1,69-1,89 \cdot 10^6$  t угља и  $7,55-9,95 \cdot 10^6$   $\text{cm}^3$  јаловине до 2022. године.

При томе планира око  $2 \cdot 10^6$  t угља откопати из подревира Јаблани, а  $2-2,5 \cdot 10^6$  t угља из источног откопног поља северног ревира. Радови би се одвијали на простору између прорачунских профила 4-4` и 0-0`, слика 3.5.

Сва откривка се одлаже на унутрашње одлагалиште ПК „Богутово село“, које ће представљати практично спољашње одлагалиште ПК „Богутово село – исток“, слика 3.5. Одлагалиште Сарије је предвиђено главним рударским пројектом и има капацитет од око  $3,5 \cdot 10^6$   $\text{m}^3$ , али одлагање на тој локацији ће се динамички планирати у складу са реалним условима на терену, чиме ће се ова одлагалишна локација накнадно капацитивно дефинисати (услови на терену отежавају коришћење те локације за одлагање).

### **3.2.2. Приказ система експлоатације**

На избор система експлоатације утиче читав низ природних, техничко-технолошких и економских параметара. За површински коп „Угљевик исток 1“ пројектован је исти систем експлоатације као и на ПК „Богутово село“ односно дисконтинуални систем на откопавању и транспорту откривке (хидраулични

багери кашикари и камиони дампера) и комбиновани систем на експлоатацији угља при чему се на откопавању угља користе хидраулични багери кашикари, а при транспорту камиони до примарног дробиличног постројења, затим транспортери са траком до секундарног дробиличног постројења и даље ка термоелектрани.

Планирање система експлоатације се заснива на коришћењу постојеће расположиве опреме која се користи на површинском копу „Богутово село“, а набавка нове опреме је условљена дотрајалошћу старе и потребе за новим капацитетима опреме и омогућавањем процеса експлоатације зависно од физичко-механичких карактеристика радне средине, планираног (потребног) капацитета на угљу и откривци, структурних карактеристика лежишта, елемената залегања и моћности угљених слојева.

Систем површинске експлоатације на ПК „Богутово село“ и касније на ПК „Угљевик исток 1“ чине два основна производна процеса:

- Производни процес на откривци, који се састоји из следећих технолошких операција: откопавање, утовар, транспорт и одлагање
- И производни процес на угљу, који подразумева следеће операције: откопавање, утовар, транспорт, припрема и отпрема.

Камионски транспорт и одлагање откривке су вршени на западном спољашњем одлагалишту, које је у односу на контуру копа лоцирано са југозападне стране уз један мањи део маса које је одлаган на северно одлагалиште.

Производни процес на угљу је подразумевао директно откопавање и утовар целокупних маса. Транспорт угља унутар копа (од етаже до примарне дробилице која је полустационарна и лоцирана унутар контуре копа) је камионски, а од примарне дробилице до секундарне дробилице, која је лоцирана унутар платоа индустријског круга и даље кад термоелектрани се обављао транспортером са тракама, ширине 1000 mm од примарне до секундарне дробилице, а 1400 mm од секундарне дробилице до термоелектране.

### 3.3. Коришћење алата *Surpac* и *Whittle*

*GEOVIA Surpac*<sup>TM</sup> је најкоришћенији софтвер своје врсте на свету. Коришћен је за израду пројеката, како у површинској тако и у подземној експлоатацији, у више од 120 земаља света. *Surpac* пружа могућност рударским инжењерима да квантификују и процене минералне резерве и испланирају ефикасну експлоатацију истих.

Током протеклих 40 година, *Surpac* се континуирано развијао и унапређивао. Све бржи и напреднији рачунарски процесори, оперативни системи и програмски језици омогућили су овом софтверу да израсте у један свеобухватни скуп апликација који покрива сва поља рударства и геологије.

*Surpac* је комплетан рударски софтвер који поседује разне модуле као што је: бушење и минирање, геодетска мерења, конструкција контуре копа, геостатистика и истражно бушење, израда блок модела и солида, као и многе друге алате за примену у подземној и површинској експлоатацији (*Agrawal, 2012*).

Било да се користи у површинској или подземној експлоатацији, *surpac* служи инжењерима као платформа са свим алатима и функцијама који су им неопходни за решавање задатака. У оваквом окружењу, могуће је постићи максималне резултате и уједно се придржавати свих пројектних ограничења попут граничног садржаја, стабилности радне средине и сл. (*Saidoo, 2017*).

Главна функција *Surpac-a* јесте што омогућава геолозима да са јако мало улазних података одреде физичке карактеристике минералне сировине коришћењем моћних 3D графичких приказа, геостатистике и интегрисаних алата за моделирање.

#### **Предности при коришћењу програмског пакета *surpac***

- Подржава више светских језика
- У зависности од потребе корисника, могуће је програмирање аутоматског решавања задатака
- Програм је модуларан и лако се прилагођава кориснику



- Различите информације могу бити приказане симултано што доприноси да резултати буду прецизнији и у оквиру свих ограничења
- Приказ и међусобна интеракција свих података везаних за пројектовање и планирање рудника попут: истражних бушотина, рудног тела, топографије терена, завршне контуре и многе друге
- *Surpac* подржава све битне формате датотека из области геодетских ваздушних снимања, фотограметрије, GIS, CAD и остали системи

**GEOVIA Whittle™** долази из исте компаније као и *Surpac* и такође представља водећи софтвер у области процене финансијске одрживости рудника и оптимизације површинских копова. Рударске компаније се ослањају на *whittle* како би максимизирале профит оптимизацијом стратешких инвестиција и развоја рударских радова. Оптимизација рудника је круцијални први корак ка откључавању пуног економског потенцијала површинског копа. Поред тога, програм пружа комплетан и интегрисан скуп алата који обезбеђују значајан пораст вредности рударског пројекта.

Овај софтвер има све могућности стратешког планирања које су потребне како би холистички оптимизовали рудник, а ту спадају: детаљни трошкови, цене и искоришћења, депоније, више одвојених рудника, оптимизација граничног садржаја и многе друге.

### **3.4. Дефинисање оптималне контуре и завршне контуре површинског копа**

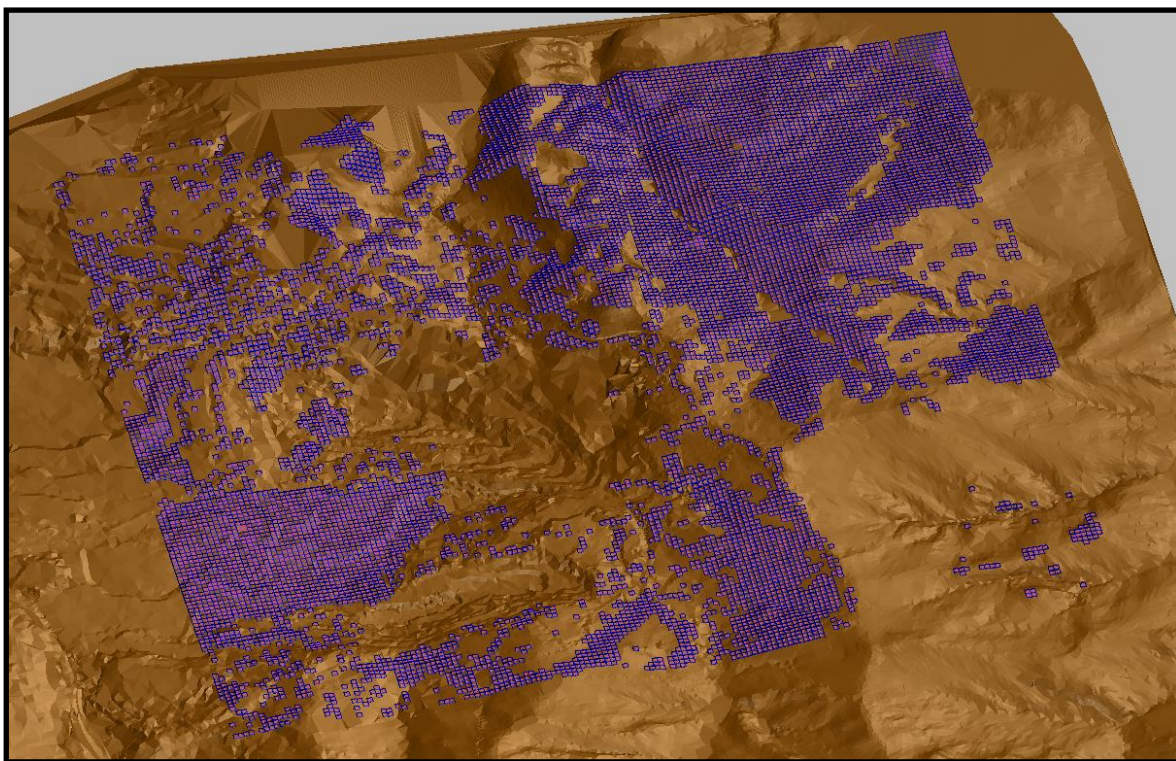
#### **3.4.1. Увод**

За потребе оптимизације копа, као и касније дефинисање дугорочног плана развоја рударских радова, креиран је тродимензионални дигитални геолошки блок модел у раније поменутом софтверу *Surpac*. Величина блокова креираног модела одређена је на основу густине мреже истражних бушотина, примењене механизације и њене могућности селективног откопавања. Номинална величина блокова износила је 20 m x 20 m x 1 m са подблоковима

висине 0,5 m са циљем прецизније дискретизације границе између слојева угља и јаловине.

Атрибути у блок моделу су *rt* који представља тип стене (енгл. *rock type*) који, у оквиру ограничења која деле блокове на ваздух, јаловину и руду, додељује кодну вредност истим, при чему 0 представља ваздух, 1 јаловину и 2 руду. Поред овог, постоје још два атрибута који блоковима додељују специфичну масу (*sg*) и ДТЕ (*dte*).

Битно је напоменути да постоје блокови који су некада били у ваздуху, али сада је ту насипан материјал с тога је потребно те блокове кодирати као јаловину и доделити им специфичну масу. Специфична тежина јаловине *in situ* износи 2 t/m<sup>3</sup>, али ту вредност не можемо доделити овим блоковима већ насипну запреминску масу која је за 30% мања и износи 1,538 t/m<sup>3</sup>. Таквих блокова је било 36.942 и приказани су на слици 3.6.



Слика 3.6. Приказ насутих маса (*Surpac*)

На крају, како бисмо били сигурни, пожељно је проверити да ли блок модел испуњава све услове за даљу оптимизацију. То подразумева да сви блокови који су кодирани као ваздух имају масу једнаку нули, садржај једнак нули и да су сви изнад терена. Док јаловински и рудни блокови морају имати

запреминску масу, садржај изнад граничног за руду, а испод граничног за јаловину и сви морају бити изнад терена.

Тако проверен блок модел, експортован је за даље коришћење у *Whittle* софтверу за оптимизацију.

### **3.4.2. Основне вредности улазних параметара за оптимизацију**

Почетни корак у припреми пројектовања био је дефинисање улазних параметара за оптимизацију копа коришћењем *Whittle Lerchs Grossman 3D* алгоритма. Основни параметри оптимизације дати су и објашњени у поглављу 2.2.1. овог рада, стога ће у овом поглављу бити додатно појашњени само поједини.

Код процене резерви угља, два параметра имају посебан утицај, а то су **разблажење и степен искоришћења лежишта**. Величина ових параметара зависи од саме механизације односно методе експлоатације и геолошке структуре лежишта.

Разблажење може бити спољашње и унутрашње. **Спољашње (контактно) разблажење** се дефинише на основу селективности опреме, односно у којој мери изабрана машина може откопавати угаљ дуж контакта угљеног и јаловинског слоја. То је случај када је граница правилна и јасно дефинисана. А када је контакт два слоја неправилног облика или под нагибом, експлоатациона граница се одређује на основу односа вредности угља и трошкова који долазе са присуством јаловине у корисној компоненти.

Код **унутрашњег разблажења**, за разлику од спољашњег, контактна линија између јаловине и корисне компоненте није јасно дефинисана, стога се одређује у фази моделовања од стране геолога и геостатистичара. Дефинисано је са четири главне компоненте, а то су:

- Геологија и минералологија
- Подаци о густини
- Метода процене
- Гранични садржај и контрола граничног садржаја

Након свега горенаведеног, за сам процес оптимизације усвојено је **укупно разблажење од 5%**.

**Степен искоришћења** заправо представља експлоатационе губитке руде. Као и код разблажења, за одређивање овог параметра такође је потребно познавање геологије. Битно је напоменути да су ова два параметра повезана, у колико захватамо веће количине руде, готово увек се повећава и разблажење и обрнуто. Ако желимо да разблажење буде што мање, самим тим су губици корисне минералне сировине већи.

На основу остварене праксе на копу и постојеће пројектне документације, усвојен је **општи губитак од 5 %** при експлоатацији.

### **Углови завршних косина**

На основу истражних радова и геомеханичких испитивања, као и историјских (искуствених) података, идентификоване су две зоне стена са различитим карактеристикама. Угао северне, источне и западне косине одређен је на  $26^\circ$ , док је за јужну и део југозападне косине коришћен угао од  $16^\circ$ .

Сви улазни параметри дати су у табели 3.1. Приказане су коначне вредности које су коришћене у процесу оптимизације контуре. Такође треба имати у виду да су ови трошкови само коришћени за генерисање оптималне контуре, а не у економском моделу и годишњем планирању приликом избора система експлоатације.

Табела 3.1. Улазни параметри за оптимизацију

Параметар		Вредност	Јединица
Губици у лежишту (recovery)		5	%
Укупно разблажење (dilution)		5	%
Минимална дебљина слоја за откопавање		0,5	m
Трошкови откопавања	Јаловина	3,0	€/m <sup>3</sup>
	Угаљ	1,5	€/t
Продајна цена угља		2,2	€/GJ
Угао нагиба завршне косине	Северна, источна и западна	26	°
	Јужна	16	°
Дисконтна стопа		10	%

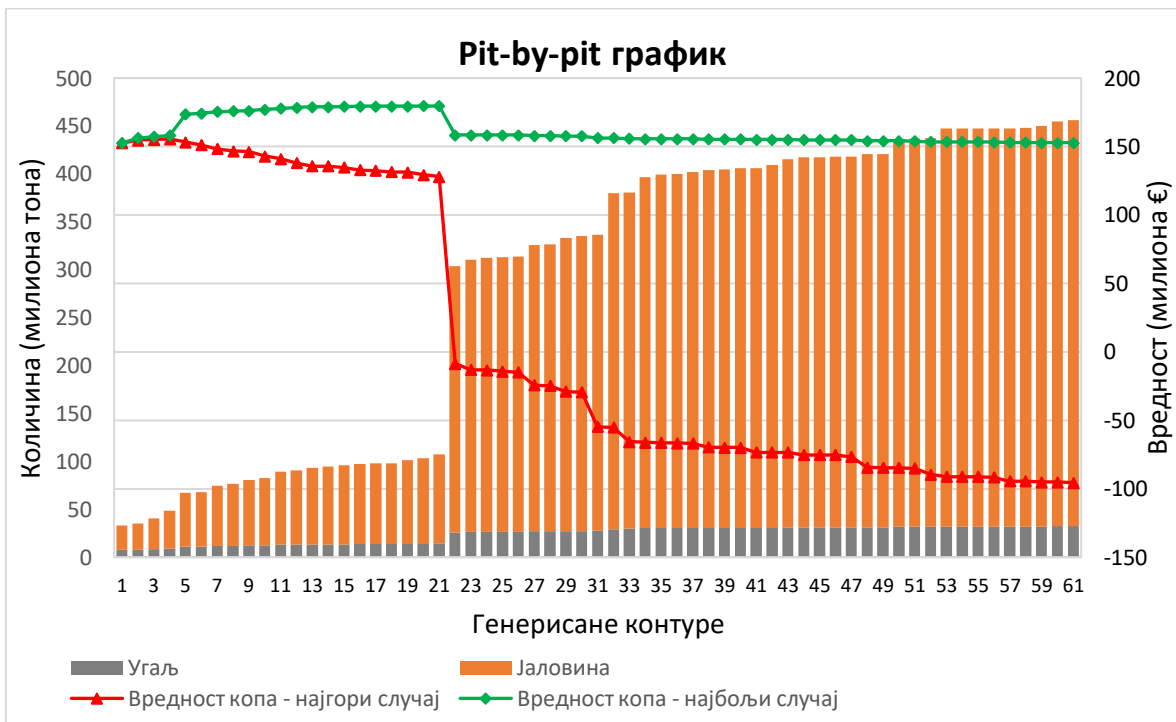
### 3.4.3. Резултати оптимизације

Као резултат *Lerchs Grossman* алгоритма добијена је серија шкољки површинског копа на основу различитог фактора прихода ( $F_p$ ) са кораком од 2,5% за базну цену од 2,2 €/GJ. Свака генерисана шкољка бележи инкрементално повећање откопаних маса са инкременталним повећањем фактора прихода. Укупан број генерисаних контура износи 61, док она са базном ценом има редни број 21. Приказ контура заједно са основним подацима дат је у табели 3.2. Такође, на слици 3.7. приказан је и *pit-by-pit* график са економским вредностима контура.

Табела 3.2. Приказ техничких резултата оптимизације

Коп	Фактор прихода	Јаловина (t)	Руда (t)	Коеф. откривке	ДТЕ (kJ/kg)
1	0.5	25,379,270	7,538,386	2.37	12,202
2	0.525	27,323,701	7,769,336	2.52	12,175
3	0.55	31,949,990	8,273,507	2.86	12,132
4	0.575	39,090,004	9,039,151	3.32	12,079
5	0.6	56,390,669	10,958,109	4.15	11,796
6	0.625	57,012,952	11,027,179	4.17	11,785
7	0.65	62,896,294	11,600,472	4.42	11,738
8	0.675	64,469,881	11,756,685	4.48	11,721
9	0.7	68,216,635	12,117,625	4.63	11,678
10	0.725	70,480,678	12,320,120	4.72	11,661
11	0.75	76,316,704	12,833,402	4.95	11,615
12	0.775	77,794,977	12,963,318	5	11,602
13	0.8	79,890,550	13,128,035	5.09	11,594
14	0.825	81,283,766	13,235,255	5.14	11,589
15	0.85	82,506,799	13,328,424	5.19	11,583
16	0.875	83,871,879	13,434,224	5.24	11,573
17	0.9	84,237,796	13,462,500	5.26	11,570
18	0.925	84,626,583	13,487,563	5.27	11,570
19	0.95	87,407,138	13,674,210	5.39	11,560
20	0.975	89,287,797	13,789,677	5.47	11,560
<b>21</b>	<b>1</b>	<b>93,340,741</b>	<b>14,058,408</b>	<b>5.64</b>	<b>11,537</b>
<b>22</b>	<b>1.025</b>	<b>277,933,895</b>	<b>25,747,680</b>	<b>9.79</b>	<b>11,149</b>
23	1.05	284,423,628	26,121,989	9.89	11,151
24	1.075	286,200,413	26,220,594	9.92	11,152
25	1.1	286,786,023	26,253,692	9.92	11,152
26	1.125	287,455,198	26,289,822	9.93	11,152
27	1.15	299,182,230	26,898,470	10.12	11,160
28	1.175	299,446,750	26,912,884	10.13	11,160
29	1.2	305,811,597	27,237,968	10.23	11,161
30	1.225	307,884,509	27,339,924	10.26	11,162
31	1.25	308,949,791	27,393,454	10.28	11,162
32	1.275	350,474,342	29,340,002	10.95	11,190
<b>33</b>	<b>1.3</b>	<b>351,477,150</b>	<b>29,388,502</b>	<b>10.96</b>	<b>11,190</b>
34	1.325	366,502,191	30,063,999	11.19	11,198
35	1.35	369,256,222	30,184,790	11.23	11,200
36	1.375	369,548,818	30,197,936	11.24	11,200
37	1.4	371,877,682	30,302,540	11.27	11,199
38	1.425	373,740,476	30,379,733	11.3	11,200
39	1.45	374,364,194	30,404,957	11.31	11,201
40	1.475	375,460,651	30,450,044	11.33	11,201

Коп	Фактор прихода	Јаловина (t)	Руда (t)	Коеф. откривке	ДТЕ (kJ/kg)
41	1.5	375,608,496	30,456,057	11.33	11,201
42	1.525	378,687,028	30,573,897	11.39	11,203
43	1.55	384,321,029	30,794,344	11.48	11,204
44	1.575	386,385,373	30,869,147	11.52	11,207
45	1.6	386,600,200	30,877,031	11.52	11,207
46	1.625	386,786,488	30,884,132	11.52	11,207
47	1.65	386,865,066	30,887,102	11.53	11,207
48	1.675	389,570,843	30,985,251	11.57	11,207
49	1.7	389,696,011	30,989,835	11.57	11,207
50	1.725	404,727,734	31,499,526	11.85	11,216
51	1.75	405,004,677	31,510,262	11.85	11,215
52	1.775	406,018,633	31,547,357	11.87	11,215
53	1.8	415,276,700	31,849,449	12.04	11,219
54	1.825	415,315,962	31,850,800	12.04	11,219
55	1.85	415,441,553	31,855,358	12.04	11,219
56	1.875	415,500,253	31,857,253	12.04	11,219
57	1.9	415,705,357	31,863,792	12.05	11,219
58	1.925	415,878,374	31,869,564	12.05	11,218
59	1.95	418,340,739	31,940,503	12.1	11,221
60	1.975	422,486,623	32,065,346	12.18	11,222
61	2	423,674,786	32,100,877	12.2	11,222



Слика 3.7. Pit-by-pit график са кривама најбољег и најгорег случаја

Анализирањем приказаних резултата можемо да уочимо два значајнија скока, како у техничким тако и у економским параметрима.

Први скок на графику је за контуру број 5 ( $F_p = 0,6$ ), где можемо приметити скок од 21% у количинама угља, и 44 % у количинама захваћене јаловине.

Други, доста интересантнији скок је везан за контуру 22. Као што је већ објашњено у поглављу 2.3.1. овог рада, највећу економску вредност има она контура која је генерисана за фактор прихода  $F_p = 1$ , што је у овом случају контура број 21. Она обухвата потенцијалне резерве од око 14 милиона тона, што није довољно за потребе постојећих термоенергетских објеката. Међутим, следећа контура, број 22, захвата значајно веће количине угља, али уједно и јаловине, што доводи до раста коефицијента откривке. Потенцијалне резерве контуре 22 су чак око 26 милиона тона, што је битно више од 14 милиона које захвата контура 21. Још већи раст бележе масе јаловине које са око 93 милиона тона расту на скоро 288 милиона тона, што је скоро троструко више. Коефицијент откривке расте, са 5,64, на 9,79. Битно је споменути да је ова контура генерисана за цену руде од 2,255 €/GJ (оптимална за фактор прихода од 1,025), те има и нижу економску вредност у односу на контуру 21.

Приказ разлике у параметрима ове три контуре дат је у табели 3.3.

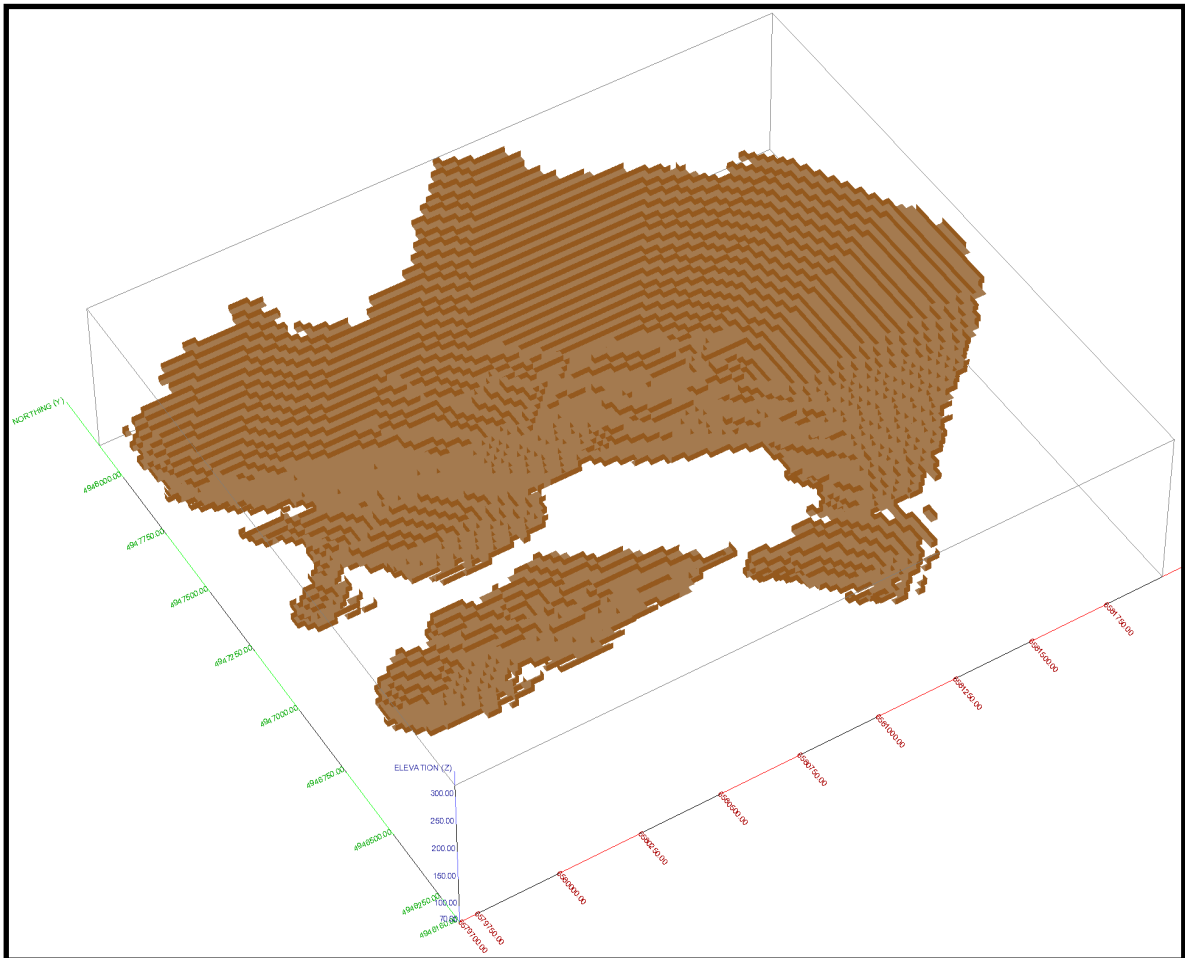
Табела 3.3. Приказ процентуалних разлика параметара две значајне контуре

Коп \ Параметар	21	22	Разлика (%)
Фактор прихода	1,0	1,025	2,5
Јаловина (t)	93.340.741	277.933.895	197,76
Руда (t)	14.058.408	25.747.680	83,15
Коеф. Откривке	5,64	9,79	73,58
Најбољи случај (€)	179.596.071	158.438.833	-11,78

Контура 22 обезбеђује довољне количине за рад постојећих термоенергетских објеката, стога ће она бити усвојена као основа за



пројектовање завршне контуре. Приказ 3D контуре из *Whittle-a* дат је на слици 3.8.



Слика 3.8. *Whittle* гранична контура број 22 (Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток 1“, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година)

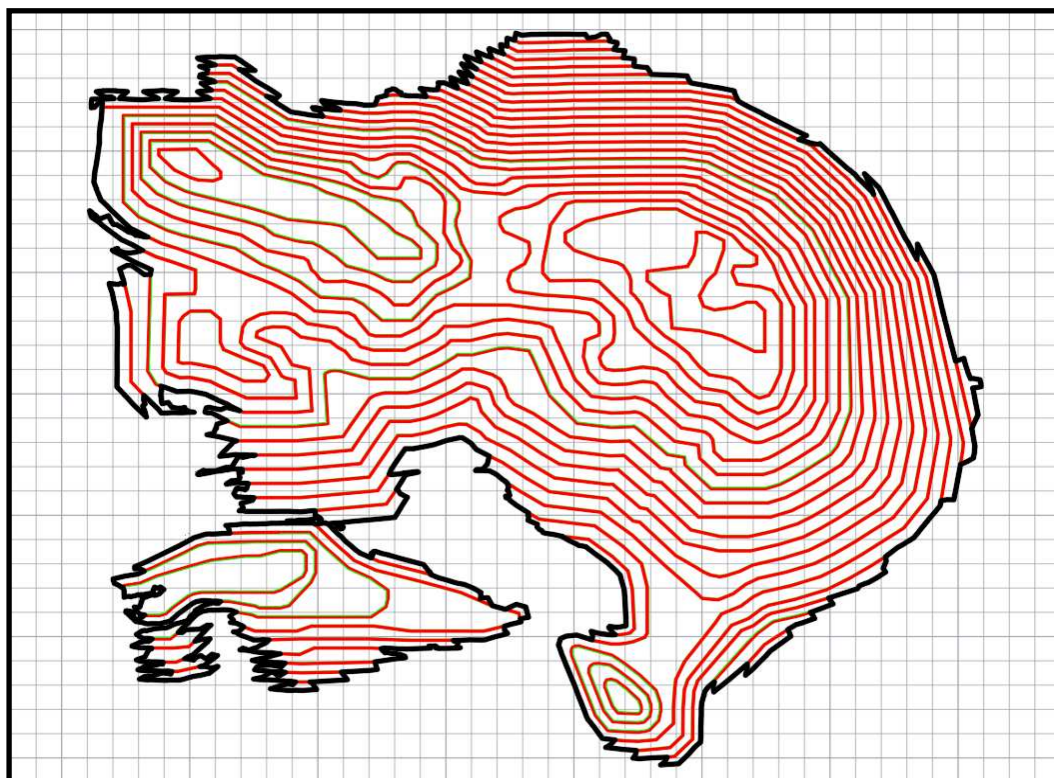
#### 3.4.4. Завршна контура и експлоатационе резерве

Оптимална контура добијена из програмског пакета *whittle* представља заправо артефакт блок модела (слика 2.11.) и као таква не узима у обзир сва техничка и технолошка ограничења као ни елементе копа. Стога пројектовање завршне контуре подразумева додавање сигурносних берми, етажа и рампи на основу свих техничких и технолошких ограничења механизације. Процес пројектовања биће урађен у програмском пакету *AutoCAD* компаније *Autodesk*. Сви геометријски параметри приказани су у табели 3.4.

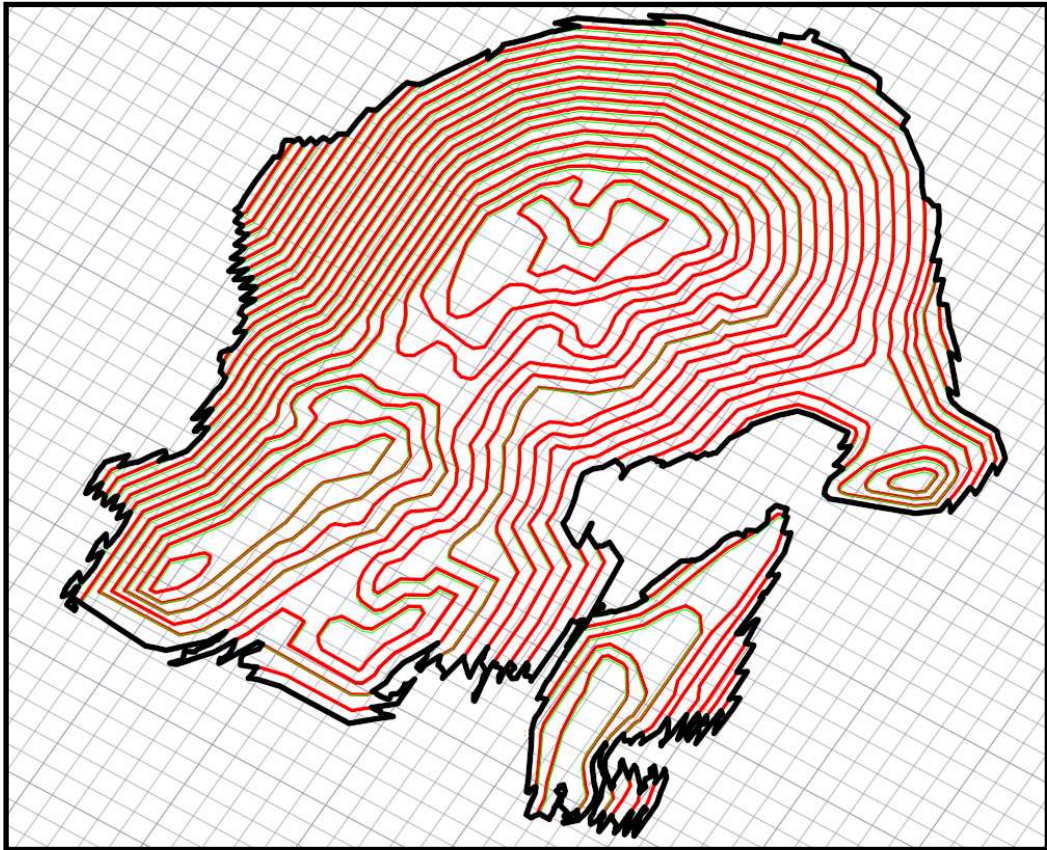
Табела 3.4. Геометријски елементи завршне контуре копа

Параметар		Вредност	Јединица
Висина етаже		10	m
Угао нагиба етаже		70	°
Ширина рампе		20	m
Угао нагиба рампе		8	%
Ширина берме	Северна, источна и западна косина	18	m
	Јужна косина	33	m
Угао нагиба завршне косине	Северна, источна и западна косина	26	°
	Јужна косина	16	°

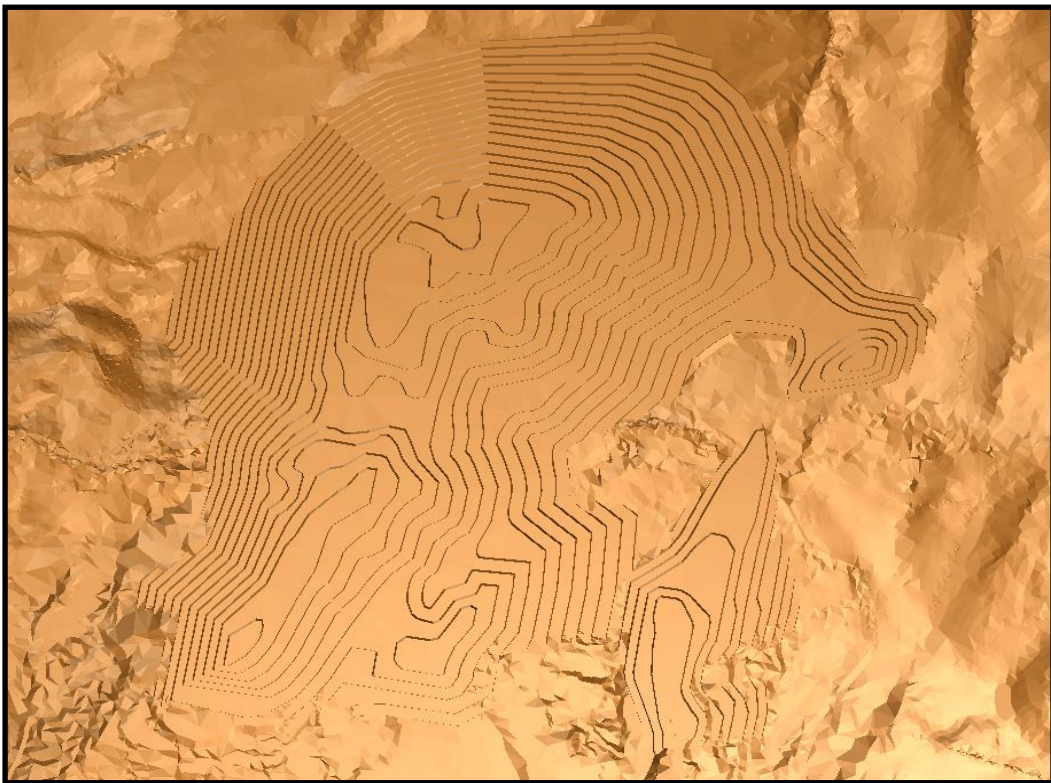
Увођењем наведених геометријских елемената конструисана је завршна контура копа и приказана у наредним сликама.



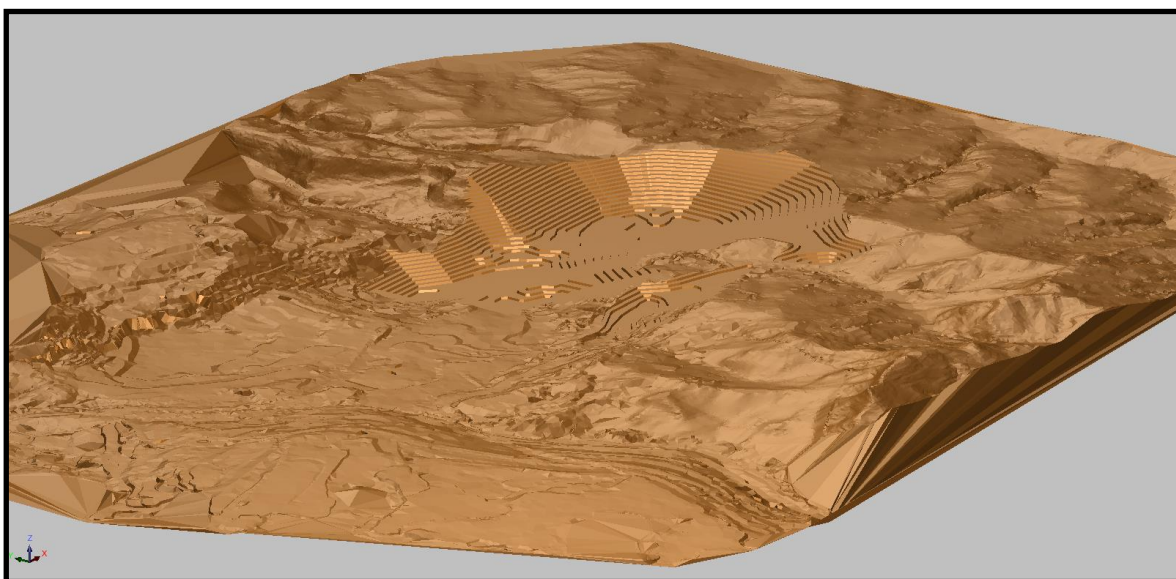
Слика 3.9 Приказ контуре 22 из птичије перспективе (AutoCAD)



Слика 3.10. Контура 22, поглед југозапад (AutoCAD)



Слика 3.11. Приказ контуре 22 са тереном (Surpac)



Слика 3.12. Приказ контуре 22 са тереном правца југозапада (Surpac)

Након што је финална контура завршена, потребно је израчунати количине руде и јаловине које контура захвата и упоредити са оним иницијалним које је алгоритам избацио (табела 3.2.)

Резерве су измерене у програмском пакету *Surpac*, а резултати су приказани у табелама 3.5. и 3.6.

Табела 3.5. Резерве угља у завршној контури

Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	ДТЕ (kJ/kg)	Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	ДТЕ (kJ/kg)
290 -> 300	400	543	10.626	170 -> 180	992.400	1.342.533	11.215
280 -> 290	1.400	1.900	10.625	160 -> 170	1.325.600	1.793.287	11.389
270 -> 280	3.000	4.071	10.754	150 -> 160	1.609.600	2.176.598	11.611
260 -> 270	17.200	23.378	10.619	140 -> 150	1.840.600	2.489.989	11.930
250 -> 260	148.400	200.399	10.490	130 -> 140	1.939.400	2.617.744	11.985
240 -> 250	366.800	496.089	10.593	120 -> 130	2.273.200	3.067.505	12.154
230 -> 240	719.200	976.291	10.778	110 -> 120	2.212.200	2.991.036	12.280
220 -> 230	697.200	945.056	10.858	100 -> 110	1.378.600	1.867.554	12.475
210 -> 220	574.800	777.631	10.862	90 -> 100	411.000	559.024	12.729
200 -> 210	683.000	924.035	10.945	80 -> 90	48.200	66.034	12.408
190 -> 200	764.400	1.033.916	10.967	<b>Укупно</b>	<b>18.777.200</b>	<b>25.396.302</b>	<b>11.691</b>
180 -> 190	770.600	1.041.689	11.023				

Табела 3.6. Количине јаловине у завршној контури

Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)
320 -> 330	14.200	28.400	190 -> 200	8.953.200	17.849.810
310 -> 320	212.200	424.400	180 -> 190	8.112.000	16.195.312
300 -> 310	427.400	854.800	170 -> 180	7.503.800	14.920.519
290 -> 300	1.125.800	2.251.600	160 -> 170	6.779.000	13.403.148
280 -> 290	3.141.000	6.282.000	150 -> 160	6.221.400	12.325.769
270 -> 280	5.981.600	11.963.200	140 -> 150	5.265.800	10.492.520
260 -> 270	8.283.400	16.566.293	130 -> 140	3.958.000	7.906.063
250 -> 260	10.215.400	20.426.108	120 -> 130	2.420.600	4.840.160
240 -> 250	11.358.800	22.711.231	110 -> 120	1.561.000	3.119.530
230 -> 240	11.321.600	22.601.558	100 -> 110	1.164.000	2.326.050
220 -> 230	10.714.000	21.404.389	90 -> 100	555.200	1.110.400
210 -> 220	10.158.000	20.275.752	80 -> 90	28.000	56.000
200 -> 210	9.609.800	19.173.622	<b>Укупно</b>	<b>135.085.200</b>	<b>269.508.634</b>

Резултати из табела 3.5. и 3.6. показују да су конструисаном контуром обухваћене резерве од око 25,3 милиона тона угља, просечног садржаја 11.691 kJ/kg и око 135 милиона  $\text{чm}^3$  јаловине. Ако то упоредимо са иницијалним количинама из табеле 3.2. видимо да завршна контура захвата 1,38 % односно 351.378 t мање угља, али и мање јаловине и то за 8.425.261 t (3,13 %). То даје укупан средњи коефицијент откривке од:

$$K_o = \frac{135.085.200 \text{ чm}^3}{25.396.302 \text{ t}} = 5,32 \frac{\text{чm}^3}{\text{t}}$$

### 3.4.5. Динамика радова

Пројектовани капацитет на откопавању угља, према захтевима термоелектране „Угљевик“, износи  $1,75 \cdot 10^6$  t годишње. Када у обзир узмемо експлоатационе губитке од 5%, финални капацитет износи  $1,837 \cdot 10^6$  тона годишње.

На основу тога, век експлоатације копа је:

$$T_k = \frac{25.396.302}{1.837.500} = 13,8 \approx 14 \text{ godina}$$

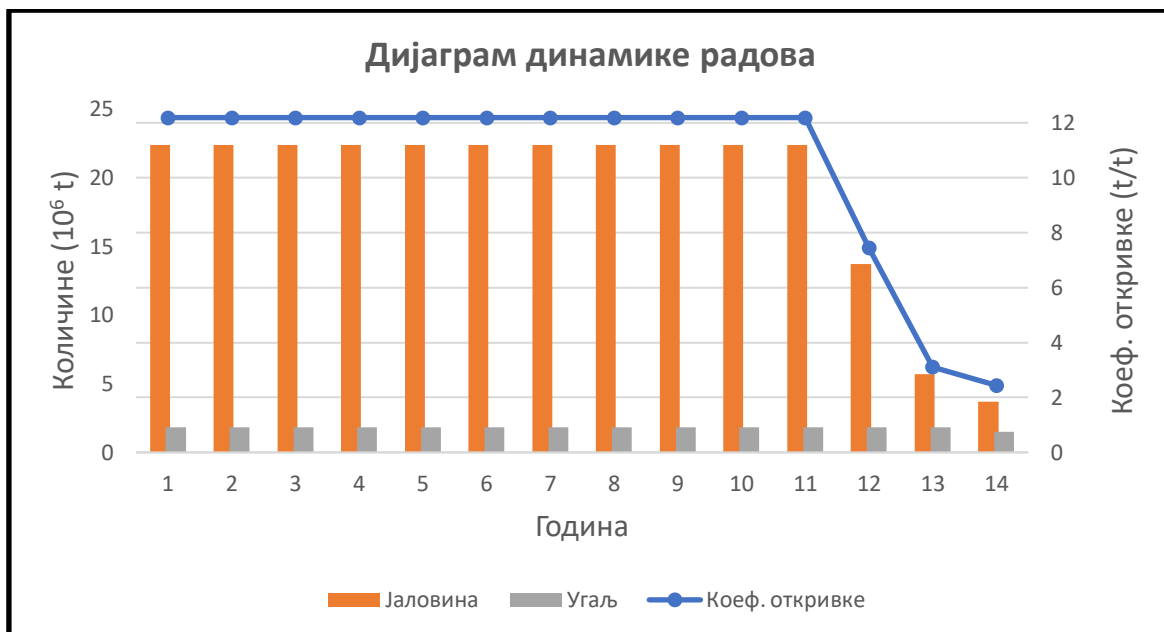
Развој рударских радова је релативно сложен, највише због залегања угљених слојева и чињенице да се са једног лежишта (Богутово село) прелази на друго (Угљевик исток 1), при чему је неопходно одржати континуитет у производњи.

Коришћењем програмског пакета *Whittle* и алгорита за оптимизацију динамике радова *Milawa balance* дефинисан је минимални експлоатациони коефицијент откривке, односно капацитет на јаловини који је неопходан како би се остварила потребна производња угља. Алгоритам, у оквиру задатих ограничења, а то су капацитет на откривци и корисној минералној сировини, оптимизује развој рударских радова тако да омогући постизање капацитета на угљу. Резултати анализе показали су да је неопходно откопати  $11,2 \cdot 10^6 \text{ } \check{\text{c}}\text{m}^3/\text{god}$  јаловине, како би се обезбедила континуирана производња угља при капацитету од  $1,837 \cdot 10^6 \text{ t}$  угља годишње.

Резултати пројектоване динамике развоја рударских радова приказани су у табели 3.7.

*Tabela 3.7. Пројектована динамика развоја рударских радова*

Година	Угаљ (t)	Јаловина (t)	Коефицијент откривке	ДТЕ (kJ/kg)
2023.	1.837.500	22.400.000	12,19	12.404
2024.	1.837.500	22.400.000	12,19	12.501
2025.	1.837.500	22.400.000	12,19	11.748
2026.	1.837.500	22.400.000	12,19	11.968
2027.	1.837.500	22.400.000	12,19	11.509
2028.	1.837.500	22.400.000	12,19	11.096
2029.	1.837.500	22.400.000	12,19	11.114
2030.	1.837.500	22.400.000	12,19	10.558
2031.	1.837.500	22.400.000	12,19	10.526
2032.	1.837.500	22.400.000	12,19	10.492
2033.	1.837.500	22.400.000	12,19	10.593
2034.	1.837.500	13.715.669	7,46	10.658
2035.	1.837.500	5.713.768	3,11	10.821
2036.	1.508.802	3.679.198	2,44	10.910
<b>Сума <math>\Sigma</math></b>	<b>25.396.302</b>	<b>269.508.635</b>	<b>11</b>	<b>11.692</b>



Слика 3.13. Приказ дијаграма динамике рударских радова

### 3.5. Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације

Циљ овог рада је да покаже како капацитет утиче на резултате оптимизације. Будући да у експлоатацији угља, производњу корисне минералне сировине диктира термоелектрана, капацитет на угљу остаје фиксан, а за тај капацитет потребно је откопати  $11,2 \cdot 10^6 \text{ } \check{c}\text{m}^3/\text{god}$  јаловине. Стога ћемо поставити питање, шта би било ако би цена корисне минералне сировине била 30% већа, односно, шта би било ако бисмо усвојили контуру за фактор прихода 1,3? Зато ћемо хипотетички усвојити контуру са значајно већим количинама, а задржати капацитет на угљу од 1.837.500 тона годишње. То ће условити раст капацитета на откривци, па се поставља питање да ли је боља контура 22 са мањим количинама корисне минералне сировине и мањим коефицијентом откривке или контура 33 са значајно већим количинама и коефицијентом откривке али и упитно изводљивом динамиком.

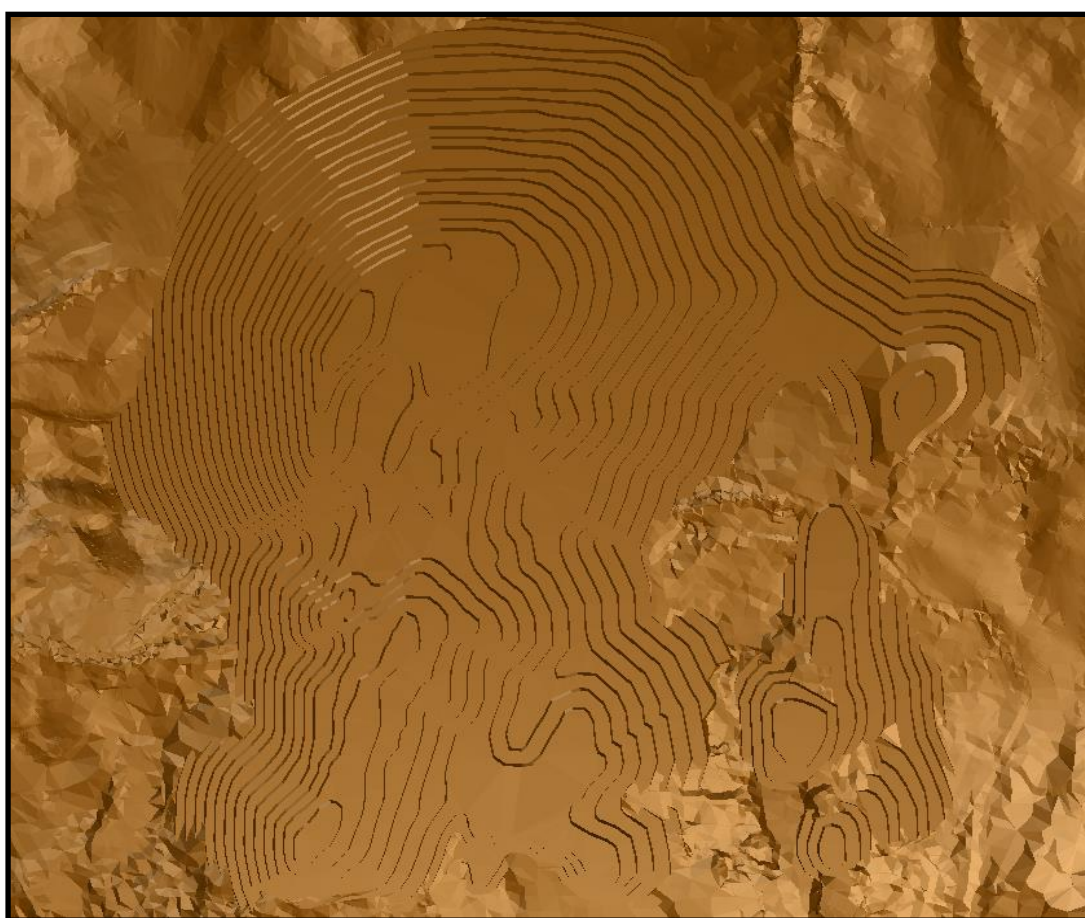
Контура за фактор прихода 1,3 има редни број 33 (табела 3.4) и обухвата око 29 милиона тона угља са коефицијентом откривке од 10,96, што даје масу јаловине од 351 милион тона. Приказ процентуалних разлика између контура 22 и 33 дат је у табели 3.8.

Табела 3.8. Процентуалне разлике између параметара контура 22 и 33

Параметар \ Коп	22	33	Разлика (%)
Фактор прихода	1,025	1,30	27,5
Јаловина (t)	277.933.895	351.477.150	26,46
Руда (t)	25.747.680	29.388.502	14,14
Коеф. Откривке	9,79	10,96	11,95
Најбољи случај (€)	158.438.833	155.692.129	-1,73

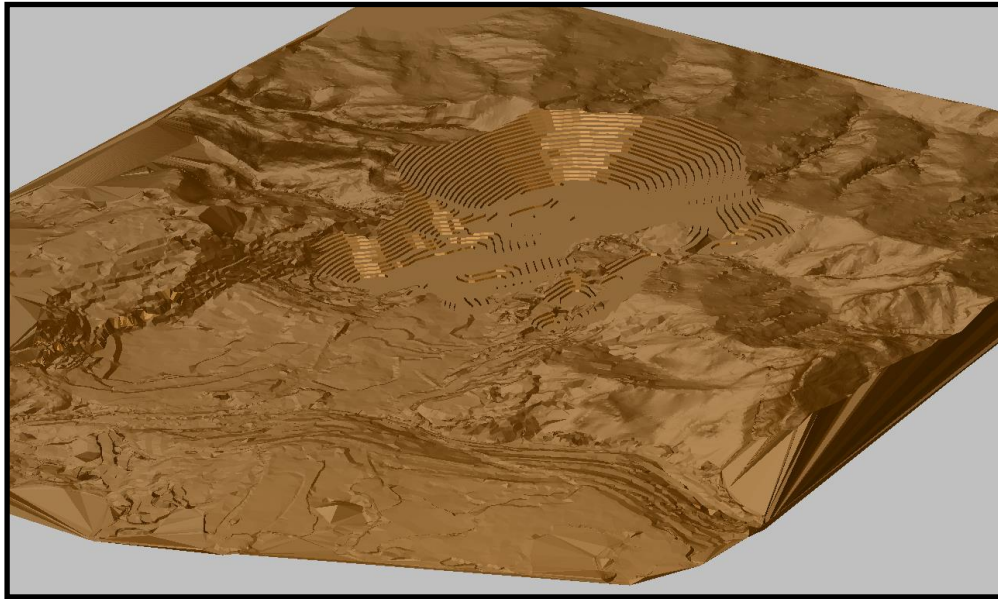
### Пројектовање завршне контуре 33

Као и са контуром 22, вредности графичких параметара су идентичне (табела 3.2.). Процедура пројектовања рађена је такође у *AutoCAD*-у, а приказ контуре као и њен пресек са тереном дат је на следећим сликама.



Слика 3.14. Контура 33 из птичије перспективе (*Surpac*)





Слика 3.15. Приказ контуре 33 из правца југозапада (*Surpac*)

Сада је потребно упоредити количине које пројектована контура захвата и упоредити разлике са иницијалном контуром коју је избацио алгоритам (табела 3.2.).

Резерве су измерене у програмском пакету *Surpac*, а резултати су приказани у наредним табелама.

Табела 3.9. Приказ количина јаловине у контури 33

Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)
320 -> 330	14.200	21.846	180 -> 190	10.721.600	21.390.627
310 -> 320	231.400	449.785	170 -> 180	10.061.800	19.949.257
300 -> 310	642.600	1.268.585	160 -> 170	9.324.800	18.373.234
290 -> 300	1.416.200	2.814.031	150 -> 160	8.533.200	16.862.529
280 -> 290	3.522.600	6.998.215	140 -> 150	7.329.200	14.591.083
270 -> 280	6.530.000	12.985.046	130 -> 140	5.503.200	10.989.493
260 -> 270	9.459.800	18.734.569	120 -> 130	3.840.800	7.677.406
250 -> 260	12.513.000	24.800.785	110 -> 120	2.604.600	5.202.090
240 -> 250	14.450.000	28.760.431	100 -> 110	1.611.600	3.221.900
230 -> 240	14.610.800	29.144.498	90 -> 100	1.134.000	2.268.000
220 -> 230	14.081.200	28.128.562	80 -> 90	228.400	456.800
210 -> 220	13.217.200	26.380.654	70 -> 80	45.400	90.800
200 -> 210	12.370.600	24.688.529	<b>Укупно</b>	<b>175.573.000</b>	<b>349.326.269</b>
190 -> 200	11.574.800	23.077.514			

Табела 3.10. Маса угља које захвата контура 33

Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	ДТЕ (kJ/kg)	Z (m)	Запремина (m <sup>3</sup> )	Маса (t)	ДТЕ (kJ/kg)
290 -> 300	400	543	10.626	170 -> 180	995.800	1.347.155	11.216
280 -> 290	1.400	1.900	10.625	160 -> 170	1.351.200	1.828.415	11.408
270 -> 280	3.000	4.071	10.754	150 -> 160	1.649.000	2.230.665	11.611
260 -> 270	17.200	23.378	10.619	140 -> 150	2.002.000	2.711.115	11.930
250 -> 260	149.000	201.205	10.489	130 -> 140	2.099.800	2.836.752	11.926
240 -> 250	369.200	499.314	10.602	120 -> 130	2.527.600	3.415.099	12.135
230 -> 240	713.400	968.340	10.780	110 -> 120	2.645.200	3.583.484	12.234
220 -> 230	755.000	1.022.781	10.869	100 -> 110	2.052.200	2.790.243	12.386
210 -> 220	610.000	824.728	10.927	90 -> 100	978.400	1.336.198	12.502
200 -> 210	698.600	944.780	10.949	80 -> 90	316.200	433.194	12.427
190 -> 200	780.600	1.056.337	10.968	70 -> 80	90.600	124.122	12.349
180 -> 190	811.200	1.097.641	11.027	<b>Укупно</b>	<b>21.617.000</b>	<b>29.281.460</b>	<b>11.744</b>

Из приказаних табела можемо закључити да су количине обухваћене након пројектовања контуре сличне оним почетним из табеле 3.2. Угља има мање за око 57 хиљада тона, а јаловине за око 2,1 милион тона, што значи да смо контуру пројектовали минималистички.

Укупан средњи коефицијент откривке је:

$$K_o = \frac{175.573.000 \text{ } \check{m}^3}{29.281.460 \text{ t}} = 6,0 \frac{\check{m}^3}{t}$$

### 3.5.1. Динамика развоја рударских радова контуре 33

Као што је већ поменуто, капацитет на угљу нема смисла повећавати јер је за потребе термоелектране довољно 1,837 милиона тона годишње. Из тог разлога он остаје исти. Са друге стране, капацитет на јаловини се мора повећати услед повећања коефицијента откривке.

Поново ћемо користити исти алгоритам за оптимизацију динамике радова програмског пакета *Whittle* како бисмо одредили минималан капацитет на јаловини који је потребан како бисмо одржали континуитет производње угља. За контуру 22, капацитет на јаловини износи  $22,4 \cdot 10^6$  t годишње, стога

ћемо за контуру 33 узети мало већи за почетак и постепено повећавати све док не добијемо одржив капацитет на угљу.

Почетни капацитет са којим ћемо покушати да остваримо изводљиву динамику је 23.500.000 тона јаловине годишње и резултати су приказани у табели 3.11.

Табела 3.11. Резултати оптимизације са капацитетом од 23,5 милиона тона

Година	Угаљ (t)	Јаловина (t)	Коефицијент откривке	ДТЕ (kJ/kg)
1	1.837.000	23.500.000	12,79	10.879
2	1.837.000	23.499.637	12,79	11.422
3	1.837.000	23.500.000	12,79	11.372
4	1.837.000	23.500.000	12,79	12.199
5	1.836.628	23.500.372	12,8	12.021
6	1.836.939	23.500.061	12,79	12.224
7	1.835.080	23.501.920	12,81	10.863
8	1.785.818	23.551.183	13,19	10.984
9	1.211.050	24.125.950	19,92	10.582
10	1.831.569	23.505.431	12,83	10.596
11	1.833.096	23.503.904	12,82	10.558
12	1.834.312	23.502.688	12,81	10.620
13	1.836.775	23.500.225	12,79	10.749
14	1.837.000	10.250.724	5,58	11.036
15	1.836.999	2.841.910	1,55	11.105
16	1.837.000	2.178.644	1,19	11.383
17	688.237	625.999	0,91	11.773
<b>Сума <math>\Sigma</math></b>	<b>29.388.503</b>	<b>322.088.648</b>	<b>10,96</b>	<b>11.198</b>



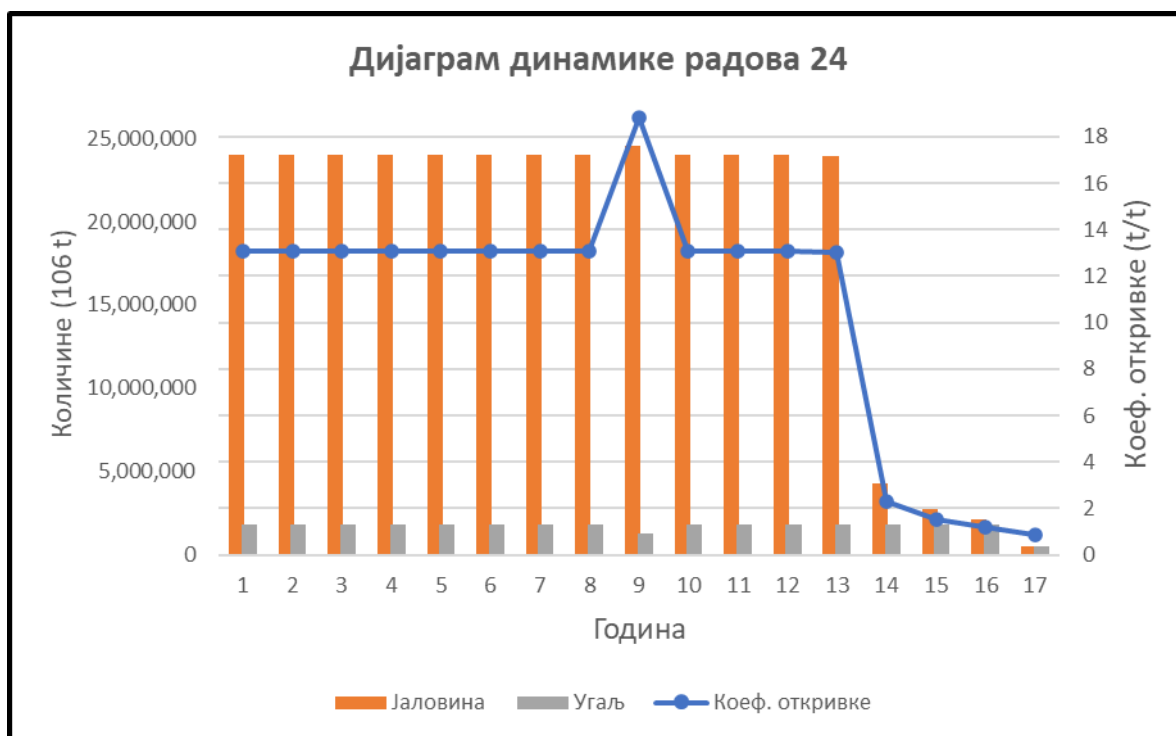
Слика 3.16. График динамике радова за капацитет 23.5 милиона t

Из приложене табеле можемо видети да у осмој и деветој години долази до пада капацитета и да није могуће одржати континуитет производње угља. Разлог за то је што фронт радова на јаловини не напредује довољно брзо, односно није довољно угља откривено како би експлоатација истог била могућа. Из тог разлога, овај капацитет на јаловини није прихватљив и морамо усвојити већи.

Повећавамо капацитет за 500.000 тона и понављамо процес. Резултати су приказани у наредној табели.

Табела 3.12. Резултати оптимизације за капацитет од 24 милиона тона јаловине

Година	Угаљ (t)	Јаловина (t)	Коефицијент откривке	ДТЕ (kJ/kg)
1	1.836.570	24.000.430	13,07	10.469
2	1.836.928	24.000.072	13,07	11.140
3	1.836.939	24.000.061	13,07	12.441
4	1.837.000	24.000.000	13,06	12.038
5	1.836.795	24.000.205	13,07	12.261
6	1.836.179	24.000.821	13,07	11.172
7	1.835.639	24.001.361	13,08	11.466
8	1.833.864	24.003.136	13,09	10.974
9	1.302.552	24.534.448	18,84	10.580
10	1.834.907	24.002.092	13,08	10.594
11	1.835.631	24.001.369	13,08	10.559
12	1.835.797	24.001.203	13,07	10.625
13	1.837.000	23.895.426	13,01	10.892
14	1.837.000	4.245.304	2,31	10.928
15	1.837.000	2.774.582	1,51	11.125
16	1.837.000	2.153.961	1,17	11.418
17	541.701	474.177	0,88	11.786
<b>Сума <math>\Sigma</math></b>	<b>29.388.502</b>	<b>322.088.648</b>	<b>10,96</b>	<b>11.204</b>



Слика 3.17. График динамике радова за капацитет 24 милиона t

Као и у претходном случају, поново имамо пад капацитета у 8. и 9. години, тако да ни овај капацитет не испуњава потребе производње. Поново повећавамо капацитет и понављамо процес оптимизације. Резултати су приказани у табели 3.13. као и на графику 3.18.

Табела 3.13. Резултати оптимизације за капацитет 24,5 милиона тона

Година	Угаљ (t)	Јаловина (t)	Коефицијент откривке	ДТЕ (kJ/kg)
1	1.835.090	24.501.910	13,35	10.378
2	1.835.592	24.501.408	13,35	10.529
3	1.837.000	24.500.000	13,34	11.293
4	1.837.000	24.500.000	13,34	11.113
5	1.836.165	24.500.835	13,34	12.114
6	1.836.286	24.500.714	13,34	12.245
7	1.837.000	24.462.745	13,32	12.243
8	1.831.000	24.506.000	13,38	11.837
9	1.831.223	24.505.777	13,38	10.796
10	1.833.122	24.503.878	13,37	10.584
11	1.833.827	24.503.173	13,36	10.571
12	1.833.366	24.503.634	13,37	10.645
13	1.837.000	19.934.595	10,85	10.939
14	1.837.000	3.622.998	1,97	10.989
15	1.837.000	2.536.626	1,38	11.193
16	1.837.000	1.978.041	1,08	11.560
17	23.832	26.314	1,1	11.767
<b>Сума <math>\Sigma</math></b>	<b>29.388.503</b>	<b>322.088.648</b>	<b>10,96</b>	<b>11.223</b>



Слика 3.18. Дијаграм динамике радова контуре 33 за капацитет од 24,5 милиона t

Коначно, постигнут је континуитет производње угља са капацитетом од 24.500.000 t/god, што је за 2.100.000 t више него капацитет контуре 22.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду извршена је анализа утицаја капацитета експлоатације на резултате оптимизације површинског копа. Генерисане су две завршне контуре, једна за 2,5% већу цену од номиналне цене корисне минералне сировине. А друга за 30% већу цену, односно фактор прихода 1,3.

У оба случаја капацитет на угљу је износио 1,837 милиона тона годишње, колико су и потребе термоелектране, укључујући експлоатационе губитке од 5%. Како бисмо постигли континуитет у тој годишњој производњи, потребно је одредити одговарајући капацитет на откривци.

За први случај, добијен је годишњи капацитет на јаловини од 22,4 милиона тона при коефицијенту откривке 9,79. У другом случају, за контуру генерисану за фактор прихода 1,3, коефицијент откривке је 10,69 што значи да је потребно повећати капацитет на откривци како би се одржао континуитет производње угља. Добијен капацитет износи 24,5 милиона тона јаловине годишње, што је повећање од 2.100.000 тона (табела 3.8).

Можемо закључити да је за већу контуру неопходно повећати капацитет, односно да капацитет дисквалификује ту контуру ако желимо да га задржимо на истој вредности. Такође је битно поменути да контура 33 има и дужи век за 3 године, што може бити још један фактор одлучивања. Све ово може бити кључно у избору завршне контуре и мора се узимати у обзир у процесу оптимизације.



## 5. ЛИТЕРАТУРА

1. Миленко Савић, Миле Бугарин: *Моделирање лежишта са проценом ресурса и планирањем откопавања на површинским коповима*, Институт за рударство и металургију Бор, 2019. година
2. Проф. др. Владимир Малбашић, проф. др. Божо Колоња: *Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту „Богутово село“ – „Угљевик исток I“*, Универзитет у Бањој Луци О.Ј. Рударски факултет Приједор и DMD Consulting д.о.о. Бијељина, 2020. година
3. Стевановић Дејан: *Оптимизација и планирање површинских копова стохастичким моделима*, докторска дисертација, ментор Проф. др Никола Лилић, Рударско – геолошки факултет, 2015. година
4. Стевановић Дејан, Божо Колоња: *Рударска економика минералних ресурса – Евалуација инвестиционих пројеката*, Рударско-геолошки факултет Београд, 2019. година
5. Петар Марковић, Дејан Стевановић, Милица Пешић Георгиадис, Мирјана Банковић: *APPLICATION OF MCDA IN THE DETERMINATION OF OPTIMAL BLOCK SIZE FOR OPEN-PIT MODELLING AND MINE PLANNING*, Рударско-геолошки факултет Београд, 2021. година
6. William Hustrulid, Mark Kuchta, R. Martin: *OPEN PIT MINE PLANNING & DESIGN*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. година
7. David Whittle, Jeff Whittle, Chris Wharton, Geoff Hall: *Strategic Mine Planning 8<sup>th</sup> Edition*, Gemcom Software International Inc., 2005. година
8. Дипл. инж. геол. Милица Пешић-Георгиадис, проф. др. Дејан Стевановић: *Скрипта из примењене геостатистике у рударству*, Рударско-геолошки факултет, 2020. година.
9. Проф. др Божо Колоња, доц. др Дејан Стевановић: *Пројектовање површинских копова*, интерна скрипта, Рударско-геолошки факултет, 2005. година.
10. Petri Pitkanen: *Open Pit Optimization Calculating the Optimum Pit Limits*, Helsinki University of Technology, 1997. година

11. Henry Amankwah: *Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining*, Linkoping University, Institute of technology, 2011. година
12. Harshit Agrawal: *Modeling of Open Cast Mines using Surpac and its Optimization*, National Institute of Technology, Department of Mining Engineering, India, 2012. година
13. 3DS Geovia Surpac brochure. URL:  
[https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/GEOVIA/PDF/New\\_Branding/3DS-GEOVIA-Surpac\\_Brochure.pdf](https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/GEOVIA/PDF/New_Branding/3DS-GEOVIA-Surpac_Brochure.pdf)
14. 3DS Geovia Whittle brochure. URL:  
[https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/GEOVIA/PDF/New\\_Branding/3DS-GEOVIA-Whittle\\_Brochure.pdf](https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/GEOVIA/PDF/New_Branding/3DS-GEOVIA-Whittle_Brochure.pdf)
15. Comodity prices outlook, October 2022. URL:  
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/38160/CMO-October-2022-Data-Supplement.zip>
16. One month copper price graph. URL:  
<https://www.mining.com/markets/commodity/copper/all/>

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента Страхиња Каровић

Број индекса P525-21

### И з ј а в љ у ј е м

да је завршни рад под насловом

Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације површинског копа

---

---

---

---

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, маја 2023. године

Потпис студента

---

**ИЗЈАВА**  
**О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ**  
**ЗАВРШНОГ РАДА**

Име (име родитеља) и презиме студента Страхиња Миломир Каровић

Број индекса P525-21

Студијски програм Рударско инжењерство

Наслов рада Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације  
површинског копа

Ментор Дејан Стевановић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, маја 2023. године

**Потпис студента**

---

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Утицај капацитета експлоатације на резултате оптимизације површинског копа

---

---

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције)*:

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

*(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)*

У Београду, маја 2023. године

**Потпис ментора**

**Потпис студента**

---

---