

SOFTWARE PROVIDING VALUABLE ASSISTANCE IN MINE ENGINEERING AND PLANNING

SOFTVERSKA PODRŠKA PROJEKTOVANJU POVRŠINSKIH KOPOVA

Milenko SAVIĆ

Copper Institute in Bor, Bor, Serbia and Montenegro

Abstract: Innovative and comprehensive software for mining industry is becoming a constituent part of present-day mine designs providing mine professionals with high quality solutions for their most time consuming and challenging issues. In open pit designing the use of software has become a standard practice and an indispensable tool. To meet these needs high quality general-purpose software is being developed along with specialised software intended for the optimisation of surface mining and specific-purpose software that provides solutions to particular issues. This paper presents a general overview of software solutions that provide assistance in open pit mine designing focusing on the advantages that they offer for detailed planning.

Key words: mine engineering, planing, software providing

Apstrakt: Primena softvera u rudarskom projektovanju, posebno u projektovanju površinskih kopova, je u savremenoj praksi veoma raširena i može se reći da je to postao standardni način izrade rudarskih projekata. Za to su razvijeni veoma moćni rudarski softveri generalne namene, specijalizovani softveri za optimizaciju površinske eksploatacije i softveri specifične namene za rešavanje određenih rudarskih problema. U ovom radu je dat generalni opis takvih softvera koji čine podršku projektovanju površinske eksploatacije, sa osvrtom na prednosti koje takva podrška pruža u razradi projekta.

kљučне речи: rudarstvo, projektovanje, softverska podrška

1 INTRODUCTION

It is well known that the suitability and the quality of mining solutions adopted in studies and design documents are decisive for the profitability of the mining process. That is why nowadays, developed countries make efforts to provide new, proficient and powerful programmes that will provide the mine professionals with the most favourable, design and planning solutions. Such programmes are also increasingly used in developing countries since they offer answers to a variety of

1 UVOD

Već je odavno poznato da tehnička rešenja usvojena u studijskoj i projektnoj dokumentaciji za eksploataciju nekog ležišta imaju bitan uticaj na ekonomičnost eksploatacije. Zbog toga je u svetu, prvenstveno u razvijenim zemljama, razvijen niz softvera koji služe iznalaženju najpovoljnijih rešenja za eksploataciju nekog ležišta, čija se primena sve više širi i u zemljama u razvoju. Spektar problema koji se rešavaju primenom takvih softvera je veoma širok, od modeliranja

important issues from modelling and geological interpretation of deposits to technical solutions for specific mining problems. However, some programme packages, particularly the ones designed to interpret ore deposits and for mine designing are highly expensive and therefore it is usually arguable whether their use is economically viable.

The author of this paper had the opportunity to use these programme tools for the analysis of mining potentials of the deposits that were previously examined using conventional methods and for which extensive technical documentation already exists in the form of studies and mine designs. Comparing the technical parameters obtained accordingly, i.e. using conventional methods or specific-purpose programme packages it is possible to evaluate and point out the benefits that specific-purpose software may offer in open pit designing. The following tables show the comparative analysis of technical parameters for various copper deposits.

Table 1 compares the technical parameters of solutions offered for two model open pits with equal depths and equal pit slope angles.

Table 1 Comparison of solutions offered for two model pits.

tabela1 Upoređenje rešenja za dva kopa

Parameters	Unit	Conventional analysis	Computer-based analysis
Example – I			
Pit depth		K+80m	K+80m
Bulk materials	t	383 143 447	343 227 000
Cut-off grades	%	0.2 %Cu	0.2 %Cueq
Spoil	t	292 079 999	234 396 000
Ore	t	91 063 448	108 831 000
Cu in ore	t	408 149	443 192
Au in ore	kg	26 601	29 511
Ag in ore	kg	166 129	158 688
Cueq	t	521 721	570 269
Stripping ratio	t/t	3.207	2.154
Bulk material per t of metal	t/t-Cu	938.73	774.44
Example - II			
Pit depth		K+5m	K-10m
Bulk materials	t	329 658 773	237 852 680
Cut-off grades	%	0.2 %Cu	0.2 %Cueq
Spoil	t	182 314 598	98 988 930
Ore	t	147 344 175	138 863 750
Cu in ore	t	507 503	470 095
Stripping ratio	t/t	1.237	0.713
Bulk material per t of metal	t/t-Cu	649.56	505.97

ležišta (geološke interpretacije ležišta pa do tehničkih rešenja pojedinih elemenata u sistemu eksploatacije). Neki od tih softvera, posebno oni koji su sistemski tj. programski paketi koji služe interpretaciji ležišta i projektovanju koncepcije eksploatacije, imaju relativno visoku tržišnu cenu, pa mogu da izazovu dilemu u opravdanost njihove primene.

Autor ovog rada je imao retku priliku da u praksi koristi takve programske alate u analizi mogućnosti eksploatacije nekih ležišta za koja je već postojala klasičnim putem urađena tehnička dokumentacija od studija do projekata. Upoređenjem tehničkih parametara rešenja urađenih klasičnim putem i rešenja dobijenih primenom programskih paketa odgovarajuće namene, najbolje se mogu prikazati efekti primene softvera za projektovanje površinske eksploatacije ležišta. U narednim tabelama prikazano je takvo upoređenje tehničkih parametara za neka ležišta bakra.

U tabeli 1 prikazano je upoređenje tehničkih parametara rešenja za dva primera granične konture kopa do iste dubine i sa istim uglovima generalne kosine kopova.

From previous examples it obvious that the economic benefits gained from software application in open pit designing (even though they are not expressed numerically) are beyond compare with the actual software prices. The previously presented examples mainly relate to large pits or deposits. Table 2 shows the example of a relatively small copper deposit and open pit, which demonstrates that the application of software provides significant improvements of the design and proves to be cost-effective.

Iz ovih primera može se uočiti da su ekonomski efekti primene softvera za projektovanje površinske eksploatacije (iako nisu prikazani u vrednosnim jedinicama) takvi da su neuporedivi sa cenama softvera. Prikazani primeri odnose se na ležišta i kopove relativno velikih dimenzija. U tabeli 2 prikazani su efekti primene na jednom relativno malom ležištu i kopu bakra, odakle se mogu, takođe, uočiti bitna poboljšanja u ekonomičnosti projekta, obračunatim sa tehno-ekonomskim parametrima proizvodnje u vreme obrade projekta.

*Table 2 Example of a small copper deposit
tabela 2 Primer jednog malog ležišta bakra*

In-pit rock mass	Unit	Conventional design	Computer-based system	Difference
Bulk materials	(t)	38 072 742	26 473 860	11 598 882
Spoil	(t)	23 724 519	15 702 550	8 021 969
Ore	(t)	14 348 223	10 702 550	3 576 913
Stripping ratio	(t/t)	1.65	1.46	2.24
Cu in ore	(t)	55 793	43 839	11 954
Bulk material per t of Cu	(t/t)	682.39	603.89	970.29
Preproduction stripping	(t)	12 500 000	5 500 00	7 000 000
Reduced stripping costs	\$		7 700 000	
Increased revenue	\$		5 600 000	

2 BASIC ADVANTAGES OF SOFTWARE APPLICATION IN DETAILED MINE DESIGNS

The latest and the most sophisticated software packages offer substantial enhancements as to deposit modelling (geological interpretation) and detailed mine development and extraction designs. Such packages offer: complete digital 3D design development with highly proficient and powerful tools for development and visualisation of particular segments, geology solids for the interpretation of deposit structure and mining projects, block models showing the distribution of specific segments of the deposit, selection of open pit mining methods based on feasibility parameters, different automation levels for detail planning of particular stages or elements of the mining design. Quick and precise estimates of volumes and grades of the material to be excavated and a long list of other different options and possibilities.

Digital - 3D design development

State-of-the-art information technology provides tools and resources to develop and save the entire design. When necessary, selected layouts may be printed out on paper in required scales. This form of data manipulation offers numerous and unarguable advantages that do not require further justification.

2 OSNOVNE PREDNOSTI PRIMENE SOFTVERA U RAZRADI RUDARSKIH PROJEKATA

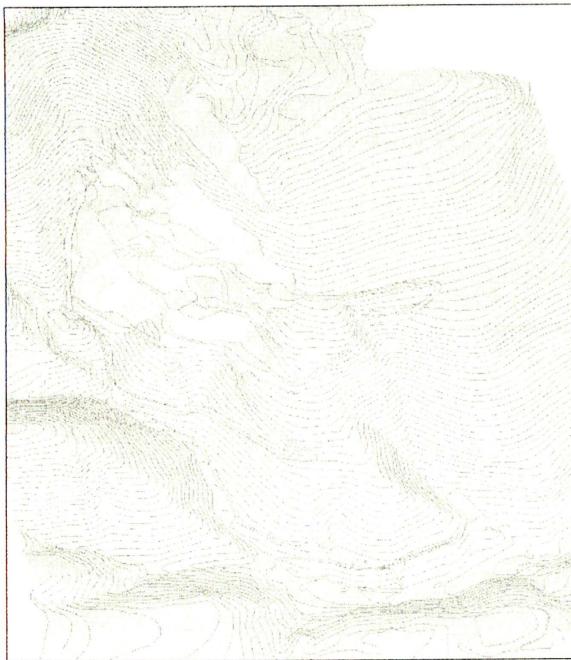
Moderni, savremeni softverski paketi najviše klase, uvode u modeliranje (geološku interpretaciju) ležišta i projektovanje eksploatacije više bitnih unapređenja, kao što su: kompletan digitalan 3D razvoj projekta sa moćnim alatima za razvoj i vizuelizaciju pojedinih elemenata projekta, fizičke (solid) modele u interpretaciji geološkog sklopa ležišta i rudarskih objekata, matematičke (blok) modele distribucije pojedinih komponenti u ležištu, izbor rešenja u koncepciji površinskog otkopavanja na bazi tehno-ekonomskih parametara u toku razrade koncepcije, različit stepen automatizacije u razradi pojedinih etapa i elemenata projekta eksploracije, brze obračune količina i kvaliteta masa za otkopavanje i čitav niz različitih mogućnosti koje je teško i pobrojati.

Digitalan - 3D razvoj projekta

Kompletan projekt se, skladno razvoju savremene informacione tehnologije, razvija i čuva u digitalnom obliku, a samo se određeni prikazi po potrebi mogu stampati na papiru u željenoj razmeri. Kakve su prednosti u ovakvoj manipulaciji podacima, u savremenim uslovima nije potrebno ni obrazlagati.

Another, even more important feature is the possibility to develop the entire design in a 3D system, which means that every single data entry with physical attributes, such as points, polylines, surfaces and specific models acquires a precisely defined location in the 3D coordinate system. To be more specific, the design may be elaborated in every detail using 3D viewing, different cross-sections, isometric projections, which is much more reliable and convenient than the conventional 2D viewing where much is left to pure imagination. This design development system has numerous advantages among which it is interesting to point out just the most important ones: 3D viewing and contouring for visual control and inspection during operation, development of sections with different orientation in required points, precise calculations and estimates of volumes and grades at required locations, etc.

Druga važnija karakteristika je da se projekt razvija kompletno u 3D sistemu, što znači da svaki podatak unet u projekt koji ima neko fizičko značenje, od tačaka, polilinija, površina do pojedinih modela i objekata, imaju tačno definisan položaj u 3D koordinatnom sistemu. Jednostavno, projekt se razrađuje u prostoru, a prikazi mogu da budu u različitim ravnima preseka ili izometrijski, nasuprot klasičnom pristupu kada su projekti razrađivani u 2D prikazima, a stvarna prostorna situacija je bila imaginacija. Ovakav razvoj projekta ima čitav niz prednosti od kojih se navode samo neke koje se mogu oceniti kao važnije: mogućnost prostorne predstave i vizuelne kontrole u toku rada na projektu, izrada preseka različite orijentacije na bilo kom željenom mestu, precizniji obračuni količina i kvaliteta masa u bilo kom delu ležišta ili objekata i sl. Na slici 1 dat je 3D prikaz stanja terena na jednom površinskom kopu, kombinovano polilinijama i solid modelom površine, kojim se dobija jasnija predstava stanja terena.



*Figure 1 3D view of open pit mine area
lika 1 Prikaz 3D površine terena kopa*

Solids modelling

Solids models are used for the interpretation of either geological or mining physical elements or projects. Consequently there are two types, geological solids such as: faults, inter-bedded or contact surfaces, geometric figures of different shapes that encompass particular rock types within an ore deposit or contour particular ore bodies. Mining solids represent the second type, which display mineshafts, drifts, faces or stopes etc.

Solid modeli

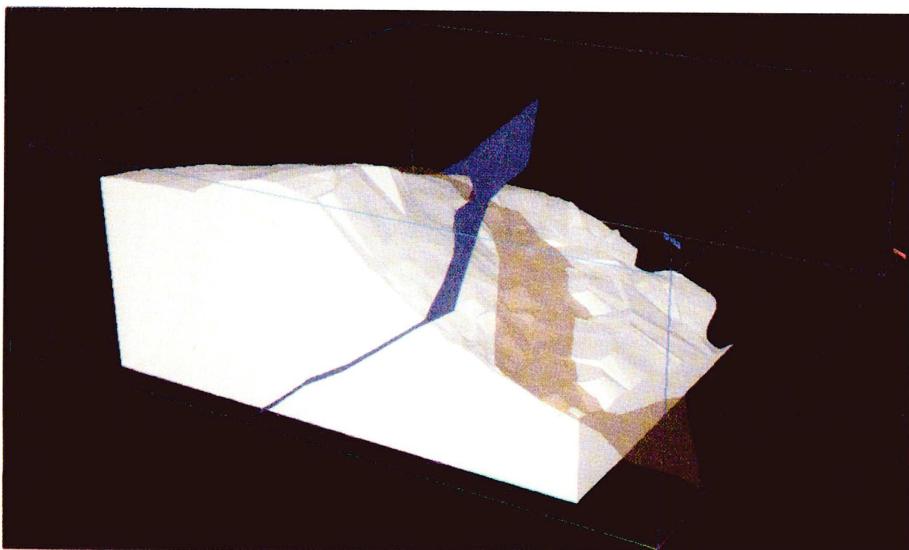
Solid modelima se interpretiraju fizički elementi i objekti, bilo geološki, bilo rudarski. Mogu da budu dva tipa: geološki - kao što su rasedi, medjuslojne ili kontaktne površine, geometrijska tela različitog oblika koja ograničavaju prostor pojedinih vrsta stena u ležištu ili oblike rudnih tela, i rudarski - kojima se predstavljaju podzemne rudarske prostorije, jamski otkopi i sl.

Solids may be surfaces or geometric figures. Surfaces are 2D solids that present a physical element (geological or mining) or are used as secondary tool to create geometric figures. Geometric figures are 3D solids that circumscribe the space with specified physical or chemical properties or define the shape and the location of mineshafts and drifts.

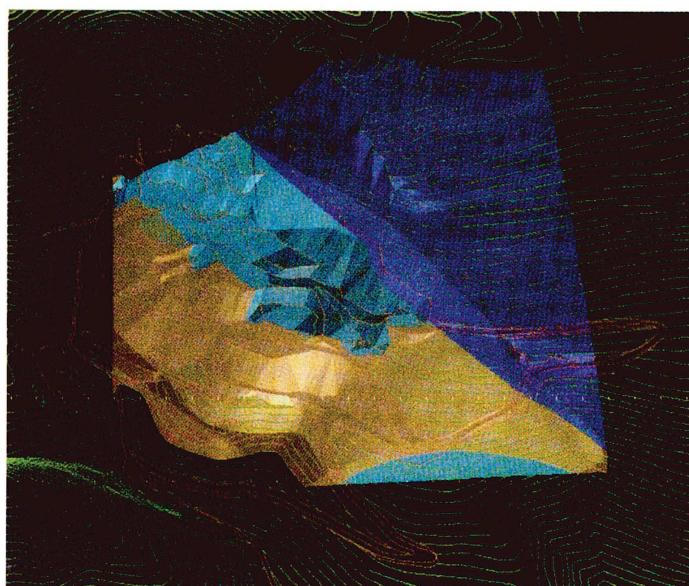
Figure 2 shows an example that illustrates the application of two contact surfaces to mark off the area with different rock types. Figure 3 presents the lithological solid model of the terrain that consists of three rock types. Figure 4 shows the example that illustrates the use of solids in underground mining.

Solidi mogu biti površine i geometrijska tela. Površine su prostorni 2D solidi koji daju predstavu nekog fizičkog elementa (geološkog ili rudarskog) ili služe kao pomoćno sredstvo za konstrukciju geometrijskih tela. Geometrijska tela su 3D solidi koji ograničavaju prostor sa određenim fizičkim ili hemijskim karakteristikama, ili definišu oblik i položaj rudarskih prostorija.

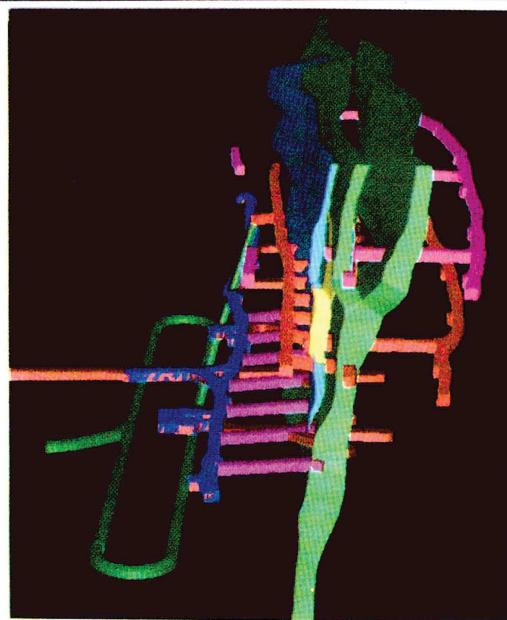
Na slici 2 prikazan je primer upotrebe dve kontaktne površine za razgraničenje prostora sa različitim vrstama stena, a na slici 3 litološki solid model terena koga čine tri vrste stena. Na slici 4. prikazan je primer korišćenja solida u podzemnoj eksploataciji.



*Figure 2 Contact surfaces that mark off rock masses
slika 2 Kontaktne površine upotrebљene za razdvajanje stenskih masa*



*Figure 3 Lithological solid model of deposit area
slika 3 Litološki solid model terena ležišta*



*Figure 4 Example that illustrates the use of solids in underground mining
slika 4 Primer korišćenja solida u podzemnoj eksploataciji*

Block modelling

Block models are tools or resource to model the distribution of particular components within the deposit, which enable detailed analysis of different mining methods. Block models are mathematically determined three-dimensional deposit sections. They vary in size and shape and usually contain related information on rock type, density, and grade of specific elements, which have been obtained by applying sophisticated interpolation methods. These block models also contain data on the economic viability of mining operations for that particular block (economic block model) and other relevant information that may be easily added or deleted from the model at any point.

Block models are conceptually very different. Some of the basic types are listed below:

- Normal block model has equally sized and vertically placed blocks. The heights of the block correlate to bench heights with equal rock type and grade attributes.
- Partial block model contains two rock type and grade attributes. The ratio of specific material to total block volume is determined in percents.
- Layered block model has vertically placed blocks. Floor-to-roof height of particular layers is variable and it is suitable for modelling of layered deposits.
- Equal-base block models are tilted in space with variable heights of ore bodies from floor to roof, suitable for modelling of vein-type ore deposits.

Blok modeli

Blok modeli su sredstvo odnosno način za modeliranje distribucije sadržaja pojedinih komponenti u ležištu, kojima se omogućuje detaljna analiza mogućnosti eksploatacije ležišta. Blok modeli su matematički definisani prostorni delovi ležišta u obliku blokova različitih dimenzija, za koje se obično vezuju informacije o vrsti stena, njihovoj gustini, sadržaju pojedinih komponenti dobijeni različitim metodama interpolacije, podaci o ekonomičnosti eksploatacije pojedinih blokova (ekonomski blok model), a mogu se dodati i druge različite informacije.

Blok modeli mogu biti različito koncipirani, od kojih se ovde navode osnovni tipovi:

- normalni blok model, gde su svi blokovi istih dimenzija, vertikalno postavljeni sa visinom jednakom visini etaža kopa, sa jednom vrstom stene i sadržajima za ceo blok,
- parcijalni blok model, sa dve vrste materijala i sadržaja u bloku, pri čemu se određuje i procentualno učešće određenog materijala u ukupnoj zapremini bloka,
- slojeviti blok model, gde su blokovi vertikalno postavljeni sa promenljivom visinom od podine do krovine pojedinih slojeva, za modeliranje slojeviti ležišta i
- modeli sa blokovima jednakih baza, nagnutih u prostoru, sa promenljivim visinama od podine do krovine rudnog tela, pogodni za modeliranje ležišta žičnih tipova.

Figure 5 shows the normal block model of a deposit that has been colour coded to display the grade of particular elements.

Na slici 5 prikazan je normalan blok model jednog ležišta gde je bojama prikazan sadržaj jednog elementa u određenim granicama.



*Figure 5 Block model of the deposit displaying the grade of particular elements
slika 5 Blok model ležišta sa sadržajem jedne komponente*

Analysis of mining methods

The basic pen pit mining concept should provide solutions to a series of significant issues such as: extent of mineable area or pit limits, pit orientation within the limits, the so-called long-term mine development schedule, calendar mine development schedule with ore and waste production rates. For metaliferous deposits it is necessary to determine the cut-off grades, i.e. the minimum content of useful component in ore. All these issues are mutually connected and require a comprehensive and periodical analysis in order to determine the most convenient mining methods.

The conventional way used to analyse particular surface mining methods usually implied detailed planning of various technical solutions and most favourable one was then selected on the basis of economic criteria. This method is rather demanding and often not very reliable because of the mutual dependence that exists between the previously mentioned issues and a large number of options that cannot be easily and thoroughly analysed within a reasonably short period of time.

Analiza koncepcije otkopavanja

Koncepcijom otkopavanja ležišta površinskim načinom treba da se razreši nekoliko bitnih pitanja, kao: granica otkopavanja (kopa), prostorni razvoj kopa unutar definisane granice tzv. dugoročna dinamika razvoja kopa, vremenska (kalendarski definisana) dinamika razvoja otkopavanja sa kapacitetima na rudi i jalovini, a kod ležišta metala i granični sadržaj korisne komponente u rudi tj. razgraničenje rude i jalovine. Sva su ova pitanja međusobno povezana i zahtevaju obimnu cikličnu analizu radi definisanja najpovoljnije koncepcije otkopavanja.

Klasičan način razrade koncepcije otkopavanja površinskim putem obično je podrazumevao razradu više tehničkih varijanti, od kojih se ekonomskom analizom birala najpovoljnija. Ovim putem se teško dolazi do najpovoljnije moguće koncepcije otkopavanja, jer međusobna uslovjenost navedenih pitanja daje veliki broj mogućih varijanti koje se klasičnim načinom ne mogu izanalizirati u razumnom vremenskom periodu.

The latest up-to-date software solutions designed elaborate the details of open pit mining methods represent a significant progress in this field enabling:

- Interactive correlation between all key elements in the course of the analysis;
- Selection of the optimum mining method based on feasibility parameters introduced during detail planning and
- Quick and accurate estimates and analyses even with a large number of options.

3 SOFTWARE SOLUTIONS FOR PIT DESIGNING

Software solutions used for pit designing can be divided into several groups according to their purpose:

- General purpose system software used for ore deposit modelling and mining designs/development and extraction
- Software solutions for the optimisation of open pit mining methods and
- Specific-purpose software solutions such as: mining costs estimates, analysis of specific technical issues in open pit mining (slope stability), or individual systems (blasting, truck haulage, belt conveyance etc.)

3.1 General-purpose software packages for mining industry

Numerous system software packages with mining and geological applications are presently available on the market, such as Gemcom, Datamine, Vulcan, Surpac etc. Each of them offers various and specific possibilities and includes more or less features or options to supply solutions for particular problems at all the stages of the mine-life cycle. Therefore, it is very difficult to give a complete and comprehensive description of all the possibilities that such software packages are able to provide. The description of the general-purpose software packages for mining industries presented in this paper is based on personal experiences with Gemcom software system in open pit designing, although it offers the same possibilities in underground mine designs.

Gemcom is an internationally famous, high-performance programme package, designed for geological interpretation of ore deposits, actually called ore deposit modelling, surface and underground mine designs, planning and monitoring of operation and scheduling.

Savremena softverska rešenja namenjena razradi koncepcije otkopavanja površinskim kopovima, omogućila su bitan napredak u razradi ove problematike kroz:

- omogućavanje interaktivne veze između svih ključnih elemenata koncepcije otkopavanja u toku analize,
- izbor rešenja na bazi tehno-ekonomskih parametara eksploatacije u toku razrade koncepcije i
- veoma brze analize, čime se ne ograničava broj analiziranih varijanti.

3 SOFTVERI ZA PROJEKTOVANJE KOPOVA

Softveri koji se koriste u rudarstvu pa i u projektovanju kopova, prema nameni, mogu se podeliti u sledeće grupe:

- generalni rudarski softver, sistemski softver za modeliranje ležišta i projektovanje otkopavanja,
- softveri za optimizaciju koncepcije površinske eksploatacije, i
- softveri specifične namene, kao što su: za analizu troškova otkopavanja, analizu pojedinih tehničkih problema u površinskoj eksploataciji (primer stabilnosti kosina), projektovanje sistema eksploatacije (miniranje, kamionski transport, tračni transport) i dr.

3.1 Generalni rudarski softver

Sistemskih softvera koji se koriste za obradu rudarsko – geološke problematike u rudarstvu ima više na tržištu, kao: Gemcom, Datamine, Vulkan, Surpac i dr. Svaki od njih ima svoje specifičnosti i različite mogućnosti, sa većim ili manjim brojem opcija u rešavanju određene problematike, tako da je teško dati potpun opis svih mogućnosti koje ovakvi softveri pružaju. Opis generalnog rudarskog softvera dat u ovom radu, zasnovan je na iskustvu u radu sa Gemcom sistemom u projektovanju površinske eksploatacije, mada softver ravnopravno pokriva, kako površinsku, tako i podzemnu eksploataciju.

Gemcom je internacionalno priznat programski paket, vrhunskih mogućnosti namenjen za geološku interpretaciju ležišta mineralnih sirovina moderno nazvan "modeliranje" ležišta, projektovanje eksploatacije (površinske i podzemne), i planiranje i praćenje procesa otkopavanja u toku eksploatacije.

This programme represents a fully integrated environment, which incorporates the following activities

- Surveying,
- Geological, from initial explorations, interpretation, resource estimation to control and monitoring of production processes,
- Mining, from pit designs to production planning and scheduling to borehole logging.

In general, according to previously stated activities this programme enables:

- A different level of automatic generation of layout plans in 3D, monitoring of advance and production schedules, calculation of volumes etc.
- Systematic data control during exploration and different options for data display.
- Different methods for ore deposit interpretation from manual, i.e. using cross-sections and bench-by-bench evaluation to the most sophisticated methods of model manipulation (surfaces, solids) and numerical models, i.e. block models.
- Resource estimation reports.
- Pit designs, pit and dump contouring at different level of automation and detail planning, assessment and calculation of economic effects.
- Calculation of volumes and grades for designed pits.
- Long-term, mid-term or annual production planning and scheduling and borehole logging.
- Operative planning and production monitoring etc.

Figure 6 presents on-screen operation of the Gecom programme - Windows version. The menu shows the composition of data that the system uses for detail planning. Design data are stored in the database and classified (Workspaces) by categories and file types that are generated during detail planning.

Constructive elements that the system uses for the creation of detailed planning of designs are points, polylines, polygons, surfaces, solids and block models.

Points are the carriers of different data from specific locations in space and are generated in different ways such as direct surveying (locations of initial borehole points, surface points etc) or programme calculation of point locations for certain data such as borehole penetration through specific lithological environment, location of chemical tests, interpolation of available data etc.

Program je jedinstveno okruženje koje objedinjuje rad sledećih struka na rudniku:

- geodetske službe,
- geološke službe od početka istraživanja ležišta, preko interpretacije ležišta i obračuna rezervi, pa do upravljanja i praćenja procesa otkopavanja i rudara, od projektovanja eksploatacije, preko izrade planova otkopavanja različitog vremenskog trajanja, pa do planiranja minskih serija.

Generalno gledano, prema vrsti poslova iz navedenih struka, program omoguće:

- različite stepene automatizacije izrade situacionih planova kopa u 3D, sa vremenskim praćenjem promena na kopu, obračune otkopanih masa i sl, sistematizovano vođenje podataka u toku istraživanja i različite načine prikazivanja dobijenih podataka,
- različite načine interpretacije ležišta, od onog sličnog ručnom preko profila i etaža, pa do najmodernijeg: preko fizičkih modela (površina i solida) i numeričkih modela, tzv. blok modela, izradu elaborata o rezervama, i
- projektovanje kopa: definisanje (iscrtavanje) konture kopa i jalovišta, sa različitim stepenom detaljisanja i automatizacije u razradi projekta, i obračunom ekonomskih rezultata otkopavanja, obračune masa po količini i kvalitetu, za projektovane radove,
- razrade programa otkopavanja sa različitim vremenskim trajanjem (dugoročni, srednjeročni, godišnji, pa do veličine minske serije),
- operativno planiranje i praćenje otkopavanja, i sl

Na slici 6 prikazan je radni ekran windows verzije Gemcom programa, iz čijeg se menija može uočiti struktura podataka koje sistem koristi u razradi projekta. Podaci o projektu čuvaju se u bazi podataka grupisani po vrstama podataka (Workspaces) i određenim tipovima fajlova koji se generišu tokom razrade projekta.

Konstruktivni elementi koje sistem koristi u razradi projekta su: tačke, polilinije, poligoni, površine, solidi i blok-modeli.

Tačke su nosioci različitih informacija sa pojedinih mesta u prostoru, i generišu se na različite načine, kao direktnim snimanjem na terenu (pozicija početnih tačaka istražnih bušotina, tačke na površini terena i sl.) ili programskim izračunavanjem pozicija tačaka u za određene informacije kao što su prodrovi istražnih bušotina kroz određenu litološku sredinu, pozicije hemijskih proba, interpolacijom raspoloživih podataka različitim metodama i dr.

Polylines are important constructive design elements and consist of points (vertices) and segments between points. They have multiple purposes and are divided into numerous types such as:

- Status lines, multipurpose lines that report the position in space, as toes, crests or central bench lines, mineshaft or tunnel axes, road terraces, terrain contour lines etc. Their position in space may vary from feature lines, constant gradient lines or contour lines.

Polilinije su vrlo važni konstruktivni elementi projekta, i sastoje se od tačaka (vertetka) i segmentata između tačaka. Imaju različitu namenu, pa su zbog toga podjeljene u više vrsta, od kojih su važnije:

- statusne linije, linije različite namene, koje prikazuju stanje u prostoru, kao nožice, vrhove ili središne linije etaže kopa, ose jamskih prostorija, trase puteva, izohipse terena i sl.; mogu da imaju promenljiv položaj u prostoru (feature) linije, konstantan nagib (constant gradient line), ili da leže u jednoj ravni (contour line),

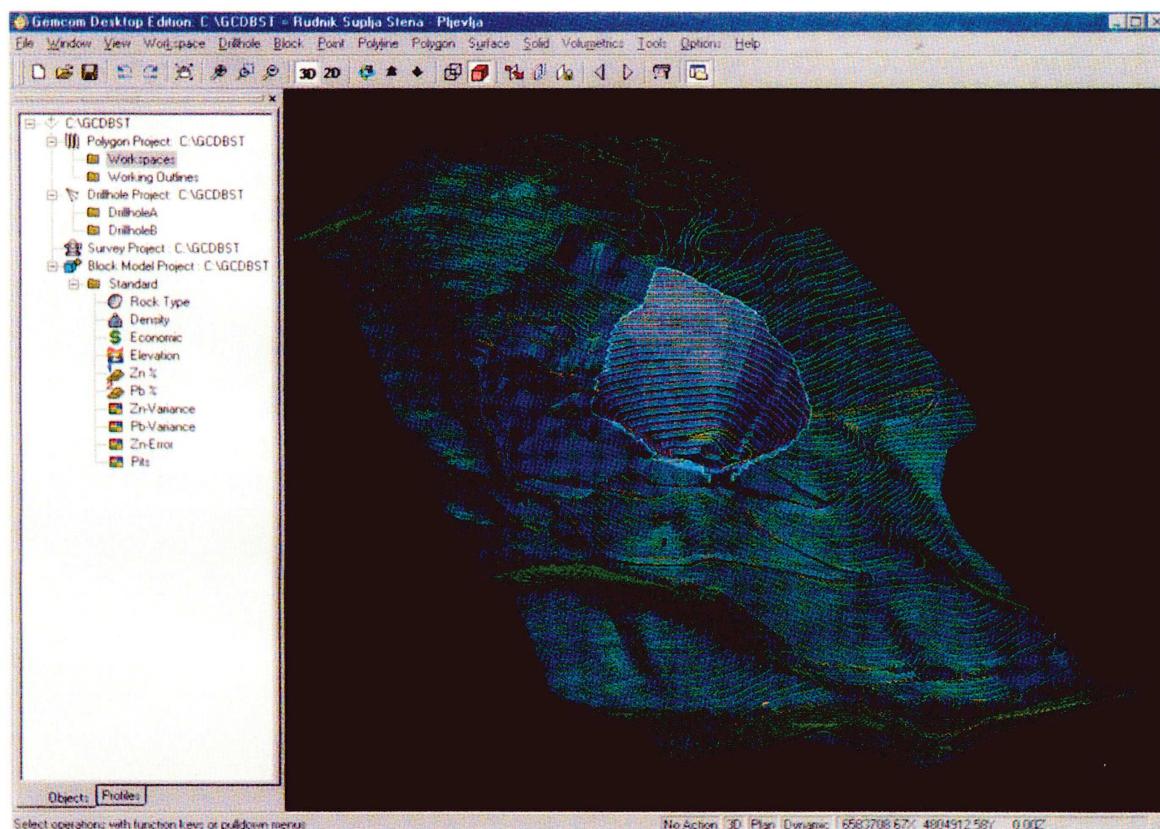


Figure 6 Gemcom system desktop
slika 6 Radni ekran Gemcom sistema

- 3D rings, which are usually contouring the sections of specific bodies in determined planes (lithological units or solids)
- Tie lines, which are used to create surfaces and solids
- Clipping polygons used to define other design elements cuts, slots etc.

Polyline can be generated in numerous ways: importing, on-screen digitising or by digital tables, intersecting surfaces and solids by planes (contouring), sections of surfaces or surfaces and solids etc.

- 3D zatvorene linije (rings), koje obično okonturuju preseke nekih tela u određenoj ravni u prostoru (litoloških članova ili solida),
- vezne linije (tie lines), koje služe za oblikovanje površina i solida i
- poligoni (clipping poligoni) za oblikovanje ostalih elemenata projekta, isecanje, odsecanje i sl.

Polilinije se generišu brojnim načinima: importovanjem, digitiziranjem na ekranu ili digitalnim tablama, presecanjem površina i solida određenim ravnima (konturisanjem), presecima površina ili površina i solida i sl.

This programme is provided with numerous tools (commands) for single-line or multiple-line editing: linking, breaking, smoothing increasing or decreasing of point (vertex) density, creating of curved lined, creating of branches, copying, moving, expanding, creating of road sections etc.

Polygons are surfaces defined by closed polylines situated in determined planes, usually benches or vertical sections. They can have geological attributes when used to interpret the lithology of cross-sections and benches or attributes related to mining when used to calculate volumes and grades for production planning and scheduling.

Surfaces are probably the most important elements in open pit design development. They represent constructive elements such as terrain topography, faults and interlayer surfaces, pit and dump status at different stages of development etc.

The surfaces that represent the pit and dump status are used as basic elements to calculate volumes, tonnage and grades at different stages of pit development.

Physical surfaces, present or future are generated from points and status polylines and in Gemcom system they can be generated in two ways:

- As TIN s, i.e. as a network of irregular triangles, which are suitable for artificially created surfaces with sharp edges and bends.
- Laplas interpolation, which handles more or less smooth surfaces that are convenient for interpolation of naturally created surfaces.

Gemcom system is provided with proficient tools for surface manipulation: copying, moving, cutting, intersecting etc. and for mathematical operations with surfaces such as: creating minimum or maximum from two surfaces, creating surfaces using mathematical operations etc.

Mathematically, surfaces denote functions of three variables; two are independent and represent geodetic coordinates constituting a coordinate plane. The third dependent variable for physical surfaces represents the altitudes. However, the dependent variable not necessarily represents altitudes but may also denote values of a regionalised variable such as contents or grades at determined sections obtained by means of different interpolation methods. The surface acquired shows the variations of particular contents within coordinate plane. Contoured surfaces represent

Program raspolaže brojnim alatima (komandama) za editovanje pojedinačnih linija ili multilinijsko editovanje: spajanje, razdvajanje, peglanje, poguščavanje ili smanjenje broja tačaka (verteksa), kreiranje krivina, kreiranje grana, kopiranje, pomeranje, ekspandovanje, kreiranje segmenata puteva i sl.

Poligoni su površine okonturene zatvorenim polilinijama koje leže u određenim ravnima, obično etaža ili vertikalnih preseka. Mogu da imaju geološke atribute, kada služe za interpretaciju litologije na profilima i etažama, ili atribute vezane za otkopavanje, kada služe za obračun količina i kvaliteta masa za otkopavanje pri planiranju ili praćenju dinamike otkopavanja.

Površine su možda najvažniji elementi u razvoju projekata površinskih kopova. Predstavljaju različite konstruktivne elemente projekta, kao: topografiju terena, rasede i međuslojne površine, stanje kopova i jalovišta u različitim fazama njihovog razvoja i sl.

Površine koje predstavljaju različita stanja kopa i jalovišta su osnovni elementi za odgovarajuće obračune zapremina, količina i kvaliteta masa za otkopavanje u različitim fazama razvoja kopa.

Fizičke površine, postojeće ili buduće, generišu se od tačaka i statusnih polilinija i u Gemcom sistemu mogu da se generišu na dva načina:

- kao TIN-ovi, tj. mreže nepravilnih trouglova, koje su pogodnije za veštački stvorene površine sa oštrim ivicama i prelomoma i
- Laplasovom interpolacijom, kada se dobijaju manje više zaglađene površine, pogodnije za interpretaciju prirodno stvorenih površina.

Gemcom sistem poseduje efikasne alate za rad sa površinama kao elementima projekta: kopiranje, pomeranje, isecanje, odsecanje, presecanje površina i sl, ali i za matematičke operacije sa površinama, kao: kreiranje minimuma ili maksimuma od dve površine, kreiranje površina primenom matematičkih operacija, i sl.

U matematičkom smislu, površine predstavljaju funkcije triju promenljivih, dve nezavisne koje predstavljaju geodetske koordinate i čine koordinatnu ravan, i treću zavisnu promenljivu koja kod fizičkih površina predstavlja kote tačaka površine. Međutim, zavisna promenljiva ne mora da predstavlja kote, već može da bude i vrednost neke regionalizovane varijable kao sadržaj neke komponente na nekom preseku dobijene različitim metodama interpolacije, pa dobijena površina predstavlja promenu sadržaja neke komponente u

contour lines that denote particular contents in a plane. This is a standard procedure used to generate content contour lines. In this way it is also possible to generate bench coordinate planes or cross-sections when coordinate planes are placed vertically at locations in which the cross-sections were defined. Similar procedure is applied to generate the contour lines of layer thickness, roof or seams etc.

Solids and their application have already been discussed. They are generated by means of surfaces or various sets of polylines. Solids are used for a sophisticated calculation of volumes, particularly in underground mining, for open pit designs, control of final pit slope angles according to the rock type. With help of geological solids it is possible to generate rock type block models.

Figure 7 shows the application of solids to control final pit slope angles at detailed pit contouring.

This software is provided with tools for mathematical operation with solids: creation of solid unions and sections, calculations of volumes and tools used to shape, groove, cut off solids applying other constructive elements etc.

Block models are basically used to analyse the financial viability of mining and to calculate the grade of the masses included in particular surfaces (pit status) or solids.

This software is provided with tools able to select blocks from block models in various ways and with tools that edit information contained in them by applying primarily different interpolation methods of which geo-statistical methods are the most important ones.

kordinatnoj ravni. Konturisanjem takve površine dobijaju se izolinije sadržaja u nekoj ravni. Ovo je standardni postupak za generisanje izolinija sadržaja, po etažama, kada se koordinatne ravni postavljaju na etažama, ili na profilima, kada su koordinatne ravni postavljene vertikalno na mestima definisanih profila. Sličan postupak je i kod generisanja izolinija moćnosti, krovine ili slojeva i sl.

O **solidima** i njihovoj primeni već je bilo reči. Generišu se uz pomoć površina ili više setova polilinija. Solidi služe za sofisticirfanji obračun masa za otkopavanje naročito kod jamske eksploatacije, a kod konstrukcije kopova i za kontrolu završnih uglova kosina kopa prema vrsti stene u kojoj se kosina nalazi. Uz pomoć geoloških solida može da se generiše i blok model vrste stena.

Na slici 7 prikazana je primena solida za kontrolu ugla završne kosine kopa pri detaljnoj obradi konture kopa.

Softver raspolaže alatima za matematičke operacije sa solidima: konstruisanje unija i preseka solida, obračune zapremina solida, i alatima za oblikovanje solida: isecanje, odsecanje uz pomoć ostalih konstruktivnih elemenata i sl.

Blok modeli u osnovi služe za analizu ekonomičnosti otkopavanja i obračuna kvaliteta masa zahvaćenih određenim površinama (stanjima kopa) ili solidima.

Softver raspolaže alatima za selektiranje blokova iz blok modela na različite načine, i alatima za editovanje informacija u njima u prvom redu različitim metodama interpolacije od kojih geostatističke metode imaju primarnu ulogu.

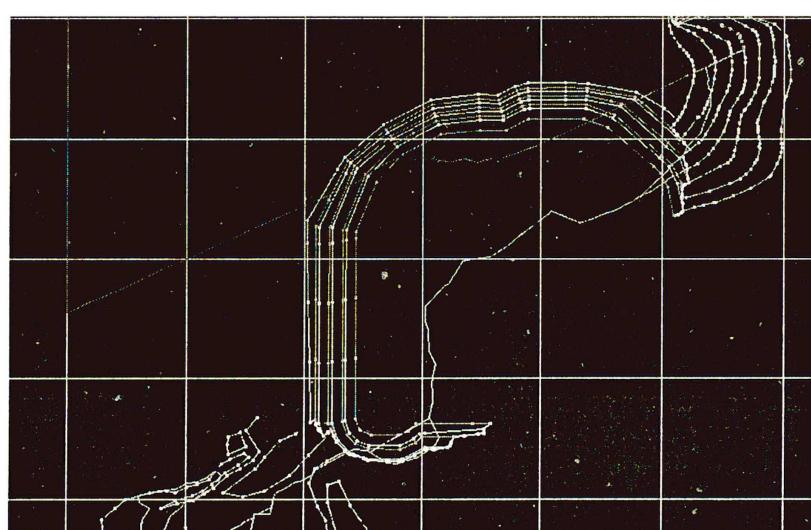


Figure 7 Application of solids to control final pit slope angles
slika 7 Primena solida za kontrolu ugla završne kosine kopa

Procedures and methods that can be developed with the use of this software in open pit designs are numerous. Some, not considering procedures for geological interpretation, are:

- Automatic generation of pit contours from assigned toe upward, with different final pit slope angles by orientation of rock types included in slopes,
- Generation of contours from assigned contour at the surface of the lowest.
- Semi-optimisation of generated contours, automatic expansion of contour for ore blocks where assigned slope angles allow it and respective reduction of contour for barren rock blocks.
- Design of dumpsites following the assigned angles from the assigned polygon at the dump crest downward.
- Calculation of pit volumes and values, i.e. revenues within the contour that was generated
- Calculation of difference between revenues for pits with limitations on the surface and for pits without limitations used to assess the economic viability of relocation of facilities that are situated at pit boundaries.
- Detail pit designs including economic viability of mining determined for certain deposit sections using contents or economic parameters per blocks in every bench.
- Rapid creation of haul roads in pit contours using different locations and configuration. Possibility to select optimum solutions comparing the profits calculated for every option.
- Detailed pit designs within final berms and roads for pit contours generated by the same software or imported from programmes for optimisation of mining processes.
- Elaboration of long-term mining schedules using respective modules.
- Elaboration of short-term mining schedules, i.e. time schedules using respective modules.
- Blast hole design with automatic generation of survey data to define drill hole locations.
- Preparing graphics for print out: layouts, bench maps and vertical sections.

3.2 Open pit optimisation and sequencing software

Two companies Earthworks Corporation and Whittle, which now, after the takeover, belongs to Gemcom, presently produce open pit optimisation and sequencing software. Both software packages have similar approach in dealing with problems, yet with certain specific solutions. The description

Procedure i postupci koji se u ovakovom softveru mogu sprovesti u procesu razvoja projekata površinskih kopova su brojne. Neke od njih koje se odnose na projektovanje kopova, bez procedura za geološku interpretaciju, su:

- automatsko generisanje konture kopa od zadate baze kopa naviše, sa različitim uglovima završne kosine kopa po pravcima ili vrstama stena koje kosine zahvataju,
- sličan postupak generisanja konture od zadate konture na površini naniže,
- semi-optimalizacija generisanih kontura, automatskim proširivanjem konture za rudne blokove, gde to zadati uglovi kosina dozvoljavaju, i slično smanjenje konture za jalovinske blokove,
- konstrukcija jalovišta pod zadatim uglom od zadatog poligona na vrhu jalovišta naniže,
- obračun zahvaćenih masa u kopu i vrednosti kopa tj. profita u generisanoj konturi,
- obračun razlika u profitu za kopove sa ograničenjima na površini i bez ograničenja, za analizu isplativosti pomeranja površinskih objekata na granici kopa,
- detaljnije konstrukcije kopa sa kontrolom ekonomičnosti otkopavanja pojedinih delova ležišta preko sadržaja ili ekonomskih pokazatelja po blokovima na etažama,
- brzu konstrukciju transportnih puteva u konturi kopa sa različitom lokacijom i konfiguracijom u konturi kopa, i izborom najpovoljnije varijante preko obračuna profita kopa za različite varijante konfiguracije puteva,
- detaljno projektovanje kopa sa završnim bermama i putevima, za konture kopova generisane u samom softveru ili uvezene iz programa za optimizaciju otkopavanja,
- razrada dugoročne dinamike razvoja kopova, korišćenjem modula za razradu dugoročne dinamike otkopavanja, otkopavanje za višegodišnje periode,
- razrada kratkoročne dinamike, odnosno terminskih planova otkopavanja, korišćenjem modula za kratkoročno planiranje,
- planiranje minskih serija sa automatskim generisanjem geodetskih podataka za lociranje bušotina na terenu i
- priprema grafičke dokumentacije projekta za štampu, situacija, etažnih karata i vertikalnih preseka.

3.2 Softveri za optimizaciju koncepcije površinske eksploatacije

Softvere za optimizaciju koncepcije otkopavanja površinskim kopovima danas u svetu proizvode dve firme, Whittle koja je sada u vlasništvu kompanije Gemcom i Earthworks corporation. Oba softvera imaju sličan pristup u tretiraju problema,

presented in this paper is as in case of general-purpose software for mining based on experience with Whittle software solutions, primarily with the package "Four-X Analyser". This software is applied to evaluate the production plans for both metaliferous and non-metaliferous ore deposits but in this case a metal ore deposit was used to illustrate its performance.

It has been explained previously in Section 2 that this software enables interactive analysis of key issues regarding mining method and schedules: extent of mineable area or pit limits, pit orientation within the limits, mine development schedules, with ore and waste production rates, cut-off grades, i.e. the minimum metal content in ore. Figure 8 presents "Four-X" desktop that shows partially the evaluation sequence.

naravno sa određenim specifičnostima. Opis dat u ovom radu, kao i kod opisa generalnog rudarskog softvera, zasnovan je na iskustvu u radu sa Whittle softverima, u prvom redu sa paketom Four-X Analyser. Softver je primenljiv za analizu otkopavanja kako metaličnih tako i nemetaličnih mineralnih sirovina, ali je u opisu korišćen primer za analizu otkopavanja rude metala.

Već je u tački 2 ovog rada objašnjeno da softver omogućava interaktivnu analizu nekoliko ključnih pitanja koncepcije otkopavanja: granice otkopavanja, prostorni razvoj kopa unutar određene granice, kalendarski definisanu dinamiku otkopavanja sa kapacitetima na rudi i jalovini i granični sadržaj metala u rudi. Na slici 8 prikazan je radni ekran programa Four-X odakle se vidi delimična šema postupka analize.

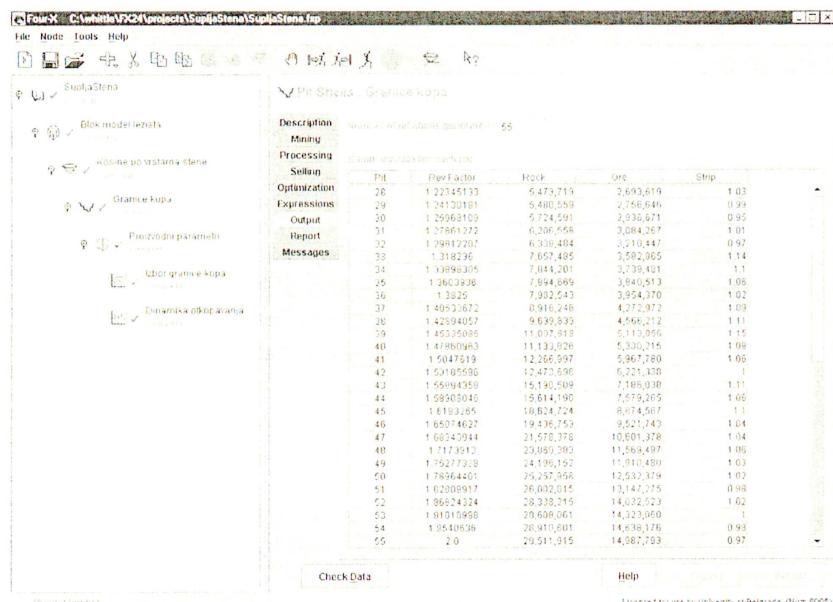


Figure 8 Four-X desktop
slika 8 Radni ekran programa Four-X

Input data used for analysis: ore deposit block models, feasibility parameters such as: mining costs, ore processing costs, metal production costs, metal recovery, market prices of metal, capital investment required for mine start-up etc.

Polazni podaci za analizu su: blok model ležišta i tehnno-ekonomski parametri proizvodnje kao: troškovi otkopavanja, troškovi prerade rude, troškovi dobijanja metala, iskoriscenja metala iz rude do finalnog proizvoda, tržišne cene metala, potrebna investiciona ulaganja za izgradnju rudnika i dr.

Pit limits

To evaluate open pit mine plans the initial step is to determine optimum pit limits. Ore deposit block model is first added to the system, which is created in a mine planning software. General pit slope angles are assigned. This can be done in different ways

Granica kopa

Analiza moguće granice kopa je početni korak u analizi koncepcije otkopavanja površinskim putem. Analiza započinje unosom blok modela ležišta u sistem, kreiran nekim od rudarskih softvera i

depending on topographic features and terrain lithology.

On the basis of the assigned feasibility parameters and varying the price, the basic price of metal content in ore deposit and applying 3D Lerchs-Grossmann algorithm the software generates a series of possible pit limits. In theory these pits are called "nested pits" meaning that the each following pit represents the expansion of the previous in any direction and therefore there is no mutual intersecting. For each generated pit limit it is possible to calculate basic feasibility parameters, as shown in Table 3. For attributed price of useful component from the table it is possible to determine optimum pit limits in line with **values i.e. pit revenues** or according to **NPV** (Net Present Value) for assigned production. To calculate the NPV it is necessary to develop the production schedules. Software provides the calculation of maximum and minimum NPV, which means that the real NPV is in between.

- "Best case", is when each of the generated pits within observed pit limits represents one production stage, i.e. the production schedule is developing at maximum pit angles, which is only a theoretical possibility.
- "Worst case", production schedule develops at zero angles, i.e. bench-by-bench mining is developed until the final limit.

The variable prices of useful component are analysed, such as the one presented in Table 3 and then on the basis of such calculations it is possible to generate the graphs presented in Figure 9.

zadavanjem generalnih uglova kosina kopa koji se mogu zadati na različite načine, zavisno od topografskih karakteristika i litološkog sklopa terena.

Na osnovu zadatih tehnno-ekonomskih parametara, i variranjem cene bazne cene korisne komponente u ležištu, primenom 3D Lerchs-Grossmann algoritma, softver generiše čitav niz mogućih granica kopova. Ovi kopovi se u teoriji nazivaju "nested" kopovi, čija je osnovna karakteristika da svaki naredni predstavlja proširenje prethodnog u nekom pravcu, odnosno nema međusobnog presecanja. Za svaku od generisane granice kopa moguće je izračunati osnovne tehno-ekonomski parametre, kako je to prikazano u tabeli 3. Za zadatu cenu korisne komponente, iz prikazane tabele može se odabratи najpovoljnija moguća granica kopa, prema **vrednosti tj. profitu kopa** ili prema **NPV** (neto sadašnjoj vrednosti) kopa za zadati kapacitet otkopavanja mineralne sirovine. Pošto je za izračunavanje NPV nužna dinamika razvoja otkopavanja unutar kopa, to za prvo približavanje softver obezbeđuje obračun NPV za dva granična slučaja, što znači da će se stvarna vrednost NPV nalaziti između ovih graničnih vrednosti:

- "Best case", tj najbolji mogući slučaj, a to je kada bi svaki od generisanih kopova unutar posmatrane granice kopa predstavljao jednu od faza otkopavanja, odnosno, kada bi se razvoj otkopavanja odvijao sa maksimalnim radnim uglom kopa, što predstavlja samo teoretsku mogućnost, i
- "Worst case", tj. najgori mogući slučaj, a to je kada bi se razvoj otkopavanja u kopu odvijao sa radnim uglom jednakim nuli, odnosno kompletno otkopavanje etaže za etažom do konačne granice.

Pošto cene korisne komponente mogu da variraju u nekim granicama, to se analiza poput prikazane u tabeli 3 mogu uraditi za različite cene, i na osnovu tih proračuna konstruisati grafik prikazan na slici 9.

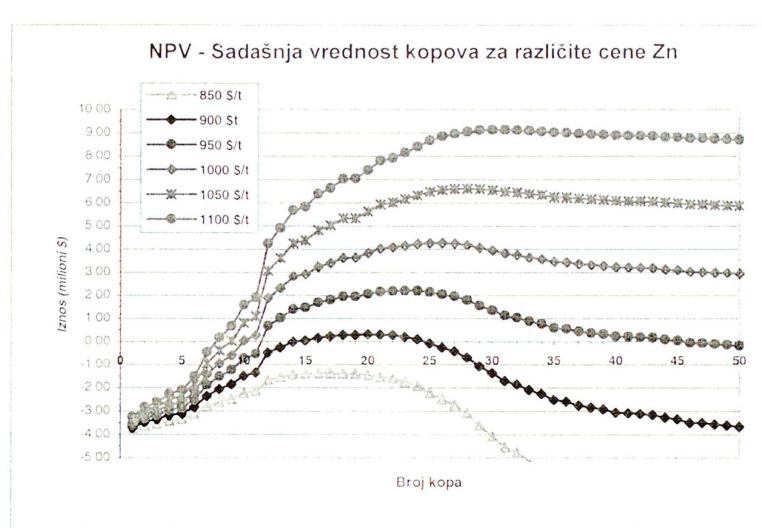


Figure 9 "Best case" NPV for different prices
slika 9 "Best case" NPV za različite cene

*Table 3 Analysis of pit limits
tabela 3 Analiza granice kopa*

Kop br.	Islopine	Jalovina	Ruda	Koef. rask.	Cene:		Zn	1000 \$/t		Profit	NPV best	NPV worst	Vek ekspl. god
					Pb		450 \$/t	Zn	Sadr. %				
t	t	t	t/t		%	t	%	t	\$	\$			
1	143059	17593	125466	0.14	2.64	3317	0.66	826	-3471474	-3489169	-3489169	0.3	
2	221263	30100	191163	0.16	2.58	4924	0.67	1275	-3119048	-3157978	-3157978	0.5	
3	261825	33896	227929	0.15	2.54	5782	0.67	1517	-2937331	-2991026	-2991026	0.5	
4	344489	56185	288304	0.19	2.50	7202	0.65	1870	-2654416	-2736521	-2736521	0.7	
5	386801	66835	319966	0.21	2.48	7938	0.65	2087	-2504892	-2604268	-2604268	0.8	
6	546010	110344	435666	0.25	2.42	10560	0.65	2811	-1999300	-2166254	-2166302	1.0	
7	843045	183653	659392	0.28	2.33	15340	0.61	4050	-1153236	-1419774	-1439845	1.6	
8	1061368	236566	824802	0.29	2.27	18730	0.61	5032	-578642	-950511	-1004014	2.0	
9	1216662	271057	945605	0.29	2.25	21233	0.60	5627	-159248	-601289	-666957	2.3	
10	1583482	383347	1200135	0.32	2.20	26354	0.59	7128	656025	37337	-84577	2.9	
11	1731779	433772	1298007	0.33	2.18	28312	0.60	7755	964352	270602	131859	3.1	
12	3139268	1015454	2123814	0.48	2.10	44659	0.58	12417	3272655	1861241	1465876	5.1	
13	3628475	1253656	2374819	0.53	2.09	49677	0.59	14033	3964186	2305821	1817801	5.7	
14	4277276	1559994	2717282	0.57	2.08	56391	0.59	15960	4834047	2823889	2185508	6.5	
15	4371143	1563974	2807169	0.56	2.06	57858	0.59	16516	5015056	2924698	2259769	6.7	
16	5066787	1959519	3107268	0.63	2.05	63759	0.57	17776	5614338	3248268	2379754	7.4	
17	5491544	2244416	3247128	0.69	2.06	66739	0.57	18539	5920686	3406853	2423417	7.7	
18	5929935	2383732	3546203	0.67	2.02	71538	0.57	20322	6364646	3627803	2447316	8.4	
19	5948615	2388655	3559960	0.67	2.02	71754	0.57	20389	6382831	3636747	2451958	8.5	
20	6632566	2742957	3889609	0.71	1.99	77301	0.57	22314	6791804	3828905	2366894	9.3	
21	7686711	3408836	4277875	0.80	1.97	84397	0.57	24261	7242308	4025339	2147040	10.2	
22	7914856	3447792	4467064	0.77	1.95	86964	0.57	25436	7377770	4080693	2089291	10.6	
23	8891258	4066133	4825125	0.84	1.93	92950	0.57	27657	7610580	4163895	1704218	11.5	
24	9725240	4410941	5314299	0.83	1.88	99919	0.57	30309	7828661	4230882	1410283	12.7	
25	11182114	5195215	5986899	0.87	1.84	109895	0.57	33910	8005264	4269141	800460	14.3	
26	12513182	5953433	6559749	0.91	1.80	118351	0.56	36921	8049599	4276606	238308	15.6	
27	13453039	6348940	7104099	0.89	1.77	125662	0.55	39117	7999495	4254167	-66114	16.9	
28	15198015	7427016	7770999	0.96	1.74	135331	0.54	42333	7763211	4178673	-960066	18.5	
29	17385807	8517558	8868249	0.96	1.69	149911	0.52	46270	7267997	4052266	-1821717	21.1	
30	19758799	10172350	9586449	1.06	1.68	160779	0.52	49462	6719865	3948718	-2960081	22.8	
31	21865652	11415653	10449999	1.09	1.65	172252	0.50	52419	5960730	3814402	-3846859	24.9	
32	22834397	11954048	10880349	1.10	1.63	177570	0.50	54003	5503472	3748462	-4164209	25.9	
33	24617811	13187412	11430399	1.15	1.62	184833	0.50	56752	4710019	3642323	-4990117	27.2	
34	25675569	13860420	11815149	1.17	1.60	189476	0.49	58200	4083873	3569704	-5343162	28.1	
35	27446980	15147331	12299649	1.23	1.59	195885	0.49	59828	3106568	3464631	-6085783	29.3	
36	27951191	15540392	12410799	1.25	1.59	197460	0.49	60200	2836720	3436817	-6304295	29.5	
37	29092224	16413525	12678699	1.29	1.58	200762	0.48	61484	2096945	3364213	-6780770	30.2	
38	29647646	16823597	12824049	1.31	1.58	202389	0.48	61926	1652306	3321897	-6935350	30.5	
39	30142277	17204228	12938049	1.33	1.58	203825	0.48	62198	1306931	3290585	-7135090	30.8	
40	31224477	18118278	13106199	1.38	1.57	206139	0.48	62761	579321	3225002	-7592843	31.2	
41	31395700	18263851	13131849	1.39	1.57	206437	0.48	62836	438409	3212364	-7634446	31.3	
42	31581876	18424377	13157499	1.40	1.57	206727	0.48	62913	280779	3198344	-7688857	31.3	
43	31782547	18602248	13180299	1.41	1.57	206995	0.48	62959	110501	3183297	-7739616	31.4	
44	32594740	19306141	13288599	1.45	1.57	208353	0.48	63281	-523741	3128829	-8022060	31.6	
45	33080190	19726041	13354149	1.48	1.57	209183	0.48	63634	-878149	3099467	-8268593	31.8	
46	34148378	20700179	13448199	1.54	1.56	210433	0.48	64094	-1706315	3031085	-8912646	32.0	
47	34215994	20764945	13451049	1.54	1.56	210464	0.48	64096	-1767624	3025873	-8921213	32.0	
48	34668583	21186184	13482399	1.57	1.56	210906	0.48	64167	-2131612	2995146	-9139108	32.1	
49	34911944	21415295	13496649	1.59	1.56	211061	0.48	64232	-2346108	2977160	-9185017	32.1	
50	35293006	21782107	13510899	1.61	1.56	211247	0.48	64301	-2672682	2949842	-9395180	32.2	

From this graph it may be noticed that a positive NPV (above the value of capital investments) is feasible if the price is above 900\$/t. Possible pit limit is determined considering the expected average price for long-term production.

After this procedure it is possible to carry out other analyses such as:

- Rapid generation of pit limits with changed slope angles and on the basis of this estimate economic effects of changed general pit slope angles.
- Generation of pit limits including the constraints that exist on the surface. In this way it is possible to evaluate whether it is economically viable to relocate the facilities and projects situated in the proximate vicinity of pit limits.
- If there are possibilities for underground mining underneath the open pit mine feasibility parameters for underground mining are entered to determine the economically viable boundary depth between open pit and underground mines.

Long-term Mine Scheduling

Long-term scheduling should determine the development of mining operations within defined pit limits, for which geometric analyses were previously used as one of the conventional techniques. In this case nested pits represent such analysis and determine the development schedule following the maximum NPV criterion. The problem is reduced to determining the number of stages, i.e. mine development stages and selecting some of the already generated pits to represent particular stages. Each stage provides long-term mining in given limits in combination with mineable pushbacks.

The width of workable areas at the benches restricts the number of stages, which should be carefully considered. Therefore, the analysis begins with the minimum logical amount of stages observing the increase of NPV. The number of stages is adopted when it becomes economically irrelevant.

For the assigned number of stages it is necessary to find the combination of individual pits that maximises NPV. This is achieved by trying out several options. The latest software solutions have the possibility to select automatically the most favourable combination of individual pits that will constitute particular stages in the context of pit development.

Sa ovog grafika može se videti da se pozitivna vrednost NPV (vrednost veća do potrebnih investicionih ulaganja) postiže sa cenom većom od 900\$/t, a moguća granica kopa bira se imajući u vidu očekivanu prosečnu cenu za dugoročni period eksploracije.

Po postupku za analizu granice kopa moguće je uraditi i druge analize, kao:

- Softverom je moguće brzo generisati granice kopa i sa promenjenim uglovima kosina i na osnovu toga sagledati ekonomski efekte promene uglova generalne kosine kopa.
- Granice kopa moguće je generisati i sa ograničenjem kopa na površini i time sagledati ekonomsku opravdanost izmeštanja objekata u blizini granice kopa.
- Ukoliko je ispod kopa moguća jamska eksploracija, unosom tehnico-ekonomskih podataka za jamsku eksploraciju moguće je definisati ekonomski opravdanu graničnu dubinu između kopa i jame.

Dugoročna dinamika otkopavanja

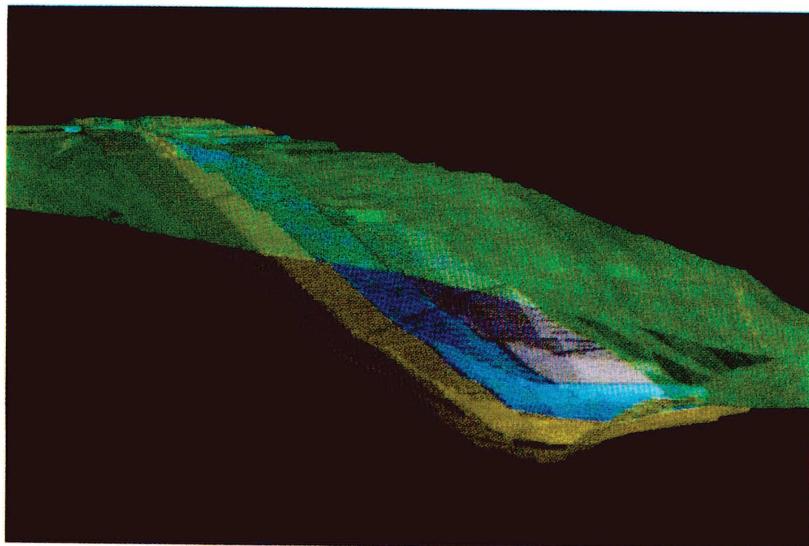
Dugoročna dinamika treba da definiše prostorni razvoj otkopavanja unutar odabrane granice kopa, što se klasičnim putem rešavalo tzv. geometrijskom analizom. U ovom slušaju "nested" kopovi predstavljaju takvu analizu i daju pravac razvoja po kriterijumu maksimalnog NPV. Problem se svodi na određivanje broja međuzahvata tj. faza u razvoju kopa i izboru koji od već generisanih kopova treba da predstavljaju pojedine faze. Svaka faza obezbeđuje višegodišnje otkopavanje u datim granicama u kombinaciji sa otkopavanjem u ostalim fazama.

Maksimalan broj faza je ograničen širinama radnog prostora na etažama o čemu se mora voditi računa. Zato se analiza započinje sa najmanjim logičnim brojem faza, a prati se stepen povećanja NPV sa povećanjem broja faza koji se sa povećanjem broja faza smanjuje. Usvaja se onaj broj faza kada stepen povećanja postane relativno ekonomski beznačajan.

Za zadati broj faza treba pronaći onu kombinaciju kopova koja daje maksimalan NPV isprobavanjem više varijanti, a najnovija verzija softvera ima opciju da automatski odabere najpovoljniju kombinaciju kopova koji će činiti određene faze u razvoju kopova.

The software has the possibility to correct automatically the limits of selected stages in order to provide the assigned minimum width of workable areas at the benches, which certainly corrects the NPV. Figure 10 shows the example that illustrates defined stages for one pit.

Softver ima mogućnosti da izvrši automatsku korekciju granica odabranih faza tako da obezbedi zadatu minimalnu širinu radnog prostora na etažama, čime se naravno koriguje i vrednost NPV. Na slici 10 prikazan je primer definisanih faza za jedan kop.



*Figure 10 Mining stages in an open pit mine
slika 10 Faze otkopavanja u jednom kopu*

Short-term scheduling – mining time schedules

Software solutions have the possibility to analyse mining schedules in assigned, usually annual periods, with assigned **production of useful component** for selected period and assigned **cut-off metal content** in ore.

Waste stripping capacity is scheduled for assigned sequence per stages in the following three ways:

- Maximum NPV criterion when the amount of waste is irregular for the assigned production of useful component,
- Balance mode when the bulk material excavated in the mine is balanced (ore and waste) by varying volumes of bulk material excavated per mining periods in order to provide the required production of ore, most frequently applied for large pits
- Analysis with fixed advance of particular stages in assigned number of benches

The model is selected as to correspond to each particular pit. Figure 11 shows the example that illustrates mine scheduling analysis.

Kratkoročna dinamika – terminski plan otkopavanja

Softver ima mogućnosti za analizu dinamike otkopavanja sa zadatim periodom otkopavanja, najčešće godišnje, i sa zadatim **kapacitetom otkopavanja korisne mineralne sirovine** za odabrani period i **zadati granični sadržaj metala u rudi**.

Kapacitet otkopavanja jalovine po periodima određuje se analizom, za zadati redosled otkopavanja po fazama, na tri moguća načina:

- po kriterijumu maksimalnog NPV, kada je količina jalovine po periodima neravnomerna za zadati kapacitet na korisnoj mineralnoj sirovini,
- balansnim modom, kada se balansiraju količine iskopina na kopu (rude i jalovina) variranjem limita u iskopinama po periodima eksploatacije, tako da se obezbedi traženi kapacitet mineralne sirovine, što je najčešći slušaj za kopove sa velikim kapacitetima otkopavanja i
- analizom sa fiksiranjem napredovanja pojedinih faza zadatim u broju etaža.

Od ova tri modela otkopavanja bira se onaj koji najviše odgovara konkretnom kopu. Na slici 11 prikazan je primer analize dinamike otkopavanja.

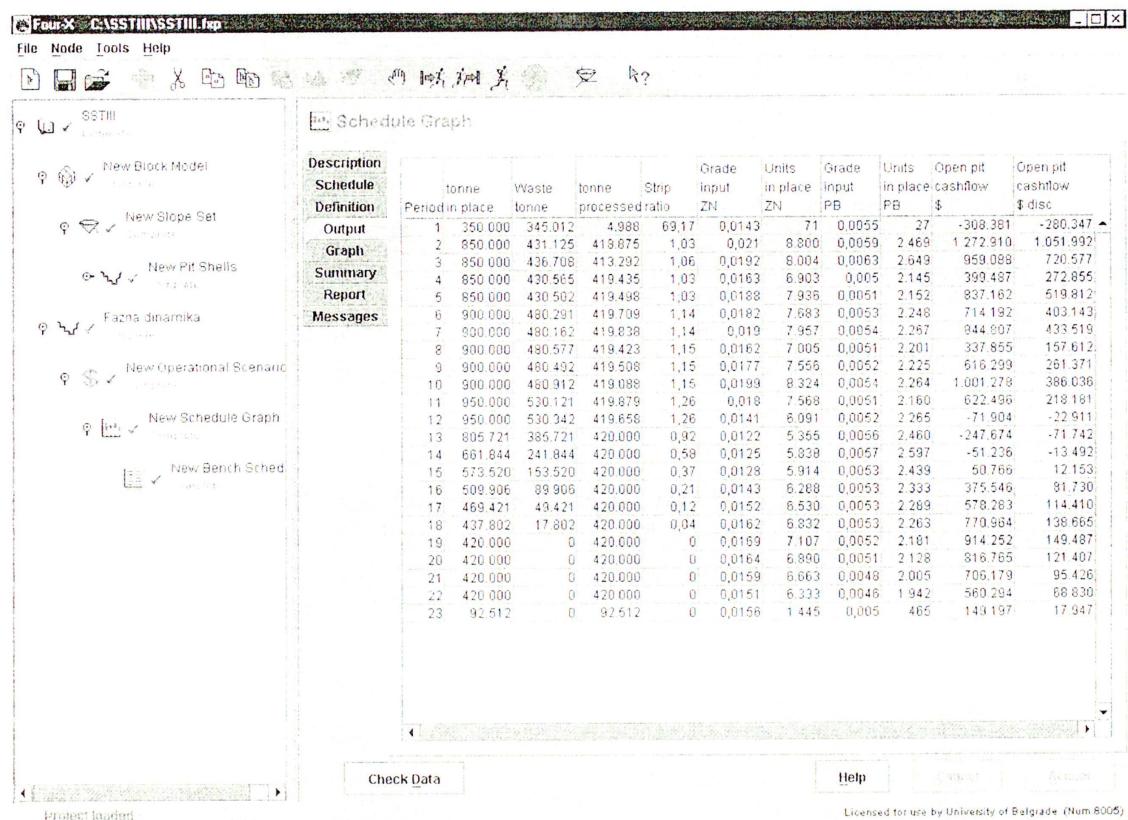


Figure 11 Example illustrating mine scheduling analysis

slika 11 Primer analize dinamike otkopavanja

Cut-off grade

Cut-off grade is analysed simultaneously with mining schedules. It usually starts with the so-called **marginal** cut-off grade, which is the minimum economic grade that covers ore processing and metal extraction costs. It goes directly to processing.

The analysis of increased cut-off grades is also possible when it is necessary to obtain maximum revenue values or maximum NPV, with or without ore storage between marginal and applied cut-off grade. In this way mine strategic planning is easily complied with economic production targets.

Periodic analysis

Upon determining cut-off grades, stripping volumes and pit development layouts it is possible to verify assigned feasibility parameters used for analysis, such as: required mining equipment, capital investments, mining costs, recovery etc. In most cases after the first analysis some of this input data need to be changed.

Granični sadržaj

Granični sadržaj analizira se simultano sa dinamikom otkopavanja, tako što se obično započinje sa tzv. **marginalnim** graničnim sadržajem, a to je minimalni ekonomski sadržaj koji pokriva troškove prerade rude i ekstrakcije metala i koji se direktno šalje u prerađu.

Moguća je i analiza sa povećanim graničnim sadržajima kada se traži maksimalna vrednost profita kopa ili maksimalna vrednost NPV, sa primenom ili bez primene skladišta rude između marginalnog i primjenjenog graničnog sadržaja. Time se strategija otkopavanja prilagođava ekonomskim ciljevima proizvodnje.

Ciklična analiza

Definisanjem graničnog sadržaja i kapaciteta na jalovini, kao i prostornog razvoja kopa, stiču se uslovi za proveru zadatih tehnico-ekonomskih parametara eksploatacije sa kojima je analiza rađena, kao što su: potrebna oprema za otkopavanje, investiciona ulaganja, troškovi otkopavanja, iskorišćenja i sl. Najčešće posle prve analize dolazi do promene nekih od ovih podataka.

In this case new parameters are being determined and the analysis is repeated, starting with pit limits and using already generated possible limits as nested pits.

Final processing and analysis

The production methods, schedules and pit limits determined after periodic analysis are as outputs of optimisation software imported in graphic form into general-purpose software. Then, this type of software is able to perform detailed processing or to create detailed pit designs complete with bench toes and crests, main haul roads, placed within pit limits in the way described in general-purpose software for mining industry.

Detailed pit designs and road planning generally alters the overburden to ore ratios. In some cases these changes may be substantial, i.e. over several per cents. If this is the case it is necessary to export the detailed pit designs with roads into optimisation software to repeat the analysis of production schedules in order to verify the stripping volumes per each year. Only upon this verification short-term scheduling is possible, or to be more specific the annual production schedules may be contrived.

3.3 Specific-purpose software

Specific-purpose software implies the software intended to analyse specific problems related to pit designs and mining technology, such as analysis of slope stability, drilling and blasting methods, loading, hauling, belt conveyance, software that analyses combined transportation systems etc.

Software for slope stability analysis

There are numerous software solutions for slope stability analysis at pits and dumpsites, such as: "SLOPE/W" produced by Geo-Slope International Ltd. Calgary, "GALENA", and "BGSLOPE", designed by Prof. Maksimovic from the Faculty of Civil Engineering in Belgrade, software designed by Prof. Hook etc.

In most cases 2D balance state methods are used for analysis. All these software solutions may be used to analyse homogenous rock/soil mass and some of them are convenient for slope stability analysis in case of hard rock mass.

U tom slučaju definišu se novi parametri i proces analize se ponavlja počev od izbora granice kopa koristeći već generisane moguće granice kopa kao "nested" kopove.

Završna obrada i analiza

Kada se cikličnom analizom utvrdi definitivna koncepcija otkopavanja, odabrane faze i završna granica kopa se kao izlaz iz softvera za optimizaciju importuju u grafičkom obliku u generalni rudarski softver, gde se vrši detaljna obrada kontura kopova, odnosno iscrtavaju se detaljno konture svih kopova sa nožicama, vrhovima etaža i glavnim transportnim putevima, lociranim u konturama kopova na način opisan u generalnom rudarskom softveru.

Detaljna obrada i ugradnja puteva u konturu kopa u principu menja odnose rude i jalovine unutar kopa, a u nekim slučajevima te promene mogu da budu bitne, više od par procenata. U tim slučajevima se detaljno obrađene konture kopova sa putevima eksportuju ponovo u softver za optimizaciju i ponovo se analizira terminski plan otkopavanja radi provere kapaciteta na jalovini po godinama. Tek sa tako proverenim kapacitetima otkopavanja, u generalnom rudarskom softveru radi se grafička obrada kratkoročne dinamike otkopavanja, odnosno godišnji planovi otkopavanja.

3.3 Softveri specifične namene

Pod softverima specifične namene podrazumevaju se softveri namenjeni analizi specifičnih problema vezanih za projektovanje kopova ili za projektovanje tehnologije eksploatacije, kao: analiza stabilnosti kosina, bušenje i miniranje, utovar i transport, transport tračnim transporterima, softveri za analizu rada kombinovanih sistema transporta i sl.

Softveri za analizu stabilnosti kosina

Softvera za analizu stabilnosti kosina kopa i jalovišta ima dosta na tržištu, ovde su navedeni samo neki od njih: SLOPE/W firme Geo-Slope International Ltd.Calgary, GALENA, BGSLOPE profesora Maksimovića sa Građevinskog Fakulteta u Beogradu, softver prof.Hook-a, i dr.

Većina od njih koristi za analizu 2D metode ravnotežnog stanja, svi se mogu koristiti za analizu homogenih stenskih masa (tla), a neki od njih su pogodniji za analizu stabilnosti kosina u čvrstim stenskim masama.

Mining technology software

Mining technology software solutions are designed to analyse and design specific segments of the production process, parameters, respective equipment etc. Various software types may be pointed out, used for:

- Blast hole drilling, drilling cost estimates and calculations for assigned equipment and drilling parameters.
- Blasting methods used to calculate geometric parameters, time lags, analyse blasting patterns, evaluate the grain-size of material blasted etc.
- Discontinuous loading and transport that calculate truck capacity at assigned transport distances, or consider loading equipment and trucks as an integral system and calculate the capacity of such a system at assigned distances.
- Calculation of belt conveyance parameters, which are used to calculate the technical parameters of conveyors taking into account specific conveyor elements, transportation costs etc. After considering offered conveyance options it is possible to select the most favourable one.
- Simulation software intended to simulate the operation of combined transport systems: trucks – crushers – belt conveyors etc., which enables precise calculation of capacities, estimation of costs and selection of adequate components.

Softveri za tehnologiju otkopavanja

Softveri za tehnologiju otkopavanja služe za analizu i projektovanje delova tehnološkog procesa ili parametara i izbor opreme vezane za pojedine delove tehnološkog procesa. Tu se mogu navesti više tipova softvera:

- softveri za bušenje minskih bušotina koji uglavnom proračunavaju troškove bušenja za zadatu opremu i parametre bušenja,
- softveri za miniranje, kojima se proračunavaju geometrijski parametri miniranja, vremena usporenja, analiziraju šeme paljenja, procenjuje granulacija minirane mase i sl.,
- softveri za diskontinualni utovar i transport, koji proračunavaju samo kapacitet kamiona na zadatim transportnim relacijama, ili opremu za utovar i kamionski transport posmatraju kao jedinstven sistem i proračunavaju kapacitet sistema za transport na zadatim relacijama,
- softveri za proračun parametara transporter sa trakom, koji služe za proračun od tehničkih parametara transporter, preko izbora elemenata transporter do troškova transporta, i omogućavaju izbor najpovoljnijeg rešenja tračnog transporta,
- posebnu vrstu softvera čine simulacioni softveri, namenjeni simulaciji rada kombinovanih sistema transporta: kamioni – drobilice – tračni transporter i sl., kojima se preciznije proračunavaju kapaciteti takvih sistema, vrši izbor komponenata i proračunavaju troškovi rada takvih sistema.

Software for Mine Cost Estimating

In order to optimise mining methods it is necessary to determine the cost of ore and waste mining. This cost must be evaluated initially and later corrected on several occasions during periodic analysis. For this purposes quick estimates are required. Software capable of meeting this need is "SHERPA" designed separately for surface and underground mining.

4 CONCLUSION

Therefore, from the previous it is possible to draw the following conclusions:

- The development of software for mining industry, particularly for pit designs has reached a highly advanced level. Its quality has improved greatly and it is very comprehensive dealing with a variety of issues. Therefore, it

Softveri za kalkulaciju cene koštanja otkopavanja

U polaznim elementima za optimizaciju koncepcije otkopavanja, jedan od neophodnih elemenata je i cena koštanja (troškovi) otkopavanja korisne mineralne sirovine i jalovine na kopu, koji se na početku analize moraju proceniti i kasnije u cikličnoj analizi i više puta korigovati. Za takve potrebe pogodna je primena odgovarajućih softvera kojima se takve kalkulacije brzo izvode. Jedan od takvih softvera je SHERPA koji postoji u dve varijante, za površinsko i za jamsko otkopavanje.

4 ZAKLJUČAK

Iz svega napred izloženog, može se konstatovati sledeće:

- Razvoj softvera za rudarsko projektovanje a posebno za projektovanje kopova je dostigao visok nivo, kako po kvalitetu, tako i po širini

- may be stated that nowadays, different software applications offer solutions to all the essential problems that arise in mine designs.
- The quality of available software packages is such that it enables substantial improvements of design solutions and for that reason their application is constantly increasing and is practically indispensable in up-to-date design practice.
 - Software solutions are still intensively developed and enhanced and their progress represents a constituent element of future mining science.
- zahvatanja rudarske problematike, tako da su softverskom podrškom pokrivena sva bitna pitanja koja se rešavaju rudarskim projektima. Kvalitet raspoloživog softvera je na takvom nivou da omoguće bitna poboljšanja u projektnim rešenjima, pa je zbog toga primena raznovrsnog softvera široko rasprostranjena i bez takve primene nije moguće obezbediti konkurentnost na projektantskom tržištu. Softveri se i dalje ubrzano razvijaju i usavršavaju, tako da njihov razvoj predstavlja bitnu komponentu razvoja rudarske nauke.

REFERENCES / LITERATURA

- [1] GEMCOM sistem documentation, 1998 – 2003.
- [2] Diering, T.: *Gemcom services inc, evaluating and cost impact of ramps in optimal pits.* p.p. 901-580 Hornby Street, Vancouver, B.C. Canada.
- [3] Whittle, Four-X Anlyser documentation, 1998 – 2003.
- [4] Basu, A. J.: *Whittle four-d in the undergraduate mining engineering classroom.* Optimizing with Whittle, Conference Proceedings, Perth, Australia, 1997.
- [5] Lane, K.: *Optimisation: is it the best.* Strategic Mine Planning - Conference Proceedings, Perth, Australia, 1999.
- [6] McRostie, D. & Whittle, D.: *Risk analysis using the Four-X proteus environment.* Strategic Mine Planning - Perth, Australia, 1999.
- [7] Hall, G.: *The impact of cut-off optimisation.* Strategic Mine Planning - Conference Proceedings, Perth, Australia, 2001.
- [8] Kolonja, B., Stanić, R., Hamović, J.: *Simulacija transportnih sistema u rudarstvu pomoću Automod-a.* Transport i logistika, br.1, Beograd, 2001.

Reviewal / Recenzija: prof. dr Božo Kolonja